Digitized by Google

Ex Libris
Petri Adamoli
Regi à Consiliis, à portubus
pontibus, transitibus que
urbis Lugdunensis ac
veteris Provinciæ Summi
17 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

157813

Digitized by Google

157813

ACAD. SCIENT. LITT. ET. ART. LUGD.

TRAITÉ DU NAVIRE,

DE SA CONSTRUCTION,

ET DE SES MOUVEMENS.

Par M. BOUGUER, *de l'Académie Royale des Sciences, ci-devant Hydrographe du Roy au Port du Croisic & au Havre de Grace.*

A PARIS, QUAY DES AUGUSTINS.

Chez JOMBERT, Libraire du Roy pour l'Artillerie & le Génie, au coin de la rue Gille-Cœur, à l'Image Notre-Dame.

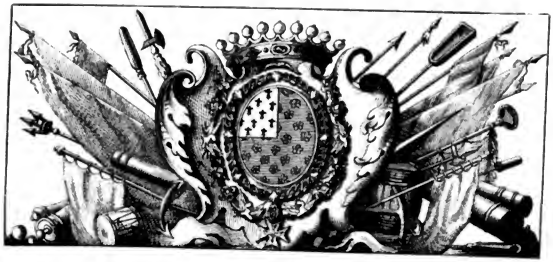
M. DCC. XLVI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

VILLE DE LYON
Biblioth. du Palais des Arts

Digitized by Google

Digitized by Google



A

MONSEIGNEUR LE COMTE DE MAUREPAS,

Miniſtre & Secretaire d'Etat de la Marine.

MONSEIGNEUR.

LA protection dont vous honorez les Savans, vous donne de vrais droits ſur

Digitized by Google

tous leurs Ouvrages, & leur impose en même tems la loi de s'appliquer à les rendre dignes de vous être présentés. Le Public en recueille le fruit ; & sçait combien il en est redevable à la faveur d'un Ministre éclairé, qui au milieu même des guerres dont l'Europe est agitée, n'a cessé d'animer les Sciences par ses regards, & d'en hâter les progrès par ces Entreprises fameuses, qui seront des monumens éternels de la sagesse de ses vûës, & qui feront l'admiration de la postérité.

Vous avez voulu, MONSEIGNEUR, *que j'eusse quelque part à la Commission honorable d'executer, sous l'Equateur, une petite partie de ces vastes projets. Pendant qu'au Pérou je me livrois à cette occupation, en ne négligeant rien pour remplir vos*

Digitized by Google

ordres, j'ai profité de tous les momens dont il m'a été permis de disposer, pour travailler à la composition de ce Traité sur la Construction des Vaisseaux & la Théorie de leur Manœuvre. Le désir que j'avois de vous l'offrir, m'a soutenu contre des difficultés extrêmes, qui venoient tant de la nature du sujet très-compliqué par lui-même, que de la situation où je me trouvois alors; & à peine le Livre fut-il achevé, que j'eus l'honneur de vous écrire, pour vous suplier d'agréer qu'il parût sous vos auspices. La consécration vous en a été faite, MONSEIGNEUR, *d'une des extrêmités de la Terre; puisse cette circonstance donner quelque mérite à mon hommage! Si cet essai de mon zèle, pour perfectionner la Navigation, n'a pas tout le succès que j'en attens, il me procure au*

Digitized by Google

moins une occaſion qui m'eſt infiniment précieuſe, de rendre publique la juſte & vive reconnoiſſance que je reſſens pour tous les bienfaits dont vous m'avez comblé. Je ſuis avec un profond reſpect,

MONSEIGNEUR,

Votre très-humble & très-obéiſſant ſerviteur,
BOUGUER.

Digitized by Google

PREFACE.

IL n'étoit guére poſſible que l'Architecture navale ; compliquée comme elle l'eſt par la multitude des diverſes connoiſſances qu'elle ſupoſe, fit des progrès auſſi rapides que les autres parties de la Marine qui ſont incomparablement plus ſimples. Il falloit non-ſeulement que les diverſes Théories ſur le mouvement dont elle dépend, & dont l'époque eſt aſſez recente, fuſſent portées plus loin, il étoit encore néceſſaire que l'Analyſe même & les méthodes géométriques qui devoient ſervir à réſoudre les grandes difficultés qui lui ſont propres, parvinſſent elles-mêmes à un degré de perfection qu'il n'y a pas long-tems qu'elles ont acquis. Aucune matiere ne demandoit davantage à être éclairée de la lumiere des Mathématiques ; & il eſt certain qu'aucune n'en a été plus privée juſques à préſent. Rebutés à la vûë des premiers obſtacles, les Marins ceſſerent trop tôt de faire de nouveaux efforts ; & ils prirent un parti qui ne pouvoit être dicté que par le deſeſpoir, celui de ſe livrer à la Pratique la plus imparfaite, en s'interdiſant tout ſecours de la part de la Théorie. On avoit un exemple ſous les yeux, & on ne voulut y faire aucune attention : On ne conſidera point que quoique l'Architecture militaire ſoit extrêmement plus facile, rien ne s'eſt exécuté de tout tems à ſon égard, que par la direction de la Géométrie & des Mécaniques.

Digitized by Google

Il suffit cependant de jetter les yeux sur les tentatives qui ont été faites sur la Construction, pour reconnoître, que soit parce qu'elles ont été trop limitées, soit par le défaut de quelques autres conditions essentielles, elles n'ont jamais été d'une nature à faire desesperer du succès. Nous ne pouvons mettre qu'entre ces essais absolument hazardés, celui de Pierre Jansse de Horne, qui crut au commencement de l'autre siécle, avoir saisi l'idée archétype des Vaisseaux parfaits, en empruntant les dimensions de l'Arche de Noé. Cet homme, dont nous devons louer au moins les bonnes intentions, ne remarquoit pas que l'Arche, bien loin d'être destinée à naviger avec viteſſe, ne devoit servir qu'à soutenir un grand poids presqu'en repos sur les eaux du Déluge. Il lui restoit outre cela les dimensions des voiles à regler, lors qu'abandonné à ses propres idées, son modéle lui manquoit dans le plus grand besoin : malheureusement le Navire de Noé étoit sans mâture ; & celle qu'il falloit que Jansse disposât de son chef, n'ayant pas de son propre aveu le même degré d'autorité que le reste, son entrepriſe pouvoit échouer par cet endroit. On a fait dans d'autres tems quelques autres tentatives avec aussi peu de connoissance, & qui ne pouvoient pas mieux réussir.

Il semble que si l'Architecture navale devoit se perfectionner, c'étoit dans les conférenes qui se tinrent à Paris vers 1681, où assistoient, avec plusieurs Constructeurs habiles, plusieurs Officiers fameux, comme M. le Marquis du Quesne & M. le Chevalier Renau, qui peu d'années après publia un Livre sur la Théorie de la Manœuvre. Il résulta effectivement de ces conférences un avantage considérable pour la Marine. On fixa entre les principales dimensions des Navires, ces mêmes proportions qu'on observe

Digitized by Google

ſerve encore tous les jours, leſquelles ſe trouvent dans différens Livres & qui ſont autoriſées par l'Ordonnance des Arſenaux de 1689. Mais ce qui eſt infiniment préférable, M. Renau y communiqua une méthode reglée de former les Plans ou Profils des Navires, en aſſujettiſſant aſſez toutes les parties les unes aux autres, pour rendre leur figure plus uniforme ou plus ſimétrique : au lieu que les pratiques qu'on avoit ſuivies juſqu'alors, abandonnoient la diſpoſition de preſque tout l'ouvrage au hazard ou au caprice de l'Ouvrier.

Il eſt vrai qu'on ſe contenta dans ces Aſſemblées d'effleurer à peine le ſujet : on s'arrêta à un examen trop abſtrait de la ſeule forme extérieure des Navires. On les conſidera comme des corps géométriques, dont on croyoit déja ſçavoir à peu près la figure, & dont il ne s'agiſſoit que de former les contours avec plus de facilité ou plus d'élegance. Il ne fut nullement queſtion d'entreprendre le travail auſſi long que pénible, de les traiter comme des corps phyſiques & hétérogenes ; & ſi on le ſentit, on n'oſa pas l'avouer, que toutes les parties du Vaiſſeau ont entr'elles des rapports exacts & ſecrets, qu'il n'appartient pas à la Géométrie pure de déterminer, mais qui ſont du reſſort de la Phyſique ou de la Mécanique. C'eſt au moins ce qu'on peut inférer du récit ſuccint qu'en fait M. du Hamel dans ſon Hiſtoire de l'Académie, où il ſe contente de nous aprendre, que M. Renau formoit les courbures des Navires par le moyen d'une Section conique. Si on préferoit ces lignes courbes, ce n'eſt pas qu'on eût découvert qu'elles jouiſſoient de quelques avantages particuliers qui les rendiſſent plus propres à cet uſage : on ne les employoit que parce qu'elles étoient plus connuës ou plus faciles à décrire ; elles ſe préſentoient les premieres.

Digitized by Google

ENFIN le P. Hoſte, Profeſſeur Royal à Toulon, qui n'étoit pas moins homme de Mer qu'habile Mathématicien, eſt l'Auteur qui a fait des efforts dont on pouvoit naturellement attendre le plus, & dont nous connoiſſions en même tems toutes les vûës particulieres. Il donna au Public en 1697 un aſſez gros Livre ſous le titre de *Théorie de la conſtruction des Vaiſſeaux.* Nous ne faiſons pas ici mention du Traité de N. Witſſen, qui s'eſt fait un ſi grand nom en Hollande ; car quoique cet Ouvrage ſoit excellent à certains égards, & que même les Etats Généraux en le ſuprimant ayent paru en être jaloux, il s'en falloit beaucoup que l'Architecture navale ne fût parvenuë alors au point où l'expérience ſeule la portée depuis. Outre cela Witſſen, qui ne ſe propoſoit pas moins de parler de la Navigation des Anciens que de celle des Modernes, conſideroit ſon ſujet dans un point de vûë trop éloigné, pour diſcerner les défauts des Méthodes qui regnoient de ſon tems. Le ſavant Jéſuite au contraire en ſentit toutes les imperfections : il vit bien qu'il ne ſuffiſoit pas de fixer les regles ordinaires ou de les exprimer par des pratiques de Géométrie, comme le faiſoit M. Renau ; puiſqu'on les laiſſoit telles qu'elles étoient, ſans en changer la nature. Le Traité de la Théorie de la conſtruction dont il s'agit eſt à la ſuite de celui des évolutions Navales, Ouvrage original que les Officiers de Marine ne ſauroient trop conſulter, puiſqu'il contient la Tactique des Eſcadres & des Armées Navales ; Science néceſſaire aux Généraux & à tous ceux qui ſe trouvent chargés de la conduite des Flottes.

UN incident qui ne devoit que contribuer, ce ſemble, à rendre plus parfait le Traité de la Théorie de la Conſtruction, produiſit par un malheur qu'on n'eût pas pû pré-

Digitized by Google

voir un effet tout contraire. L'Auteur avoit réuſſi quelques années auparavant à compoſer un Traité de manœuvre particuliere *, qui conſerve encore actuellement preſque tout ſon prix, quoi qu'il ſoit fondé en partie ſur les mêmes principes que celui de M. le Chevalier Renau. Ils avoient l'un & l'autre puiſé ces principes dans le P. Pardies, qui s'étoit laiſſé ſéduire par des raiſonnemens qui n'étoient que plauſibles, lorſqu'il avoit tâché le premier, dans ſon diſcours ſur les forces mouvantes, d'expliquer les particularités des mouvemens des Vaiſſeaux. On ſçait l'hiſtoire de la longue conteſtation qui s'agita ſur cette matiere, dont les pieces ſe trouvent dans les Journaux des Sçavans & ailleurs. M. Hughens la commença heureuſement ; mais ſans avoir la ſatisfaction de l'achever ; & elle ne s'eſt enfin terminée que de notre tems, lorſque M. Bernoulli a publié ſon excellent eſſai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre, qui n'a plus laiſſé lieu à de nouvelles diſputes.

* Ce Traité eſt le dernier du recueil des Traités de Mathématiques, imprimé à Lyon en 1692.

Le P. Hoſte, quoiqu'il fût intereſſé dans cette conteſtation, n'y prit cependant aucune part. Il étoit tombé dans les mêmes paralogiſmes que M. Renau ; la conformité n'étoit que trop entiere, malgré ce qu'on a avancé depuis avec une injuſtice qui n'a pû être commiſe que par quelqu'un qui ignoroit totalement ces matieres, que M. Bernoulli devoit faire honneur au P. Hoſte, des lumieres qu'il en avoit pû tirer. Comme ſi ce célébre Mathématicien s'étoit trouvé dans le cas d'en emprunter ; ou comme s'il étoit ordinaire lorſqu'on ſe propoſe de réfuter un Livre, d'en conſulter quelqu'autre qui péche préciſement par les mêmes endroits. Nous ne ſaurions malgré cela en interpretant le ſilence du Savant Jéſuite, aſſurer s'il ſe rendit à la force de toutes les raiſons de M. Hughens : il eſt ſeulement certain qu'il craignit beaucoup trop de s'être

trompé ; puiſqu'il aima mieux convenir que les principes qu'il avoit employés étoient erronnés, que de réformer les fauſſes conſéquences qu'il en avoit tirées. Il changea d'avis ſur les loix mêmes que les fluides obſervent dans leur impulſion ; il prétendit que leur action étoit ſimplement proportionelle à leur viteſſe, & au ſinus de l'angle d'incidence que forme leur direction avec la ſurface frapée ; accuſant mal à propos tous les Mathématiciens de commettre un double emploi, lors qu'au lieu de conſiderer ces raports ſimples, ils s'accordent unanimement à en prendre les quarrés. Ces mécomptes, joints à quelques autres, furent une nouvelle ſource de mépriſes dans ſon dernier ouvrage, & nuiſent à la plûpart des diſcuſſions qu'il renferme. La vérité m'oblige encore d'ajouter, malgré les égards qu'on doit avoir pour la mémoire d'un Auteur qui en mérite par tant d'endroits, qu'outre qu'il a obmis l'examen des Problêmes les plus importans, il n'en eſt peut-être pas un ſeul qu'il ait traité dans toute ſa complication.

Il lui eſt arrivé, comme à pluſieurs autres Géométres qui ont quelquefois jetté les yeux ſur des points particuliers de cette matiere, de négliger quelques conditions néceſſaires ou de faire abſtraction de circonſtances eſſentielles. Ils ſont parvenus à la ſolution de nouvelles queſtions qui nous enrichiſſent, il eſt vrai, en augmentant le domaine des Sciences : mais comme ces queſtions ſont trop limitées, & qu'elles ne ſortent pas des termes des vérités purement hypothétiques, elles n'ont réellement aucune application dans la Marine, qui ne ſe ſatisfait pas d'hypothèſes ou de ſimples ſupoſitions. Le même inconvenient n'a que trop lieu dans d'autres cas ; ce n'eſt même que parce qu'il eſt trop ordinaire, qu'on a vû s'introduire

Digitized by Google

cette distinction qui seroit si étrange, si elle étoit bien fondée, qu'une proposition peut être vraye dans la Théorie, & fausse en même tems dans la Pratique. A peine est-il en effet une seule question de celles qui sont mêlées de Physique, qui soit résoluë en toute rigueur, malgré les fréquentes applications qu'on a faites, comme à l'envi, dans ces derniers tems de l'Analyse moderne. On se permet toujours quelques adoucissemens, on écarte quelquefois avec adresse les particularités qui rendroient la discussion trop épineuse; & il ne faut pas s'étonner après cela, si l'expérience ne répond pas à tout ce qu'on s'étoit promis. Mais qu'on ne se dissimule aucune circonstance, qu'on tente de résoudre les Problêmes dans toute leur difficulté; & on verra un continuel accord entre la Théorie & la Pratique; le contraire impliqueroit contradiction.

Il est fâcheux pour nous d'être obligés d'entrer dans ces détails; nous ne le faisons qu'à regret. Car nous ne devons pas avoir moins d'obligation aux grands hommes, qui les premiers entreprennent de défricher le vaste champ des Sciences; quoique par une fatalité qu'il n'est pas toujours possible de vaincre, les matieres compliquées ne se perfectionnent que peu à peu & que par parties. Mais une infinité de trop justes motifs nous imposent la nécessité de de disculper la Spéculation des prétendus torts qu'on lui impute tous les jours. On pousse même souvent l'injustice jusqu'à lui reprocher les tentatives imprudentes faites par des personnes, qui au lieu d'être Géométres, en avoient seulement usurpé le nom. Qu'on dise, si on veut, qu'on n'a pas encore été assez heureux pour tirer des Mathématiques, toutes les lumieres dont on a besoin pour la Marine; différens exemples ne le prouvent que trop; mais qu'on convienne en même tems qu'il n'est pas possible

qu'une ſcience qui eſt toute occupée du ſoin de peſer, de meſurer, & de comparer les grandeurs, ne ſoit de la derniere utilité, pourvû qu'on en ſache faire une application légitime dans un ſujet où il s'agit de regler les unes ſur les autres, un ſi grand nombre de parties, & de mettre l'équilibre entre un ſi grand nombre de différentes forces. C'eſt ce qu'on n'eût pas tardé à éprouver par une heureuſe expérience, ſi on eût travaillé davantage à mettre la Géométrie en crédit; & qu'on ſe fût efforcé en la faiſant ſortir de l'enceinte de ſes ſpéculations, d'en étendre ſérieuſement les uſages.

Aprés ce que j'ai dit du P. Hoſte, on ne doit plus s'étonner ſi malgré ſon habileté, il réuſſit ſi peu dans la conſtruction d'une Frégate dont il ſe chargea, pour juſtifier, s'il ſe pouvoit, ſes nouvelles idées contre M. de Tourville, qui ne ſe contentant pas de ſe déclarer le Protecteur des regles vulgaires, voulut lui-même les mettre en exécution. M. de Tourville aſſez ſatisfait de ſauver l'honneur des pratiques anciennes, & ſe bornant à un ſuccès limité & ordinaire, étoit comme ſûr de l'obtenir: il en avoit pour garant, ce nombre infini de Navires qui ſortent continuellement d'entre les mains des Conſtructeurs. D'ailleurs il pouvoit compter qu'on ne lui refuſeroit aucune eſpece de ſecours; ſon entrepriſe étoit regardée comme une affaire générale, chacun y prenoit interêt. Le P. Hoſte au contraire abandonné à lui ſeul, privé de tout conſeil ou n'en recevant que de très-ſuſpect, ayant contre lui trop de gens qui craignoient, ſi on l'oſe dire, de voir perfectionner leur art; ce Pere obligé en même tems de ſe frayer un chemin tout nouveau, ſans être aidé par aucune tentative précédente, & prévenu enfin, comme nous en ſommes convenus, de principes peu conformes à la vraie Mécanique,

Digitized by Google

ne pouvoit produire qu'un ouvrage informe à tous égards. Qu'on considere la chose de tous les côtés, ce nouveau genre de dispute lui étoit desavantageux. On fut comme offensé que son Navire fût si plat par dessous & qu'il eût si peu de profondeur ; ce qui le rendoit effectivement sujet à une grande déviation dans les routes obliques & l'exposoit à plusieurs autres inconveniens. Mais aussi on ne se prêta à rien, on n'eut aucune indulgence pour le Constructeur Géométre. On lui refusa même impitoyablement les louanges les plus dûës à son zele & à la hardiesse de son dessein ; bien loin de reconnoître qu'il y avoit plus de vraie gloire à échouer comme il le faisoit, qu'à réussir comme son concurrent. On célébra beaucoup trop la victoire de ce dernier, on la fit sonner très-haut ; quoiqu'elle fût d'autant plus foible, que M. le Maréchal de de Tourville, fameux par des triomphes plus réels & d'un autre genre, ne pouvoit rien s'attribuer des succès de celui-ci. Le Lecteur juge cependant assez, vû toutes les circonstances, qu'il n'étoit pas possible que les pratiques ordinaires, qu'on croyoit si bien vangées, n'en parussent mieux établies. Il devint si peu permis d'y rien changer, que la moindre innovation qu'on eût voulu y introduire, eût été reputée témeraire ou dangereuse ; l'expérience, quoiqu'elle ne prouvât rien, avoit pleinement décidé.

La construction restant de cette sorte dans le même état, se trouva renfermée dans ses pratiques grossieres, & a outre cela été traitée d'une maniere extrémement imparfaite dans quelques Ecrits que nous en avons. Soit défiance de la part des Constructeurs, ou dessein formé de tenir leurs maximes secretes pour s'en prévaloir contre leurs concurrens, ils déclarent bien les principales dimensions qu'ils donnent à leurs Vaisseaux ; mais nous n'avons aucun Li-

Digitized by Google

vre qui entre dans le détail de la figure qu'on leur donne actuellement, ſi on excepte un ſeul Manuſcrit dont nous avons eu occaſion de parler, qui n'eſt qu'une ſimple ébauche, mais dont les copies ſe ſont aſſez repanduës dans la Marine. M. de Pulmi, Auteur de cet Ouvrage, pouvoit faire de grands progrès, ſi ſa ſanté le lui eût permis : car il étoit parfaitement inſtruit de toutes les pratiques des Conſtructeurs; il pouvoit y porter le flambeau de la Géométrie nouvelle dans laquelle il étoit initié; & la Cour n'avoit pas tardé à l'y encourager, en le prévenant par ſes bienfaits.

On ſent comme nous, combien ce ſilence des gens du métier eſt nuiſible : on voit aſſez qu'il empêche de profiter des connoiſſances de fait qu'ils ont au moins dû acquerir par leur long uſage. Ils diſputent volontiers & avec chaleur ſur des choſes de peu de conſéquence; pendant que l'eſſentiel de la Conſtruction reſte enſeveli ſous d'épaiſſes ténébres : au lieu que ſi chacun communiquoit ce que lui a apris l'expérience; ſi on ſe faiſoit réciproquement part de ſes obſervations, comme on le fait dans toutes les autres matieres, où l'on s'enrichit mutuellement des vûës les uns des autres, on ne tarderoit pas à éprouver le fruit conſidérable qui naîtroit de cette heureuſe communication. Les Conſtructeurs au contraire, comme s'ils étoient plus touchés de leurs intérêts perſonnels, que de la perfection de leur art, ſont continuellement ſur leur garde de crainte qu'on ne les pénétre : ils obſervent même un ſecret ſi profond, que leurs pratiques particulieres, quoiqu'elles ne ſoient toujours que quelques legeres modifications des maximes générales, conſtituent comme un héritage tout extraordinaire, qui ne ſe tranſmet preſque jamais que de pere en fils. Il faut cependant l'avouer encore;

Digitized by Google

core ; le grand mal vient moins du miſtere qu'on a fait mal à propos des préceptes de cet art, que de leur limitation ou de leur imperfection ; & c'eſt peut-être ce qu'ont aſſez ſenti les Conſtructeurs, pour qu'une mauvaiſe honte ou la crainte de ſe déceler en nous laiſſant voir leur extrême indigence, les porte à uſer d'une continuelle reſerve à notre égard.

Il ſuffit de fréquenter les Ports de Mer, ou de s'informer de ce qui ſe paſſe à ce ſujet chez toutes les Nations qui cultivent la Marine, pour s'aſſurer que nous ne ſommes pas coupables de l'exagération la plus legere. On verra qu'on défere tous les jours dans des circonſtances très-importantes au ſimple ratonnement, à celui qui eſt le plus ſujet à tromper : on change la forme des Navires par leurs hauts, on leur ajoute un nouveau pont ou on le retranche, on altere auſſi totalement la figure de leur carène, & on conſent à faire tous ces changemens ſans ſçavoir quel en ſera l'effet immédiat, ou celui qui doit ſe manifeſter dans le Port même ; pendant qu'on pourroit ſe déterminer d'une maniere auſſi préciſe qu'infaillible, en employant les moindres connoiſſances de Géométrie & les plus ſimples opérations d'Arithmétique. Il ne faut pas douter que la Poſtérité ne s'étonne un jour de la conduite qu'on a tenuë & qu'on tient encore à cet égard, dans un ſiecle auſſi éclairé que le nôtre.

D'AUTRES fois on veut faire prévaloir une certaine qualité dans la conſtruction ; on obſerve pour cela avec plus de rigueur les maximes les plus généralement approuvées ; & on produit un effet tout contraire à celui qu'on ſe propoſoit. Démonſtration inconteſtable, que le grand nombre de circonſtances dont ce ſujet eſt ſurchargé, eſt cauſe qu'on ne ſçait de laquelle dépend le bon ou le mauvais

Digitized by Google

ſuccès, & qu'on n'a pas le ſecret de les démêler. Nous ne diſons pas encore aſſez : car il n'eſt que trop ordinaire qu'on n'évite le péril de l'expérience qu'en ne s'y expoſant pas. Preſque toutes les Nations de l'Europe peuvent en rendre témoignage : il ſort de tems en tems de leurs Chantiers, & non de leurs Ports, des Navires dont l'imperfection n'eſt point équivoque, & qui ne donnent pas même lieu à la triſte conſolation, de dire qu'ils ſe ſont mal comportés en Mer.

Il ſert très-peu, ou plûtôt il devient inutile de recourir à l'avis de pluſieurs Conſtructeurs ; on ne fait autre choſe que ſe livrer à de plus grandes incertitudes. Il arrive toujours qu'ils penſent différemment les uns des autres ; & néanmoins chacun allegue également en ſa faveur ſa propre pratique ou l'ennuyeux & long dénombrement des Navires qu'il a déja conſtruits. Comme il leur eſt impoſſible de ſe concilier, parce qu'ils n'ont aucun moyen pour le faire, nul principe commun dont ils conviennent ou dont ils puiſſent partir, nulle regle, nul indice même pour diſcerner le vrai, ou pour le faire connoître, ils ſont réduits à répéter continuellement les mêmes aſſertions, au lieu de preuves. On ne peut mieux les comparer qu'à un grand nombre de perſonnes, qui tout occupées de commerce, ne connoîtroient dans l'échange de leurs marchandiſes ni l'uſage des balances ni celui des meſures. Chaque Conſtructeur ne peut auſſi que perſiſter dans ſon opinion, ne pouvant ni convaincre ſon adverſaire ni en être convaincu ; ainſi il faut abſolument ſe hâter d'interrompre la diſpute, qui à la honte de l'Art, ne manqueroit par de s'échauffer, mais ſans devenir plus inſtructive. Quel parti peut on ſuivre après cela ? Il faut bien malgré ſoi imiter ces Juges groſſiers, qui incapables de diſtinguer les circonſtances, partagent

tous les différens par la moitié. C'eſt le dénouement qu'ont ordinairement ces ſortes de conſultations ; quoiqu'il fût quelquefois très-à-propos, d'embraſſer un des avis extrêmes, ou même d'inſiſter & d'aller au-delà ; ſupoſé qu'on fût capable d'agir avec lumiere, ou que pour parler, comme il échape quelquefois de le faire aux Marins, *on ne fut pas encore très-éloigné de ſçavoir ce que la Mer demande ;* nous nous ſervons de leurs propres termes.

AINSI il s'en faut beaucoup, lorſqu'on aprécie les maximes ordinaires, en les mettant à leur juſte valeur, qu'on puiſſe les regarder comme des eſpeces d'arrêtés ou de comptes faits vérifiés par une longue expérience, auſquelles on ne ſauroit mieux faire que de ſe conformer. C'eſt l'aſpect le plus favorable ſous lequel on nous les offre quelquefois, en prétendant malgré toutes les raiſons contraires & une infinité d'évenemens qui ne parlent que trop, qu'elles ſont ſuffiſamment autoriſées par l'approbation ou le conſentement unanime des gens de Mer. Mais il eſt certain que pluſieurs cauſes ont empêché dans tous les tems de faire des eſſais ſur des ſiſtêmes de conſtruction très-différens les uns des autres. Il arrive à l'égard de l'Architecture navale, quoique dans un autre ſens, ce qu'on voit fréquemment dans les autres parties de Mécanique, où ſouvent une machine exécutée en petit eſt un foible garant du ſuccès de la même machine exécutée en grand. Nous diſons que c'eſt dans un ſens tout contraire à l'égard de la conſtruction : car il eſt comme impoſſible de faire réuſſir un petit Navire de quelques pieds de longueur, deſtiné à ſervir de modéle. C'eſt pourquoi le Conſtructeur ne pouvant s'inſtruire par des eſſais particuliers & ſecrets, n'a garde de ſacrifier ſa réputation & ſa fortune à la vaine gloire de faire des découvertes, en s'engageant dans des

épreuves téméraires. Il aime beaucoup mieux ne se proposer qu'une certaine sorte de succès, & en être sûr, en prenant le parti que lui dicte, non pas la timidité, mais plûtôt la prudence, de suivre d'une façon servile les sentiers uniques qu'il voit déja frayés.

Il faut enfin convenir avec le P. Hoste, que la Pratique livrée à elle seule & dénuée de tous les secours de la Théorie, ne peut pas faire découvrir les vraies regles en un pareil sujet. Le Navire est un tout si composé, que chaque changement fait à une seule partie, est le commencement d'une infinité de dispositions ou de combinaisons différentes, dont chacune doit avoir un succès particulier. On ne peut, par exemple, toucher à la largeur de la carène sans se mettre dans la nécessité de changer toutes les autres parties. C'est par cette raison que les expériences qu'on a pû se permettre, sont souvent si contraires, qu'il semble qu'on n'en peut tirer aucune conséquence, ou qu'on en peut inférer de tout opposées. Un changement seroit avantageux, & il ne produit cependant que des effets funestes; parce qu'on ne va pas saisir dans la multitude tous les autres changemens qu'il exigeroit, ou qui en sont comme des suites. On condamne la premiere disposition, on croit avoir expérimenté qu'elle est dangéreuse : au lieu qu'il est seulement vrai qu'on n'a pas sçû en tirer parti; faute d'avoir mis entre toutes les autres mesures la correspondance nécessaire.

Si l'expérience ou la Pratique seule avoit pû réussir sur quelque point, c'étoit en reglant les dimensions de la mâture, lors qu'un Vaisseau est *donné*. Il est certain qu'il ne se présente pas de question plus simple dans toute cette matiere : car que le Vaisseau soit bien ou mal construit, qu'il soit destiné à être bon ou mauvais voilier, il est tou-

Digitized by Google

jours une certaine diſpoſition de mâture qui doit être la meilleure ou la moins mauvaiſe ; & il eſt clair qu'on écarte les plus grandes difficultés de la recherche, auſſi-tôt qu'on ne ſe propoſe pas de toucher au Navire, & que ſa forme eſt déja déterminée. Mais ſi on a manqué juſqu'à préſent dans la Marine, ce Problême, quoique plus facile ; ſi on s'eſt trompé, & même d'une maniere groſſiere, ſur le raport qu'il doit y avoir entre la hauteur des mâts & la grandeur du Navire, que ne faut-il pas penſer de toutes les autres parties de la conſtruction, qui ne pourroient ſe regler que par des tentatives faites avec infiniment plus d'art ? La difficulté eſt incomparablement plus grande, lors qu'une infinité de différentes diſpoſitions ſe combinent réellement avec une infinité d'autres, & qu'il faudroit les examiner toutes. Pour chaque diſtribution de la charge il eſt une certaine diſpoſition de la mâture qui eſt la meilleure ; mais il faut ſçavoir auſſi qu'elle eſt la meilleure diſpoſition de la charge & ſa quantité. Ainſi après avoir donné un certain arrangement au leſt & à tout ce qui augmente le poids, il ne ſuffiroit pas d'envoyer le Navire une infinité de fois en Mer avec des mâtures différentes, il faudroit répeter encore la même choſe une infinité d'autres fois, en donnant d'autres diſpoſitions à la charge. Enfin ce ne ſeroit point aſſez ; puiſque chaque partie du Vaiſſeau contribuë à la perfection du tout, non-ſeulement la mâture, non-ſeulement la charge, non-ſeulement les principales dimenſions de la carène, mais auſſi toute ſa figure, la courbure de ſes flancs, la ſaillie de ſa proüe. Et nous le répétons encore, que la perfection dont doit jouir chacune de ces parties, dépend de la relation qu'elle a avec toutes les autres dont la multitude eſt infinie, & qui doivent être chacune à part également parfaites. Diſcuſſion qui enga-

Digitized by Google

l'appuyer de calculs juſtificatifs, dans leſquels chaque propriété que doit avoir le Navire ſera diſcutée & évaluée avec exactitude ; auſſi-tôt enfin que la Géométrie & la Phyſique, prenant la place qu'avoit uſurpé le hazard ou le tatonnement, l'Architecture navale fondée ſur des principes certains, ſera réellement un Art.

Je m'applaudirois beaucoup ſi ce Traité pouvoit contribuer à un objet ſi important & ſi utile. Je n'ai épargné aucune peine pour tâcher de répondre à l'engagement que je prenois, lorſque je me ſuis déterminé à appliquer à cette matiere le peu que je ſçai de Mathématiques. Ce n'eſt auſſi qu'après m'en être occupé très-long-tems que je me ſuis hazardé de jetter mes remarques ſur le papier ; & je ne l'ai fait au Pérou, comme je l'ai dit ailleurs, qu'afin de mieux profiter de l'occaſion que je devois avoir enſuite en Mer pendant mon retour, de reconnoître s'il y avoit quelque choſe à y changer. C'eſt en travaillant à ce Livre ſur les plus hautes montagnes du Monde que je tâchois de ne pas perdre les ſemaines & les mois par leſquels il falloit quelquefois acheter un ſeul inſtant de beau tems, pour pouvoir vaquer aux opérations actuelles de la meſure de la Terre. Le Livre étoit entierement achevé : il y a même plus de quatre ou cinq ans, comme je l'écrivis alors en France, que me voyant tous les jours à la veille de mon départ de Quito, j'en dépoſai une copie entre les mains d'une perſonne ſûre, pour ſervir de duplicata. Enfin j'ai conſideré que ſi mon travail devoit avoir quelque fruit, je ne pouvois trop me hâter de le rendre public, & j'ai cru qu'il étoit bon de le faire précéder la Relation de mon voyage ; ce qui me donneroit en même tems plus de loiſir pour mettre en ordre tous les matériaux qui doivent y entrer. Si le Traité que je préſente actuellement forme

forme un assez gros volume, c'est que le sujet est extrêmement vaste ; le Navire considéré dans tous ses différens états, & par raport à tous ses divers usages. Ce n'est pas assez de se le représenter lorsque chargé d'un poids énorme il est à l'ancre dans une Rade, & exposé, si on le veut, à l'agitation d'une Mer orageuse, il faut principalement l'examiner lorsqu'il fait route, qu'il single avec viteſſe, qu'il double un Cap, qu'il s'éloigne difficilement d'une côte. Cette distinction feroit naturellement le partage de notre Ouvrage ; si ce n'est que nous avons crû devoir ajouter un premier Livre, qui est à certains égards l'extrait des deux autres qu'il précéde, & dans lequel nous nous sommes attachés à faire entrer beaucoup de choses de Pratique.

Je ne dissimulerai pas, puisque je puis le dire sur la foy des démonstrations, que je crois avoir réussi à donner des moyens infaillibles pour se décider entre différens Plans proposés pour le même Navire. On sçaura désormais se déterminer sûrement entre les divers avis des Constructeurs ; & la multitude de leurs opinions bien loin d'être nuisible, sera au contraire profitable, puisqu'elle donnera souvent lieu de faire un meilleur choix. J'ai pour ainsi dire, réduit le tout à la mesure ou à la balance, je l'ai rendu une affaire de calcul : mais je ne me suis pas renfermé dans ce seul examen qui seroit quelquefois trop limité ; j'ai tâché de m'élever jusqu'à la considération de toutes les formes possibles de Navires, & de choisir dans cette multitude, quoique infinie. Ainsi un des moindres avantages que pourra avoir mon travail, si je ne me flate point trop, c'est qu'il ne tiendra qu'au Constructeur de ne plus manquer son ouvrage de cette maniere dangéreuse qui en causant sa ruine, entraînoit aussi celle du Public : il ne sera plus exposé à la peine & à la honte de rien tenter té-

merairement, il ſera toujours en état d'aſſigner ou de prévoir tout le ſuccès que doit avoir ſon entrepriſe : & on ſera auſſi toujours à portée en vérifiant ſes ſuputations, de voir le fonds qu'on peut faire ſur ſes promeſſes. Au ſurplus, le déſir ſincere que j'ai de ne commettre d'injuſtice à l'égard de perſonne, me fait avouer que j'ai ſouvent été aidé par les ſolutions, même imparfaites, qu'on trouve dans divers écrits qui ont raport à ce ſujet ; ſans compter que quelquefois elles ont été accompagnées de vûës excellentes. Mais j'aurois tort de confondre avec ces divers ſecours ceux que m'a pû fournir la piece ſur la mâture des Vaiſſeaux d'un de nos Académiciens * qui n'avoit point vû de Navire lorſqu'il l'écrivoit, & qui a réuſſi neanmoins à nous donner un ouvrage plein de recherches, & très-différent de beaucoup d'autres qui paroiſſent de tems en tems ſur les matieres de Marine.

* M. Camus.

Il ne reſte plus qu'à dire un mot ſur la plus grande difficulté qu'on trouvera à appliquer les nouvelles maximes que nous ſubſtituons aux anciennes. Les Conſtructeurs pour établir celles-ci, s'étoient contentés d'employer les raports les plus ſimples & des raports invariables, s'imaginant mal-à-propos que les parties des Vaiſſeaux de différentes grandeurs, ſuivoient toujours exactement les mêmes proportions ; ou plutôt ne portant par leur vûë aſſez loin pour découvrir d'autres relations, & s'arrêtant à ce qui s'offroit à eux ſans la peine d'aucune recherche. On juge aſſez que toutes les fois que le rapport ſimple ne doit pas ſubſiſter, ou qu'au lieu de faire croître certaines parties proportionnellement, on doit les faire changer ſelon quelqu'autre loi, les nouvelles regles ne peuvent manquer de ſe trouver plus difficiles : & il pourra même arriver que toute perſonne ne ſoit pas en état de les appliquer. Il y a ſans doute

Digitized by Google

moins de notre faute en cela, que ſi écrivant ſur l'Architecture militaire, nous ne réuſſiſſions pas à nous mettre à la portée des Lecteurs qui n'ont aucun principe de Géométrie. Mais cet inconvenient n'en eſt plus, auſſi-tôt que la conſtruction des Vaiſſeaux ceſſe d'être abandonnée à la direction des ſeuls Ouvriers, & qu'on leur aſſocie dans leur ouvrage des perſonnes qui ſont incomparablement plus inſtruites. Nous avons d'ailleurs toujours fait enſorte en déduiſant nos maximes, qu'on ne fût point obligé en les obſervant, d'entrer dans les diſcuſſions longues & épineuſes qui leur ſervent de fondement. Ainſi il faut bien diſtinguer ici en fait de difficulté, entre l'application de nos regles & les examens penibles dans leſquels elles nous ont engagés, ou pour les vérifier, ou pour les découvrir.

Nous euſſions ſouhaité pouvoir éviter même dans cette ſeconde eſpece de travail tout uſage des calculs algébriques, qui ſont preſque toujours trop rebutans par l'eſpece d'obſcurité qui en eſt comme inſéparable. Le Lecteur jugera, après avoir murement peſé la choſe, ſi on ne s'eſt pas trouvé ici plus d'une fois dans le cas où il étoit comme indiſpenſable d'y avoir recours. On peut blâmer ceux d'entre les Géométres qui employent quelquefois ce ſecours pour démontrer des vérités ſi peu reculées, qu'elles ſont à leurs pieds & qu'ils y touchent : on n'eſt point excuſable de ſe ſervir ſans néceſſité d'un grand appareil d'inſtrumens ou de machines pour n'opérer que des choſes faciles. L'Algébre alors avilie par le mauvais uſage qu'on en fait, au lieu d'être de tous les moyens le plus propre à ſupléer à la limitation de nos facultés, n'eſt plus que celui d'embrouiller les matieres & d'en interdire l'entrée à pluſieurs Lecteurs qui ſeroient capables de les entendre, ſi

elles n'étoient pas énoncées pour eux dans une langue étrangere. Nous avons quelques Livres qui donnent vogue à cet abus par la réputation de leur Auteur : on eſt réduit à n'y voir la vérité que ſous le voile d'énigmes, quoiqu'il s'agiſſe quelquefois de matieres connuës d'ailleurs & déja traitées avec clarté ; & on eſt allé juſqu'à vouloir, en troublant l'ordre des choſes, nous faire préférer cet emploi des ſymboles aux connoiſſances qui naiſſent du fond même du ſujet. Mais de même qu'il n'eſt pas poſſible de ſe paſſer des lumieres de la Géométrie élementaire dans une infinité de cas, il eſt encore plus néceſſaire dans d'autres rencontres, lorſque la nature des Problêmes l'exige, de recourir à la haute Géométrie ; malgré ce que diſent quelques perſonnes qui paroiſſent s'être conjurées contre cette Science ſupérieure, & qui cherchent, peut-être, à ſe conſoler du peu de progrès qu'elles y ont fait. Comment comparer en effet un grand nombre de quantités ou de conditions qui ne peuvent être repréſentées que par des courbes d'un genre fort élevé, ou par des équations formées d'un grand nombre de termes ? Vouloir ſe priver alors du ſecours néceſſaire de l'Algébre, c'eſt comme ſi l'on entreprenoit, ſans Rame, ſans Voile, & même ſans Radeau, de franchir à la nage une vaſte Mer. Il ſuffit enfin pour nous diſculper entierement, d'avouer que nous n'avons pas pû faire mieux : quant à l'ordre particulier que nous avons ſuivi, la Table des Chapitres l'indiquera aſſez exactement.

Fin de la Préface.

Digitized by Google

TABLE DES CHAPITRES
CONTENUS DANS CE TRAITÉ.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Conſtruction, avec diverſes remarques ſur les regles ordinaires.

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaiſſeau & de ſes parties intérieures.

CHAPITRE I. *Des différentes eſpeces de Navires*, page 4
CHAP. II. *Des principales parties du Vaiſſeau; & leurs proportions ſelon les regles ordinaires*, 12
CHAP. III. *Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on continuë à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaiſſeau*, 18
CHAP. IV. *Des différentes pratiques que ſuivent les Conſtructeurs pour tracer la coupe des Vaiſſeaux, faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros*, 27
Premiere & ſeconde méthode, 28 & 29
Troiſiéme méthode, *pour les Navires à plates varangues*, 31
Quatriéme méthode, *pour les Navires auſquels on veut donner beaucoup de façons*, 32
CHAP. V. *Méthode de tracer les deux coupes du Vaiſſeau aux deux extrémités de la quille; avec la maniere ancienne dont on ſe ſervoit des liſſes pour achever le Navire*, 34
De la figure de la coupe de l'arriere, ibid.
De la figure de la coupe de l'avant, 36

Digitized by Google

CHAP. VI. *Remarques générales sur les liſſes, avec le moyen de former l'arriere du Vaiſſeau, en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à ſa longueur, dépendantes de la premiere & de celle de l'extrémité,* page 40
CHAP. VII. *De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire,* 46
CHAP. VIII. *Faire enſorte que la courbure entiere des liſſes depuis la premiere coupe juſqu'à l'estrave appartienne à la même ligne courbe,* 51
CHAP. IX. *De la maniere de projetter les diverſes coupes du Navire ſur toutes ſortes de Plans,* 56
CHAP. X. *Remarques ſur la forme que les regles ordinaires donnent aux Vaiſſeaux,* 58
CHAP. XI. *Suite du Chapitre précédent; avec la maniere de rendre la figure des Vaiſſeaux plus parfaite,* 64
CHAP. XII. *De la maniere de mettre les Navires à l'eau,* 73
De la courbure que les Vaiſſeaux ſouffrent dans le ſens de leur longueur, lorſqu'on les lance à la Mer, 77

SECONDE SECTION.

Des agreils ou apparaux du Navire.

CHAPITRE I. *Du gouvernail & du cabeſtan,* 80
CHAP. II. *De la néceſſité d'avoir des pompes dans les Vaiſſeaux & de la maniere de les diſpoſer,* 86
CHAP. III. *Des ancres & des cables,* 95
CHAP. IV. *De la maniere dont les rames agiſſent,* 103
CHAP. V. *Des proportions qu'on ſuit ordinairement dans la mâture des Vaiſſeaux,* 120
Proportions des mâts inférieurs, & de leur application, 122
Proportions des mâts ſupérieurs, 124
Proportions des vergues, 124
De la figure qu'on donne aux mâts & aux vergues, 126

Digitized by Google

CHAP. VI. *Remarques & expériences ſur les regles précédentes, avec le moyen de rendre ces regles moins imparfaites,* 127
CHAP. VII. *Des principaux cordages qui ſoutiennent la mâture & qui ſervent à la manœuvre des voiles,* 138
Maniere de former une échelle pour trouver ſur la même figure la longueur des manœuvres pour tous les Vaiſſeaux, 143

TROISIE'ME SECTION.

De la réſiſtance ou de la force dont toutes les parties du Vaiſſeau doivent être capables.

CHAPITRE I. *DE la réſiſtance abſoluë des matériaux qui entrent dans la conſtruction,* 147
CHAP. II. *Des divers moyens qu'on peut employer pour empêcher les Vaiſſeaux de s'arquer,* 151
CHAP. III. *Où l'on examine ſi les moyens indiqués dans le Chapitre précédent ſont ſuffiſans, pour empêcher le Navire de s'arquer,* 155
CHAP. IV. *De la réſiſtance relative des corps ſolides & de la force qu'il faut donner à diverſes parties du Navire,* 161
CHAP. V. *De la figure & de la groſſeur que doivent avoir les mâts & les vergues,* 171
CHAP. VI. *De la réſiſtance des cordages & de la maniere de les rendre plus forts,* 186
CHAP. VII. *De la force que doivent avoir différentes manœuvres,* 191

Digitized by Google

LIVRE SECOND.

Du Vaiſſeau conſideré à flot, mais lorſqu'il ne ſingle pas.

PREMIERE SECTION.

De la peſanteur du Vaiſſeau & de la force qu'à l'eau pour le ſoutenir.

CHAPITRE I. *De la force qu'à l'eau pour ſoutenir le Navire en le pouſſant en haut ſelon une direction exactement verticale*, page 199

CHAP. II. *Trouver la force avec laquelle l'eau pouſſe le Navire en haut*, 206

Premiere méthode *de meſurer la ſolidité de la carène, en la conſidérant comme un ellipſoïde*, ibid.

Seconde méthode *de meſurer la carène en la diviſant en pluſieurs priſmes*, 208

Troiſiéme méthode *de meſurer la carène en la partageant ſimplement par tranches*, 212

De l'échelle *des ſolidités ou des peſanteurs des diverſes parties de la carène*, 215

CHAP. III. *Du changement que reçoit l'enfoncement de la carène lorſqu'on ajoute au Navire quelque partie ou qu'on la retranche*, 217

CHAP. IV. *Du Jaugeage des Vaiſſeaux, & premierement de celui qui ſe fait en tonneaux d'arrimage ou de volume*, 225

Trouver la grandeur des Vaiſſeaux en tonneaux d'arrimage, 227

Maniere de regler le droit d'ancrage, & les autres droits de même eſpece, 231

CHAP. V. *Du jaugeage des Vaiſſeaux en tonneaux de poids*, 234

CHAP. VI. *Suite du Chapitre précédent : méthode de trouver la peſanteur de la charge, en meſurant la partie de la carène qu'elle*

Digitized by Google

qu'elle fait plonger dans la Mer, page 240

SECONDE SECTION.

De la diſtribution de la peſanteur du Vaiſſeau & de la poſition qu'on doit donner au centre dans lequel ſe réunit cette peſanteur.

CHAPITRE I. *Methode de trouver le centre de gravité de la carène, dans lequel ſe réunit la pouſſée verticale de l'eau*, 249

CHAP. II. *De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaiſſeau*, 254

CHAP. III. *Méthode de déterminer le métacentre ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaiſſeau*, 258

CHAP. IV. *Application des formules précédentes à quelques figures, & premierement au Navire formé en parallelipipede rectangle*, 265

Déterminer le métacentre, lorſque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des triangles, 266

Trouver le métacentre, lorſque le Navire eſt un ellipſoïde, 267

CHAP. V. *Recherches plus étendues ſur les métacentre & ſur la ligne courbe que forment ces points, lorſque le Navire s'incline*, 269

CHAP. VI. *Reconnoître ſi dans les Vaiſſeaux qu'on ſe propoſe de conſtruire, le centre de gravité ſera effectivement au-deſſous du métacentre ou du terme qu'on vient de déterminer*, 275

De la peſanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy, nommée la Gazelle, 276

Détermination du centre de gravité de la même Frégate, 280

De la ſituation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la ſureté qu'en reçoit la navigation, 283

CHAP. VII. *Du changement qu'aportent à la ſituation du mé-*

Digitized by Google

tacentre les divers changemens qu'on peut faire à la carène, page 287
CHAP. VIII. *Des changemens que reçoit la force qu'a le Navire pour reſter de niveau, lorſqu'on change ſa longueur*, 292
Du changement que reçoit la ſtabilité des corps flotans, lorſqu'on change leur profondeur, 294
Du changement que reçoit la ſtabilité des corps flotans, lorſqu'on change leur largeur, 298
Du changement que reçoit la ſtabilité du Vaiſſeau lorſqu'on ſe ſert de leſt d'une peſanteur ſpécifique différente, 301
CHAP. IX. *Examen plus particulier du changement que reçoit la ſtabilité du Navire, lorſqu'on ajoute à ſa carène ou qu'on en retranche quelque partie par en bas*, 302
CHAP. X. *Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la carène des Vaiſſeaux qui ſont très-changés par en haut, pour que leur centre de gravité ſoit effectivement au-deſſous du métacentre*, 310
Solution analytique, 312
Conſtruction géométrique du même Problème, 316
CHAP. XI. *Trouver par une expérience très-ſimple dans les Vaiſſeaux déja conſtruits, ſi le centre de gravité a la ſituation qu'on ſe propoſoit de lui donner*, 319

TROISIE'ME SECTION.

De la diſtribution de la peſanteur du Vaiſſeau par raport au mouvement du roulis.

CHAPITRE I. *DU point autour duquel le Vaiſſeau fait les balancemens qu'on nomme roulis, & de la part qu'a la peſanteur dans ces balancemens*, 325
CHAP. II. *Connoiſſant la figure du Vaiſſeau & la diſtribution de ſes parties, trouver la durée de ſes oſcillations ou de ſes balancemens dans le roulis*, 333
CHAP. III. *Trouver le changement que doit aporter aux balan-*

Digitized by Google

cemens du roulis la tranſpoſition de quelques parties dans le Vaiſſeau, avec quelques remarques ſur le tangage, 339

LIVRE TROISIE'ME.

Du Vaiſſeau conſideré en mouvement.

PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les fluides obſervent dans leur choc ; le vent en frapant les voiles, & l'eau en rencontrant la partie antérieure de la carène.

CHAPITRE I. *De la maniere dont l'impulſion du vent ſur la voile & le choc de l'eau ſur la proüe, contribuent au ſillage du Navire,* page 349
CHAP. II. *De la meſure des chocs abſolus de l'eau & du vent,* 354
Deſcription d'un Inſtrument pour meſurer la force du vent, 359
CHAP. III. *De l'impulſion des fluides ſur différentes figures & premierement ſur une proüe formée de deux lignes droites,* 363
De l'impulſion de l'eau ſur une proüe formée par un demi-cercle, 364
De l'impulſion que reçoit une parabole, 367
CHAP. IV. *Méthode générale de trouver les impulſions des fluides ſur les lignes courbes, avec quelques remarques ſur ces impulſions,* 369
De l'impulſion dans le ſens de l'axe, 370
De l'impulſion dans le ſens latéral ou dans le ſens perpendiculaire à l'axe, 376
CHAP. V. *De l'impulſion des fluides ſur les ſurfaces courbes,* 378
De l'impulſion que ſouffre une proüe conique, ibid.
De l'impulſion que ſouffre une proüe conoïdale formée par la révolution d'un arc de cercle, 381
CHAP. VI. *Méthode de trouver l'impulſion que ſouffrent les ſurfaces courbes, en les partageant en pluſieurs parties ſenſi-*

Digitized by Google

blement planes, page 387
NOTE, *dans laquelle on répond à quelques difficultés ſur la longueur de cette méthode, &c.* ibid.
Trouver l'impulſion de l'eau dans la route directe ſur une proüe dont on a le plan, 388
Trouver l'impulſion dans les routes obliques, 391
CHAP. VII. *Remarques ſur les changemens que reçoivent les impulſions que ſouffrent les ſurfaces courbes, lorſque le fluide change de direction*, 397
CHAP. VIII. *Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on examine les changemens particuliers que ſouffre l'impulſion latérale, lorſque le fluide change de direction*, 409

SECONDE SECTION.

Où l'on tente la ſolution générale des principaux Problêmes de Manœuvre.

CHAPITRE I. *De la viteſſe que prend le Vaiſſeau par rapport à celle du vent*, page 417
CHAP. II. *Du changement que le mouvement des ſurfaces produit au choc qu'elles reçoivent*, 423
CHAP. III. *Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaiſſeau apporte dans la force & dans la direction apparente du vent*, 428
CHAP. IV. *De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaiſſeaux & la ſituation de leurs voiles*, 434
TABLE *générale des angles de dérive des divers Vaiſſeaux, pour tous les divers angles que fait la voile avec la quille*, 438
CHAP. V. *Des differentes viteſſes que prend le Vaiſſeau dans les routes obliques*, 440
CHAP. VI. *De la conſtruction des Tables des viteſſes*, 453
CHAP. VII. *De la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles & du Vaiſſeau par raport au vent, pour ſuivre une route propoſée, pour gagner au vent, &c.* 459

Digitized by Google

CHAP. VIII. *Conſtruction des Problêmes propoſés dans le Chapitre précédent*, 467

TROISIE'ME SECTION.

Du Vaiſſeau conſideré par raport à la proprieté qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du gouvernail que par le moyen des voiles

CHAPITRE I. *De la ſituation des máts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les voiles de la prouë & de la poupe*, 473

CHAP. II. *De la figure qu'il faudroit donner aux Vaiſſeaux pour qu'ils gouvernaſſent parfaitement bien par le moyen des voiles*, 480

CHAP. III. *De l'endroit où le Vaiſſeau doit avoir ſa plus grande largeur, pour être plus ſenſible à l'effet du gouvernail*, 488

CHAP. IV. *Méthode de reconnoître ſi un Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire, gouvernera avec facilité ; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puiſſances tendent à faire tourner en même tems de deux différens côtés*, 497

CHAP. V. *Suite du Chapitre précédent ; uſage des principes établis ci-devant pour déterminer la quantité du mouvement de converſion que prend un corps expoſé à l'action de pluſieurs puiſſances*, 502

Digitized by Google

QUATRIE'ME SECTION.

Où l'on examine le Vaiſſeau par raport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la voile ou de recevoir une voilure avantageuſe.

CHAPITRE I. *DE l'effort mutuel vertical que forment enſemble les impulſions du vent ſur les voiles & de l'eau ſur la proüe*, page 509

CHAP. II. *Des différentes ſituations que l'effort mutuel vertical des chocs du vent ſur les voiles & de l'eau ſur la proüe, fait prendre au Navire; & des conditions de la mâture parfaite*, 514

NOTE dans laquelle on repond à l'extrait de deux Lettres anonymes publié par M. Saverien. 515

CHAP. III. *Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner ſans riſque à la mâture; avec quelques remarques ſur la force qu'ont les Vaiſſeaux de divers rangs pour porter la voile*, 521

CHAP. IV. *Suite du Chapitre précédent; déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette regle à quelques Navires*, 528

Application du Probléme précédent à un Vaiſſeau du premier rang, 531

Application du même Problême à la Frégate la Gazelle, 534

CHAP. V. *Dans lequel après avoir repondu à quelques objections, on examine laquelle des dimenſions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il eſt à propos que les différens mâts d'un Navire ſoient de différentes hauteurs*, 535

CHAP. VI. *Un Navire étant donné ou déja conſtruit, déterminer la mâture la plus avantageuſe qu'il peut recevoir, lorſqu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau*, 540

CHAP. VII. *De la forme que doivent avoir les Vaiſſeaux dans le ſens de leur groſſeur, pour mieux porter la voile & aller plus vite*, 551

Digitized by Google

CHAP. VIII. *De la groſſeur qu'il faut donner aux Vaiſſeaux par raport à leur longueur, pour qu'ils portent mieux la voile, avec le moyen d'augmenter extraordinairement la viteſſe de leur ſillage,* 561

CINQUIE'ME SECTION.

Du Navire conſideré par raport à la rapidité de ſon ſillage & à la proprieté qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

CHAPITRE I. *Examen des figures les plus ſimples qui reçoivent le moins d'impulſion qu'il eſt poſſible de la part des milieux dans leſquelles elles ſe meuvent,* page 572

TABLE des dimenſions de la proüe angulaire & rectiligne dans le ſens horiſontal, laquelle éprouve la moindre réſiſtance de la part de l'eau, 579

CHAP. II. *De la proüe en conoïde qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il eſt poſſible,* 580

TABLE des dimenſions de la proüe conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité, 581

TABLE des dimenſions d'un nouveau conoïde qui doit éprouver peu de réſiſtance en traverſant les milieux, 586

TABLE des dimenſions de deux proües conoïdales qui n'éprouvent la moindre réſiſtance de la part de l'eau, que lorſquelles ne ſont pas entierement ſumergées, 588

CHAP. III. *Une baſe étant donnée, trouver la figure du ſolide dont il faut la couvrir, pour que l'impulſion qu'elle ſouffre en traverſant un fluide, ſoit la moindre qu'il eſt poſſible,* 589

CHAP. IV. *De la formation de pluſieurs autres proües qui éprouvent la moindre réſiſtance poſſible en fendant l'eau,* 599

CHAP. V. *De la proüe de la plus grande viteſſe ou de celle qui rend le Vaiſſeau le plus capable de porter la voile, en même tems qu'elle fend l'eau avec plus de facilité,* 612

CHAP. VI. *Détermination de la figure de la proüe de la plus*

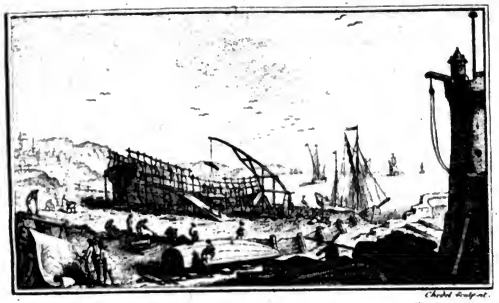
Digitized by Google

grande viteſſe, lorſqu'elle eſt terminée par un ſimple trait horiſontal, page 624
TABLE des dimenſions des prouës curvilignes de la plus grande viteſſe, 632
CHAP. VII. *De la figure qu'il faut donner à toute la partie poſtérieure de la carène, lorſqu'elle eſt terminée par un ſimple trait horiſontal, & de la maniere de s'en ſervir pour former des gates,* 636
CHAP. VIII. *Suite du Chapitre précédent; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorſqu'elle eſt un conoïde, & de la maniere d'en former une Frégate,* 646
TABLE des dimenſions de la poupe conoïdale qui contribuë le plus qu'il eſt poſſible au ſillage par l'impulſion qu'elle reçoit du reflux de l'eau, 651
CHAP. IX. *De la forme que doivent avoir les Navires de transport & les Navires de guerre, & d'une derniere forme pour les Frégates,* 652
Premiere ſolution, pour le cas dans lequel la prouë eſt formée par deux plans verticaux qui font un angle, 653
Seconde ſolution, pour le cas dans lequel la prouë eſt terminée par un ſeul plan incliné en avant, 660
Méthode particuliere de former les Vaiſſeaux de guerre & les Frégates, 663
CHAP. X. *Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particuliere qu'il faut donner à la prouë des Navires de transport,* 665
TABLE des dimenſions de la prouë du plus grand mouvement, 674
CONCLUSION, 679

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITE'

Digitized by Google



TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Conſtruction, avec diverſes remarques ſur les regles ordinaires.

Qui dubiis auſus committere flatibus alnum,
Quas Natura negat, præbuit Arte vias. *Claud.*

NOus nous propoſons en traitant de la conſtruction des Vaiſſeaux, & de la Mécanique de leurs mouvemens, de ſubſtituer, s'il ſe peut, des regles exactes & préciſes, aux pratiques obſcures & tatonneuſes qui ſont en uſage dans la Marine. L'Architecture Navale, à parler

A

VILLE DE LYON
Biblioth. du Palais des Arts

Digitized by Google

dans la rigueur, n'a point été un Art juſques à preſent; nous voulons faire enſorte qu'elle en devienne un, & qu'on n'agiſſe déſormais dans toute cette matiere qu'avec lumiere & pleine connoiſſance de cauſe. Il eſt certain que ce ſujet eſt digne par une infinité d'endroits de l'attention des Lecteurs & de celle des plus habiles Mathématiciens. Outre qu'il s'agit du ſalut & de la conſervation des Marins qui ne craignent pas de s'expoſer aux plus grands périls pour notre propre utilité, on ne ſçauroit trop travailler à perfectionner un Art, qui après nous avoir appris, contre notre attente, qu'il y avoit des peuples au-delà des mers dans les endroits les plus reculés de la Terre, nous rend leur commerce extrémement facile, nous met à portée de leur communiquer nos loix & nos uſages, & qui réuſſit ſi heureuſement à nous procurer les richeſſes de tous les divers Païs. D'un autre côté, le Vaiſſeau dirigé ou animé, pour ainſi dire, par le Manœuvrier, conſtitué comme une admirable machine, ou comme un grand Automate, qui ne tient pas moins du poiſſon par la forme de ſa carène, que de l'oiſeau par l'uſage de ſes voiles: il ne doit pas moins à l'une qu'à l'autre de ces conformités l'avantage de franchir les plus grands eſpaces avec la plus extrême promptitude. Rien ne fait plus d'honneur à l'invention & à la hardieſſe des hommes que le ſuccès d'une pareille entrepriſe, & on peut à juſte titre la regarder comme leur chef-d'œuvre. Jamais ils n'ont travaillé à aucun ouvrage, où il ſoit néceſſaire d'une connoiſſance plus profonde des forces mouvantes, où il s'agiſſe d'intérêts plus importans, où le Phyſique ſe trouve plus mêlé avec le Géométrique, où enfin toutes les parties en plus grand nombre ayent des dépendances plus étroites & plus ſecretes.

Quoique nous ſoyons diſpoſés à changer entierement, s'il le faut, les pratiques anciennes, nous tâcherons cependant de profiter de ce qu'elles peuvent avoir de bon; & nous ne ferons autre choſe que les corriger ou les mo-

Digitized by Google

difier, lorſque ce ſimple changement nous paroîtra ſuffire. C'eſt ce qui nous invite en partageant ce Traité en trois Livres, de deſtiner autant ce premier à repréſenter l'état actuel de la Conſtruction qu'à donner une idée générale de cette partie de notre ſujet, & ce ne ſera que dans les deux Livres ſuivans que nous nous livrerons plus particulierement aux nouvelles recherches que nous croirons indiſpenſables. Dans le ſecond, nous examinerons la peſanteur du Vaiſſeau, l'eſpace qu'il occupe dans la mer & toutes les circonſtances de ſon état, lorſqu'il flote, mais qu'il ne ſingle pas. Dans le troiſiéme, nous le conſidérerons en mouvement, & nous tâcherons de développer toutes les particularités de ce ſecond état; objet principal, ou plutôt unique, qu'on doit même avoir en vûë dans les autres diſcuſſions. Si les deux ſujets, la Conſtruction des Vaiſſeaux & la Mécanique de leurs mouvemens, ne ſont pas abſolument inſéparables, il eſt au moins clair qu'on ne peut pas traiter le premier à fond & juſqu'à l'établir ſur des principes certains, ſans examiner le ſecond; puiſque les Navires ne ſont faits que pour ſe mouvoir.

Digitized by Google

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaiſſeau & de ſes parties intérieures.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes eſpeces de Navires.

APeine la Navigation fut-elle inventée qu'on ſe hâta, pour ainſi dire, d'en changer l'uſage, en renonçant en partie aux avantages qu'elle offroit. Dans le dénombrement des différens ordres de Navires que nous ſommes obligés de faire, nous commencerons par les plus grands, & ce ſont ces mêmes qui étant actuellement chargés & encore plus embaraſſés de leur propre artillerie, ne ſont d'aucune utilité, ſi ce n'eſt pour la guerre. On les diſtingue en différens rangs ou en différentes claſſes : cette diſtinction eſt toujours fondée, ou ſur le nombre de canons qu'ils peuvent porter, ou ſur la multitude d'étages qu'ils ont principalement vers la poupe.

I.

Des Vaiſſeaux du premier rang.

Les premiers, ou ceux qu'on nomme du *premier rang*, ſont armés de 100 ou 120 canons, ils ont de longueur 170 ou 180 pieds, de largeur un peu moins de 50, & leur artillerie eſt diſtribuée de chaque côté en trois batteries completes placées par étages les unes au-deſſus des autres. Ces étages ſont formés par trois eſpeces de planchers qu'on nomme *Ponts*, & le ſupérieur en particulier *le Tillac*. Chaque batterie eſt compoſée de chaque côté du

Digitized by Google

Vaiſſeau de 15 ou 16 canons : les embraſures qui prennent dans les Vaiſſeaux le nom de *Sabords*, ont un peu plus de trois pieds de largeur pour les plus gros canons, pour ceux de 36 ou de 48 livres de bale ; & leur intervale eſt ordinairement de $7\frac{1}{2}$ pieds. Outre ces trois batteries complettes, on met le plus ſouvent cinq canons de chaque côté ſur un demi-pont qui eſt plus haut, qu'on nomme le *Gaillard*, lequel commençant à l'arriere, vient ſe terminer vers le milieu du Navire. Il y a auſſi du canon ſur le gaillard ou *Château d'avant*, ordinairement trois de chaque côté; & enfin au-deſſus du gaillard de l'arriere, il y a encore deux étages qu'on nomme *Dunettes*, & on met au moins ſur la premiere du canon de petit calibre.

La premiere batterie, c'eſt-à-dire, la plus baſſe, eſt formée de canons de 48 livres de bale, & il y en a 15 de chaque côté. La ſeconde batterie, qui eſt immédiatement au-deſſus, a des canons de 18 livres & il y en a 16 de chaque côté, le Navire étant en haut un peu plus long : ces canons répondent exactement au milieu des intervales de ceux de la premiere batterie qui ſont au-deſſous. Enfin la troiſiéme qui eſt celle du tillac, a du canon de 12 livres, & il n'y en a que 15 de chaque côté, quoique le Navire ſe trouve encore un peu plus long ; mais on veut conſerver un grand eſpace, ſur tout en arriere, pour la commodité du logement. Les canons des gaillards ſont de 8 livres, & ceux de la premiere dunette ſont de 4. Comme on ne conſtruit guéres de Vaiſſeaux du premier rang l'uſage n'a rien de décidé bien abſolument ſur tout cela. La longueur du Navire devient déterminée par le nombre des canons qu'on veut donner à la premiere ou à la ſeconde batterie : car l'expérience a montré qu'il faut mettre pour le ſervice de l'artillerie l'intervale qu'on a indiqué, 7 pieds & demi, ou au moins 7 pieds entre les ſabords, afin que le feu que repand un canon par ſa bouche ou par ſa lumiere ne puiſſe pas ſe communiquer aux autres, & qu'outre cela les Canoniers ne ſe trouvent pas gênés. Il y auroit moins d'inconvenient à augmenter les

Digitized by Google

intervales, & c'eſt ce qu'on a fait quelquefois. Une batterie de 16 canons, y compris ſes deux extrêmités, occupe de cette ſorte plus de 170 pieds de longueur.

Les Vaiſſeaux du *premier rang* ont, comme on le voit, trois ponts & demi & deux dunettes; de ſorte que ſans compter la *cale* ou la capacité intérieure qui eſt embaraſſée par la charge & par les munitions, ils ont vers la poupe cinq étages les uns au-deſſus des autres, diſtingués par ſix planchers. Ces cinq étages ont des retranchemens pour ſervir à la retraite des Officiers, & pour ſervir auſſi à leur aſſemblée commune. Il y a une trentaine de chambres & il ne faut pas moins d'une vingtaine d'Officiers pour tout régler dans un Navire où l'on eſt continuellement en action, & dont l'Equipage eſt d'environ 1200 hommes. Chacun des cinq étages a peu de hauteur, on le juge aſſez; celui de la *Chambre de Conſeil*, qui eſt au-deſſus du troiſiéme pont ou du *tillac*, n'a pas ordinairement 7 pieds, & le moindre qui eſt celui de la ſeconde dunette ou de la dunette ſupérieure, n'en a pas 5 : mais ces étages font enſemble une hauteur qui ne peut pas manquer d'être nuiſible. Le poids de tous les materiaux qui forment les appartemens & ces planchers immenſes qui forment les ponts, joints à la peſanteur de l'artillerie, ſont cauſe que le centre de gravité de tout le Vaiſſeau, ou ſon point le plus peſant, eſt preſque toujours trop élevé. Outre cela le vent qui frape avec force ſur cette poupe ſi haute, fait ſouvent tort à l'effet des voiles. Depuis quelques années on a en France ſuprimé preſque entierement les dunettes ſupérieures, & ce retranchement n'a dû produire que d'excellens effets par rapport à la Navigation.

Vaiſſeaux du ſecond rang.

Les Vaiſſeaux qu'on nomme du *ſecond rang*, n'ont que trois ponts & deux dunettes, de ſorte qu'il leur manque ce demi-pont ou ce grand gaillard qui caracteriſe les premiers, & leur poupe n'a que quatre étages. Ils ont bien un gaillard, mais qui au lieu d'être de la moitié de la longueur du Navire, n'en eſt guéres que le tiers, & encore eſt-il compté lorſqu'on dit que ces Navires ont deux du-

Digitized by Google

nettes. Ils ont 150 ou 155 pieds de longueur, & ſont armés de 80 ou 90 canons. Depuis qu'on a ſuprimé les dunettes ſupérieures il paroît qu'on confond quelquefois le ſecond rang avec le premier, & qu'on fait entrer maintenant dans le ſecond, des Vaiſſeaux qui appartiennent plutôt au troiſiéme dont nous allons parler, mais qui ſont cependant un peu plus grands. L'uſage n'a fait encore que changer la ſignification du nom de rang, & n'a pas réuſſi à la fixer.

Vaiſſeaux du troiſiéme rang.

Les Vaiſſeaux *du troiſiéme rang* ont 135 ou 145 pieds de longueur, ils ſont *montés* de 60 ou 70 canons, & ils n'ont que deux ponts & demi avec une ſeule dunette; ce qui ne leur donne que trois étages vers la poupe. Les Marins qui ont frequenté le plus la mer, aſſurent tous unanimement que ce ſont ces ſortes de Vaiſſeaux qui ſe comportent le mieux dans les tempêtes, & ils le feroient encore beaucoup mieux s'ils n'étoient pas tant chargés d'artillerie, quoiqu'ils n'en ayent pas ordinairement ſur leurs dunettes. Un vent qui eſt trop impetueux pour un petit Navire, ne fait que mettre celui du troiſiéme rang en mouvement, le fait marcher avec plus de viteſſe, ou le fait paſſer plus promptement d'une route à l'autre. Il eſt préférable auſſi preſque toujours aux Vaiſſeaux des deux premiers rangs, parce que ces derniers ſont encore plus chargés d'artillerie à proportion; qu'ils ſont encore plus peſants par en haut, & qu'outre cela leur ſeule grandeur leur devient ſouvent funeſte. Dans les tempêtes ces plus grands Vaiſſeaux ſe trouvent livrés à toute la fureur du mauvais tems, parce qu'il eſt peu de Ports aſſez profonds où ils puiſſent ſe retirer: & lorſqu'il fait peu de vent, ce ne ſont plus au contraire que de lourdes machines qui devenant quelquefois immobiles dans une action, ſont inveſties aiſément de tous côtés par d'autres Navires moins forts. Au reſte ces trois différens ordres, conſtituent les Vaiſſeaux proprement dirs, ou les *Vaiſſeaux de ligne*; & tous ceux qui ſont au-deſſous, n'ont plus que le nom de *Frégates*.

Les Vaiſſeaux des trois premiers rangs, les Vaiſſeaux

à trois ponts & demi, les Vaisseaux à trois ponts & les Vaisseaux à deux ponts & demi, sont dits *de ligne*, parce qu'ils sont propres à soutenir le combat dans les Armées navales, & à s'arranger sur un ligne droite, pour présenter leur flanc à l'ennemi. De moindres Navires, comme ceux du quatriéme rang qui n'ont que cinquante canons, ou ceux du cinquiéme qui n'en ont que 30, ne peuvent pas suppléer par leur grand nombre, parce qu'ils n'ont pas des canons assez gros, & que pendant qu'ils sont extrémement maltraités par l'artillerie des plus grands Vaisseaux, ils ne peuvent faire que très-peu de tort à ceux-ci qui sont beaucoup plus hauts & beaucoup plus forts en bois. Cela n'empêche pas cependant qu'au défaut d'autres, on n'introduise quelquefois dans les Armées navales, lorsqu'il s'agit même du combat, des Frégates ou des Navires qui ont moins de 60 canons, & qui ne différent ordinairement des Vaisseaux du troisiéme rang, que par la grandeur, sans en différer par la forme.

Vaisseaux de ligne.

II.

On a déja dit que tous les Navires qui ont moins de 60 canons, ou qui sont au-dessous du troisiéme rang, se nomment *Frégates*. Cependant ce dernier nom sert principalement dans la Marine à marquer la legereté des Navires, & on l'applique plus particulierement à ceux auxquels on a donné quelques parties de moins, afin de diminuer leur pesanteur. Lorsqu'il est question de Navires de guerre, il suffit qu'avec deux ponts, ils n'ayent qu'un très-petit gaillard, pour qu'ils soient Frégates : & si on raloit un Vaisseau du premier rang, en lui ôtant le pont le plus haut, (ce qui peut quelquefois devenir nécessaire lorsqu'un pareil Vaisseau trop chargé par ses parties supérieures, ne peut pas naviger), il n'y a point de doute, vû la légereté qu'il acquerroit & le peu de hauteur qu'il auroit ensuite à proportion de sa largeur & de sa longueur, que tous les Marins ne s'accordassent à le nommer Frégate, quoiqu'il eût le même nombre d'étages que le Vaisseau du troisié-

Frégates.

me

me rang, & qu'il portât encore 78 ou 80 canons, comme les Vaiſſeaux du ſecond. Lorſqu'il s'agit au contraire de Navires Marchands, dont les plus grands n'ont que deux ponts & dont la fabrique eſt peſante, on ne donne le plus ſouvent le nom de Frégates qu'à ceux qui n'ont qu'un ſeul pont.

A l'égard des plus petits Navires, ils ſe ſubdiviſent en un très-grand nombre d'eſpeces; mais quelquefois leur différence ne conſiſte que dans la ſeule diſpoſition de leur mâture. Les *Corvettes* ſont de petites Frégates deſtinées pour porter des ordres, pour aller reconnoître des Navires éloignés, &c. Entre les Bâtimens de charge on diſtingue principalement les *Flutes*, qui ſur la même longueur, ſont par le deſſous beaucoup plus groſſes & plus platés que les autres Navires. Ce ſont des eſpeces de parallelipipedes rectangles dont on n'a fait, pour ainſi dire, qu'émouſſer les angles. Ces Flutes qui ont quelquefois deux ponts, quoiqu'elles ſoient toujours fort étroites, ſont principalement en uſage en Hollande & dans les autres endroits où l'eau a peu de profondeur, ſoit dans les ports, ſoit ſur la côte. En France, & encore moins en Angleterre, on ne ſe ſert guéres de ces ſortes de Bâtimens, & ſi nous donnons quelquefois le même nom à quelques uns de nos Navires, à cauſe de quelque leger rapport, ils en différent cependant beaucoup. Nos Négocians préférent les Bâtimens qui ſont moins plats par deſſous, parce que s'ils ne portent pas une ſi grande charge, ils vont en recompenſe plus vite, ils ſont plus propres à ſe défendre en tems de guerre & à éviter auſſi l'ennemi par la fuite. On a encore les *Flibots* & les *Houcres* qui ſont des eſpeces de Flutes: mais il n'eſt pas, ce ſemble, néceſſaire de deſcendre ici dans un plus grand détail, qui paroîtroit mieux convenir à un Dictionnaire. Au lieu que la grandeur des Vaiſſeaux de guerre ſe déſigne ordinairement par leur rang ou par le nombre de canons dont ils ſont armés; on exprime plus ſouvent la grandeur des Navires ou des Bâtimens de charge, par le poids qu'ils peuvent porter; & ce

Corvettes.

Flutes.

Flibots. Houcres.

Digitized by Google

poids est spécifié en tonneaux, dont chacun pese 2000 livres poids de marc.

Il n'appartient qu'aux Souverains de faire bâtir des Vaisseaux du premier & du second rang, tant les frais en sont considérables, mais lorsque des particuliers entreprennent d'en faire construire qui semblent être du troisiéme, ils ne sont ordinairement que du quatriéme. On jugera de l'énorme travail qu'éxige la construction d'un Navire du premier rang, lorsqu'on sçaura qu'il faut employer plus de 4000 chênes, sans compter une prodigieuse quantité d'autres bois; il faut plus de 300 milliers de fer, & plus de 130, ou 140 mille journées d'ouvriers. Les Vaisseaux Royaux sont aussi toujours d'un échantillon plus fort que les Navires des particuliers: l'intervale entre leurs canons est plus grand; les ponts sont plus élevés, de sorte qu'indépendamment des ornemens & de la sculpture qui les distinguent, on remarque dans l'Architecture Navale, à peu près cette différence qu'on voit dans l'Architecture Civile, entre les Palais des Princes & les Maisons des simples Citoyens. Un Vaisseau de Roy de 48 ou 50 canons, est aussi grand qu'un Navire Marchand qui en porte 60. On demandera peut-être, s'il ne seroit pas à propos de donner moins de canons aux Navires des particuliers, ou d'en donner davantage à ceux du Roy. La question paroît fondée: mais il faut faire attention que les Vaisseaux Royaux ont des canons d'un plus grand calibre, & qu'ils sont plus forts en bois, ainsi qu'on l'a déja dit; ce qui est comme nécessaire à cause de leur destination. Ils doivent présenter le flanc, non-seulement à d'autres Navires qui ont une aussi grosse artillerie, il faut qu'il le présente encore quelquefois aux Citadelles même qui sont sur le bord de la mer, & qu'ils puissent en foudroyer les défenses; ce que les autres Navires sont fort éloignés d'entreprendre.

III.

Navires de bas-bord. Toutes les especes de Vaisseaux & de Bâtimens dont

nous venons de parler, ne ſinglent ordinairement qu'à la voile. Il en eſt quelques-uns, mais qui ſont ſouvent aſſez petits, qui ſont de 100 ou de 200 tonneaux, ou qui ont 60 ou 80 pieds de longueur, qu'on nomme *Galiotes*, *Tartanes*, *Brigantins*, *Bateaux*, *Barques*, *&c.* qui vont à voiles & à rames, ſelon les occaſions; & il y a enfin les *Galeres* qui ſont faites principalement pour aller à rames. Tous ces Navires qui vont à rames ſont nommés de *bas-bords*, pour les diſtinguer de ceux de *hauts-bords*, entre leſquels on ne laiſſe pas de mettre les plus grandes Frégates, quoique le nom de *hauts-bords* convienne particuliérement aux Vaiſſeaux de ligne ou des trois premiers rangs. Entre tous les Bâtimens de bas-bords, ce ſont les Galeres qui ont moins de hauteur au-deſſus de l'eau, & cela pour la commodité des Rameurs. L'expérience ſeule a dû perfectionner aiſément ces ſortes de Bâtimens; apprendre la diſpoſition la plus commode des rames; la longueur de ces rames pour tirer le parti le plus avantageux de la force ordinaire des hommes; la largeur de la Galere qui dépend principalement de la longueur de la partie intérieure de la rame. S'il reſte enfin quelque choſe à corriger encore, ce doit être ſeulement la figure de la carene, que le tatonnement & le long uſage n'ont pas pû faire rencontrer avec la même facilité. Cependant comme la prouë de la Galere, ſur une longueur ou une ſaillie très-conſidérable, n'enfonce que très-peu dans l'eau, preſque toutes les figures qu'on peut lui donner, ſont indifférentes; auſſi-tôt qu'elles viennent ſe terminer inſenſiblement en pointe. Ainſi il n'y a point de doute que de tous les Navires, ce ne ſoit celui-ci où il y a le moins à réformer.

Galeres.

CHAPITRE II.

Des principales parties du Vaisseau & leurs proportions selon les regles ordinaires.

PERSONNE n'ignore la forme extérieure qu'ont les Vaisseaux, & que si on s'est proposé d'imiter dans leur figure celle des poissons qui nagent le mieux, on a voulu en même tems, dans l'arrangement des différentes pieces intérieures qui les composent, imiter la structure du squelette de la plûpart des animaux. La quille, cette longue poutre, ou plutôt cet assemblage de poutres mises bout à bout, qui est au-dessous de tout l'ouvrage, & qui en est la base, est comme l'épine; pendant que toutes les pieces de bois courbées, qu'on nomme les *membres* & quelques autres fois les *varangues*, les *couples*, représentent les côtes de l'animal. La quille est la premiere piece qui se pose sur le chantier; & comme il arrive souvent qu'on n'a point de poutres assez longues pour la former d'une seule piece, on la fait de trois ou quatre parties qu'on joint les unes au bout des autres par des especes d'entailles. On nomme ces entailles, *endentures*, *escares*, ou *empatures*; & on a le soin de les rendre assez longues, le plus souvent de 9 ou 10 pieds; afin de donner plus de force au tout. La quille de nos plus grands Vaisseaux; de ceux du premier rang, est d'environ 150 pieds; c'est la longueur qui, pour parler comme les Marins, *porte sur terre*, quoiqu'elle soit faite pour n'y pas porter. Les constructeurs donnent pour l'ordinaire autant de pouces de largeur & de hauteur à la quille que la septiéme partie de sa longueur contient de pieds: c'est-à-dire, pour exprimer la chose d'une maniere plus simple, qu'on fait l'épaisseur la quatre-vingt-quatriéme partie de la longueur. Si la quille a 140 pieds de long, on lui donnera 20 pouces de hauteur & autant de largeur.

La quille.

Les escavet.

La longueur portant sur terre.

Digitized by Google

Aux deux extrémités de la quille s'élevent deux pieces de bois, celle de l'avant beaucoup plus inclinée que celle de l'arriere; & ces deux pieces terminent le Vaisseau dans le sens de sa longueur. La premiere ou celle de l'avant, qui est *l'étrave*, est toujours courbée à peu près comme l'est un arc de cercle de 70 dégrés. Elle a de hauteur verticale à peu près le quart de la longueur de la quille, ou un peu moins, selon plusieurs autres Constructeurs, qui ne lui donnent de hauteur que 28 $\frac{1}{2}$ pieds, lorsque la quille est de 124. Cette piece de bois est, comme je l'ai dit, panchée en avant; elle a de saillie la moitié de sa hauteur, ce qui fait à peu près la huitiéme partie de la longueur de la quille; mais quelquefois on lui en donne beaucoup davantage. Cette saillie est nommée en termes d'art *l'élancement de l'étrave.*

L'étrave & sa hauteur.

L'élancement de l'étrave & sa quantité.

L'autre piece de bois qu'on nomme l'*étambot* est élevée à l'autre extrémité de la quille ou à l'extrémité de l'arriere, & on lui donne ordinairement une quarantiéme partie moins de hauteur verticale qu'à l'étrave. Cette piece de bois panche aussi & en dehors, mais seulement de la quatriéme dont panche l'étrave, & cette inclinaison se nomme *la queste.* Ainsi *la queste de l'étambot* est égale au quart de *l'élancement de l'étrave.* On voit assez la raison pourquoi l'étrave est panchée en avant; c'est pour contribuer à former la saillie ou la courbure de la prouë; cette disposition est comme nécessaire: mais il paroît que rien n'obligeoit de faire aussi pancher l'étambot & de lui donner de la queste; si ce n'est l'envie qu'on a eu d'augmenter la longueur du Vaisseau par en haut, & de rendre l'arriere plus étendu & plus capable de fournir des logemens commodes aux Officiers. D'un autre côté cette situation de l'étambot est cause que le poids de toute la poupe qui est au-dessus & qui est augmenté par les galeries, &c. fait un grand & continuel effort pour faire pancher encore plus l'étambot, ou pour ouvrir l'angle obtus qu'il fait avec la quille. Cet inconvenient qui ne laisse pas d'avoir des suites fâcheuses, cesseroit tout d'un coup, si on vouloit se ré-

La queste de l'étambot & sa quantité.

Digitized by Google

foudre à perdre quelques pieds sur la longueur superflue du Vaisseau, en posant l'étambot plus verticalement.

La longueur du Vaisseau. La longueur des Vaisseaux se prend toujours dans la Marine depuis le haut de l'étambot jusques au haut de l'étrave. Ainsi la longueur proprement dite est plus grande que celle qui porte sur terre des deux quantités dont l'étrave & l'étambot panchent en dehors. Tantôt les Constructeurs réglent toutes les parties du Vaisseau sur la seule longueur de la quille, tantôt ils les réglent immédiatement sur la longueur proprement dite, ou prise du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou de *cap en cap*. Dans ce second cas, il faut retrancher de la longueur du Navire environ une neuviéme partie du côté de l'avant pour l'élancement de l'étrave; retrancher en même tems en arriere une trente-sixiéme partie pour la queste de l'étambot, & le reste qui est de 31 trente-sixiémes du tout, sera la longueur de la quille.

Les membres. Ces pieces de bois courbées, que les Constructeurs nomment *membres*, & qui étant comme les côtes du squelette s'arrangent perpendiculairement au-dessus de la quille, sont toujours formées de plusieurs parties dont chacune a son nom. La *varangue* est la partie d'embas qui est presque plate dans le milieu du Vaisseau & qui s'applique immédiatement sur la quille; souvent, mais par extention, on donne le même nom à l'assemblage de toutes les pieces ou des membres qui forment la courbe entiere. *Les genoux de fond*, ou simplement les genoux, sont les deux pieces qui se joignent aux deux extrémités de la varangue & qui forment un plus grand arrondissement: au-dessus sont d'autres pieces qu'on nomme *allonges* & qu'on distingue par premieres, par secondes & même par troisiémes, jusqu'à ce qu'on soit parvenu assez haut. Mais les *allonges* d'en haut qui au lieu de présenter au dehors leur convexité, présentent au contraire leur concavité, prennent le nom *d'allonges de revers*. Toutes ces pieces se joignent ensemble en mettant l'extrémité de l'une à côté de l'extrémité de l'autre, & cette jonction se nomme *empâture*: ou

Les genoux de fond.

Les allonges.

Allonges de revers.

Digitized by Google

bien on les met au bout les unes des autres ; mais pour qu'elles ſe ſoutiennent, on met à côté un autre aſſemblage de varangue, de genoux, d'allonges, en faiſant enſorte que les jonctions des pieces d'un aſſemblage répondent vers le milieu des pieces de l'autre ; & le tout étant fortement chevillé enſemble, fait une double côte qu'on nomme *couple* par cette raiſon. On nomme auſſi ces couples *gabarits*, quoique ce dernier nom convienne plutôt au modéle fait en planches, pour repréſenter la courbure qu'on doit donner aux membres.

Les couples

Les gabarits.

On voit la plus grande partie de ce que nous venons de dire dans la figure premiere. La quille AB eſt formée de quatre pieces jointes l'une à l'autre par les *eſcares* que nous n'avons pas oublié de repréſenter. A eſt l'extrémité de l'arriere qu'on nomme *talon*, & B l'extrémité de l'avant qu'on nomme *brion* ou *ringeot*. La piece de bois AC eſt l'étambot, & la diſtance AF interceptée par le *talon* & par la perpendiculaire CF abaiſſée du haut de l'étambot ſur le prolongement de la quille, eſt la queſte que nous prétendons qu'il n'y auroit point d'inconvenient à diminuer ni même à détruire. L'étambot eſt fort large par en bas ; il a deux fois plus de largeur que la quille n'a ordinairement de hauteur. Il entre dans la quille par une mortaiſe, & il y eſt outre cela encore lié par une piece de bois courbe PQR, qui fait un angle obtus, & dont la branche qui s'applique ſur la quille dans les plus grands Vaiſſeaux à 8 ou 9 pieds de long & l'autre 12 ou 13. Cette piece de bois prend ſon nom de ſa figure, on la nomme *courbe :* il en entre beaucoup d'autres de la même figure & du même nom, dans la conſtruction du Vaiſſeau. La piece de bois BD placée de l'avant eſt l'étrave & BE eſt ſon élancement. La longueur du Vaiſſeau eſt priſe ordinairement (nous le repetons) depuis le haut D de l'étrave juſqu'au ſommet C de l'étambot. L'étrave ſoutient toutes les pieces qui forment l'épron, cette partie deſtinée à l'ornement du Navire ; & la *gorgere* ou *le taille mer* W, y eſt immédiatement attaché. La poulaine eſt auſſi toute cette

Fig. 1.

Digitized by Google

partie de l'avant, mais en la confondant avec le corps même du Vaisseau auquel elle se joint. Il faut remarquer qu'on est assujetti à donner à l'étrave une certaine hauteur, parce que le mât de beaupré, ce mât incliné en avant & qui sort du Vaisseau, s'appuye sur son sommet D. Enfin on voit dans la même figure quelques varangues ou quelques couples; mais le Lecteur doit sçavoir qu'on en met un si grand nombre dans la fabrique des Vaisseaux, qu'elles ne laissent entr'elles que peu d'intervale, & qu'il y a presque toujours plus de plein que de vuide.

Fig. 2. La seconde figure qui représente une couple entiere, montre d'une maniere plus précise les parties dont elle est composée. EF est la varangue; EL & FK sont les deux genoux, & les autres pieces ajoutées au-dessus de celles-ci sont les allonges, & la derniere est l'allonge de revers. Cet assemblage de pieces se joint & s'attache à un autre, comme j'en ai déja averti, ce qui lui a fait donner le nom de couple, ou ce qui y a contribué.

Le plat de la varangue. Vers le milieu du Vaisseau les varangues sont presque plates, & c'est pour cela que EF s'appelle *le plat* de la varangue ou du Vaisseau, quoiqu'il ne le soit pas exactement. Les deux quantités IF & HE, dont les deux extrémités de la varangue s'élevent, s'appelle l'*acculement*. Les Constructeurs disputent beaucoup entr'eux sur la grandeur *du plat*, mais on voit clairement que cette dispute est absolument inutile, tant que l'acculement n'est pas déterminé. A mesure qu'on considére le Vaisseau plus vers l'avant & plus vers l'arriere, le plat des varangues diminue, & l'acculement augmente. Les *varangues acculées* & les *fourcats* sont celles dont les deux branches commencent à faire un angle aigu ou même droit, & les genoux qui présentent alors leur concavité en dehors prenent le nom de *genoux de revers*. Les membres OS & OT (Fig. 1.) qui forment la poupe, se nomment en particulier *estains*, & *cornieres* les allonges comme TY. On applique aussi sur l'étrave des membres en forme de côtes, & ce sont les *allonges d'écubier* à cause des *écubiers* qui sont au-dessus, qui sont

L'acculement des varangues.

Les varangues acculées & les fourcats.

Les genoux de revers.

Les estains & cornieres.

Les allonges d'écubier.

des

des trous faits au haut de la proüe par lesquels passent les cables qui servent à retenir le Navire. Je reviens à la figure de la carène qui n'imite la forme des poissons que par le retrecissement de ses varangues vers l'avant & vers l'arriere, & que par l'augmentation de son acculement. C'est ce qui fait que le Navire, pour parler comme les Marins, est *taillé* ou *façonné*, qu'il est *frégaté* ou que *ses fonds sont fins*. Ainsi le Vaisseau qui a beaucoup de *façons*, c'est celui dont la carène diminue très-subitement de grosseur par dessous, vers la poupe & vers la proüe, ou dont les varangues ont beaucoup d'acculement. Le plat des varangues se réduisant à rien au point K de l'étrave (Fig. 1.) la hauteur *&* K y représente l'acculement, qu'on nomme en particulier *hauteur des façons* de l'avant; & par la même raison AO est *la hauteur des façons de l'arriere*.

Le Navire qui est taillé.

Qui est frégaté

Qui a beaucoup de façons, dont les fonds sont fins.

Hauteur des façons de l'avant & de l'arriere.

On voit aussi dans la figure 2, & nous les avons représentés encore dans la figure premiere, *les baux*, ces poutres qui soutiennent les ponts ou planchers du Vaisseau. Les baux sont joints aux membres par le moyen des courbes que nous avons marquées dans l'une & l'autre figure, & ils sont étendus dans le sens de la largeur du Navire. Ils ont tous une courbure considérable: cette courbure est telle dans le bau le plus long AB (Fig. 2.) que le point D qui est au milieu de sa surface inférieure, se trouve ordinairement en ligne droite avec les deux extrémités A & B de sa surface supérieure. Cette courbure qu'on nomme *bouge*, sert non-seulement à empêcher le trop grand recul des canons, lorsqu'on les tire; mais aussi à faciliter l'écoulement des eaux qui sans cela pourroient séjourner sur les ponts.

Les baux.

Le plus grand des baux se nomme le *maître bau*, & il indique *le fort du Navire*, c'est-à-dire, l'endroit le plus large. L'assemblage des membres, la varangue, les genoux, &c. qui se pose dans le même endroit, se nomme *la maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître ou le premier gabari*. Tous ces noms étant établis par un long usage, nous ne pouvons pas nous empêcher de les admettre. Les derniers baux de l'arriere changent de nom, on les nomme *barres*

Le maître bau. Le fort du Navire.

La maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître gabari.

Digitized by Google

Les barres d'Arcaſſe. *d'arcaſſe*, parce que l'arriere du Vaiſſeau, cette partie qui ſe termine preſque verticalement, ſe nomme *l'arcaſſe*. Enfin la poutre ST (Fig. 1.) qui eſt bien une des barres d'arcaſſe, mais qui eſt ſituée dans l'endroit le plus large de la poupe ou dans ſon *fort*, & preſque toujours au haut de l'étambot, ſe nomme en particulier *la barre ou la liſſe d'hourdy*.

La liſſe d'Hourdy.

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on continue à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaiſſeau.

NOUS continuons notre deſcription en commençant par avertir le Lecteur, de tâcher de diſſiper par ſon attention, ou par une lecture réiterée, l'obſcurité qui eſt inſéparable de pareils détails, vû la multitude des objets & la difficulté qu'il y a d'y apporter tout l'ordre qu'on ſouhaiteroit. C'eſt *la maîtreſſe couple* ou *la maîtreſſe varangue* qui ſépare, l'une de l'autre, les deux parties du Vaiſſeau, de l'avant & de l'arriere. Au lieu de la mettre au milieu de la longueur du Navire, on la place toujours un peu plus vers la proüe, ce qui rend cette partie plus courte & plus groſſe. Pluſieurs Conſtructeurs la mettent aux $\frac{1}{15}$ de la quille, à commencer de l'avant; c'eſt-à-dire, que toute la quille BA (Fig. 1.) étant diviſée en 12 parties égales, il y en a cinq depuis ſon extrémité B juſqu'au point G, ou on place le premier gabari; deſorte qu'il ſe trouve à peu près à une trente-ſixiéme partie de toute la longueur DC du Navire plus en avant que le milieu. On le portoit le tems paſſé plus vers la proüe, en ne le plaçant qu'au tiers de la quille; mais on a eu quelque raiſon, comme on le verra dans la ſuite, de le reculer davantage vers l'arriere, quoique nous croyons qu'on l'a trop reculé.

De l'endroit où l'on met la maîtreſſe varangue.

Digitized by Google

De la plus grande largeur du Vaisseau ou de la longueur du maître bau.

Le maître bau représenté par AB dans la figure 2, & par VX dans la premiere, a souvent de longueur le quart de la quille ; cependant dans les Vaisseaux du Roy, qui ont besoin d'être larges à cause du mouvement qu'il faut que se donne l'équipage dans les combats ; on augmente souvent cette longueur du bau, jusqu'à la rendre, ou peu s'en faut, le tiers de celle de la quille. Si l'on considere les dimensions sans relation les unes aux autres, c'est la largeur à laquelle il est le moins permis de toucher dans les Vaisseaux de guerre, au moins pour la diminuer. Lorsqu'on est en pleine mer, on retire la chaloupe à bord & on la place au milieu du pont ; & il faut qu'il y ait encore assez d'espace des deux côtés pour permettre le recul des canons & faciliter leur service. On est attentif à donner aussi plus de largeur à ces derniers Navires à mesure qu'on les rend plus hauts, ou qu'on multiplie leurs ponts : & c'est ce qui est très-naturel, ou plutôt c'est ce qui est absolument nécessaire, comme on le verra dans le Livre suivant.

On construisoit il y a un siécle des Vaisseaux encore plus larges : le P. Fournier nous assure qu'on a souvent mis de son tems, entre le bau & la quille, le rapport de 5 à 14, & que ces Vaisseaux se sont trouvés excellens. Mais ce qui fait toucher au doigt, en attendant que nous le prouvions par des raisons démonstratives, qu'on ne peut pas beaucoup compter sur toutes ces prétendues expériences qui servent néanmoins d'unique fondement aux regles ordinaires, c'est qu'on a fait en même tems des Navires auſquels on n'a donné de largeur qu'environ la cinquiéme partie de la longueur de leur quille & qui n'ont pas moins bien réussi. Les Constructeurs qui évitent le plus qu'ils peuvent les opérations d'Arithmétique, se font pour cela des régles particulieres dont on se contentera de donner ici un exemple, en rapportant celle dont ils se servent quelquefois pour trouver la largeur de leur Navire, non pas par rapport à sa quille, mais par rapport à la longueur totale ; & on pourra s'en servir dans les plus grands Vaisseaux de guerre. Ils donnent au bau autant de fois trois

Digitized by Google

pouces & trois lignes de plus, que cette longueur totale contient de pieds. La longueur du Vaiſſeau eſt-elle de 170 pieds depuis le haut de l'étrave juſqu'au haut de l'étambot? ce ſont cinq cens dix pouces & cinq cens dix lignes, ou 46 pieds $\frac{1}{2}$ pouce qu'il faut donner au bau; ou ce qui revient au même, on lui donne treize quarante-huitiémes de la longueur du Navire : c'eſt-à-dire, le quart de la longueur & de plus la douziéme partie de ce quart.

Le bau étant reglé on s'en ſert pour déterminer beaucoup d'autres dimenſions qui ſe réglent auſſi ſur la longueur de la quille, & c'eſt ce qui met dans les proportions qu'employent les Conſtructeurs, une confuſion qui les embarraſſe quelquefois eux-mêmes. Il ſeroit bon en attendant qu'on ſçût les véritables régles, qu'on ne fit dépendre une dimenſion d'une autre, qu'autant qu'on voit qu'il doit y avoir entr'elles une relation immédiate. Il eſt naturel, par exemple, de regler ſur le bau, le plat de la maîtreſſe varangue; on le fait ordinairement en France de la moitié du bau : mais puiſqu'on s'eſt réſolu de nommer plat ce qui le plus ſouvent ne l'eſt pas, il paroît que pour éviter toute équivoque, on devroit s'accorder à donner toujours ce nom dans la premiere varangue à une partie égale à la moitié ou à quelqu'autre portion conſtante du maître bau; ce qui n'empêcheroit pas qu'on ne lui donnât différentes figures en élevant plus ou moins ſes deux extrémités, ou en rendant ſon *acculement* plus ou moins grand.

De la quantité du plat de la maîtreſſe varangue.

On le fait, cet acculement, pour l'ordinaire de la vingt-quatriéme partie du plat dans les Vaiſſeaux du premier rang; de la dix-huitiéme dans ceux des trois rangs ſuivans; & de la douziéme dans ceux du cinquiéme, c'eſt-à-dire, que EF ou HI (Fig. 2.) eſt la moitié AB, & que FI ou EH eſt la vingt-quatriéme partie, ou la dix-huitiéme, ou la douziéme de EF : deſorte que les plus grands Vaiſſeaux ſont réellement un peu plus plats par deſſous.

De la quantité de l'acculement.

Il faut remarquer que ces rapports ne ſont pas toujours énoncés d'une maniere ſi ſimple dans les maximes des Conſtructeurs : car au lieu de dire, par exemple, que l'ac-

Digitized by Google

culement eſt une certaine partie du plat de la varangue, ils diſent ſouvent que c'eſt une telle partie de la quantité dont le Navire enfonce plus dans l'eau par l'arriere que par l'avant : comme s'ils voyoient la moindre relation entre cet excès & l'acculement qu'on donne aux varangues dans l'endroit le plus gros du Vaiſſeau.

Quoiqu'il en ſoit, nous ſommes très-perſuadés qu'il eſt ſouvent néceſſaire de faire varier l'acculement. Les Navires qui ſont deſtinés à naviger dans les mers peu profondes, doivent être, ainſi que nous l'avons déja dit, beaucoup plus plats par deſſous. De-là naît cette différence qu'on voit entre la carène de nos Vaiſſeaux, & celle des Navires qu'on conſtruit en Hollande, en Suede & en Danemarc. Le plat étant le même ; ces Nations rendront ſouvent l'acculement nul, au riſque de préjudicier à la promptitude du ſillage, comme on l'expérimente preſque toujours : au lieu que c'eſt tout le contraire chez les Nations dont les Ports ſont aſſez profonds pour n'aſſecher jamais ; on y donne beaucoup plus de *façons* aux Vaiſſeaux ; on rend leur carène ſi fine qu'ils ne peuvent pas ſe ſoutenir à ſec ſans verſer. Cet accident eſt ordinaire aux Navires Anglois, & il arriveroit peut-être auſſi aux Navires qui ſont deſtinés à ne naviger que dans la mer Méditerranée. L'uſage ſeul avoit déja établi cette différence dès le tems des Romains, comme nous l'apprend Céſar dans ſes Commentaires, en parlant de la revolte des habitans de Vannes. *

* Liv. 3. guerres des Gaules.

Rentrée des Vaiſſeaux & ſa quantité.

On retrecit toujours les Navires par en haut ; c'eſt ce qu'on nomme leur *rentrée*. Elle eſt ordinairement de chaque côté d'une dixiéme partie du bau. Deſorte que ſi le Vaiſſeau a 40 pieds de plus grande largeur AB (Fig. 2) il n'y aura que 32 pieds depuis S juſqu'en T ; parce que la *rentrée* ſera de 4 pieds de chaque côté. On allegue pluſieurs raiſons de cet uſage. On ſe propoſe de ramaſſer plus vers le milieu toute la peſanteur du Navire ; on a voulu peut-être auſſi rendre l'abordage plus difficile, & ſe trouver encore à quelque diſtance de l'ennemi, lorſque les

Digitized by Google

deux Vaiſſeaux ſe touchoient. Enfin il paroît que les vagues qui viennent choquer le flanc du Navire, gliſſent avec plus de facilité en montant, & font moins d'impreſſion, lorſqu'elles rencontrent une ſurface inclinée en dedans. Tous ces motifs pris enſemble peuvent être de quelque conſidération : cependant il ſeroit à propos que le Navire ne commençât toujours à ſe retrecir qu'au-deſſus de l'endroit juſqu'auquel il s'incline dans les routes obliques, lorſque le vent le charge avec plus de force. Il faut d'ailleurs qu'on retreciſſe trop par en haut les petits Navires, ou qu'on ne retreciſſe pas aſſez les grands; puis qu'en donnant aux uns & aux autres la même rentrée à proportion de leur largeur, mais ſur différentes hauteurs; c'eſt réellement la même choſe que ſi on retreciſſoit moins les grands, & leurs flancs ſont beaucoup moins inclinés que ceux des petits.

De la longueur de la liſſe d'hourdy & de celle du couronnement.

La liſſe d'hourdy ST (Fig. 1.) ſe fait ordinairement des $\frac{2}{3}$ du bau; & on donne pour largeur au couronnement ou à la partie qui termine la poupe par en haut, la moitié du bau.

Le creux & ſa quantité.

La profondeur des Vaiſſeaux ou *le creux* pour parler comme les Marins, ſe meſure depuis le deſſous Δ du bau (Fig. 1.) ou D (Fig. 2.) juſqu'au-deſſus de la quille, & ſe fait le plus ſouvent des neuf vingtiémes du bau, ou d'une dixiéme partie moindre que ſa moitié & quelquefois d'une douziéme. D'autres Conſtructeurs font cette profondeur exactement égale à la moitié du bau ou de la largeur; & cela, afin de rendre plus élevée au-deſſus de la ſurface de l'eau, la premiere batterie, & de l'empêcher *d'être noyée.* Cette derniere régle ne doit pas encore être ſuivie par tout; & les Hollandois principalement ſe trouveroient mal de ſon obſervation. La plûpart de leurs Conſtructeurs, par une ſuite de cet abus que nous venons de condamner, au-lieu de faire dépendre *le creux* immédiatement de la largeur, le font dépendre de la longueur du Navire, en l'en rendant la dixiéme partie. *Le creux* ſe trouve de cette ſorte d'environ les deux cinquiémes du bau, & en général on

Digitized by Google

le diminue, lorſqu'on rend le fond de la carène plus plat. Quelquefois il n'eſt que les $\frac{1}{6}$ du bau ou que les $\frac{1}{4}$ de ſa moitié.

La hauteur du premier pont vers le milieu du Navire, ſe trouve fixée par *le creux* que nous venons de déterminer : mais le pont s'éleve enſuite vers l'avant & vers l'arriere. Vers l'avant il ne s'éleve que de quelques pouces dans les Vaiſſeaux même du premier rang, au lieu que vers l'arriere ſa hauteur, au-deſſus de la quille, eſt ſouvent plus grande d'une ſixiéme partie.

Pluſieurs autres choſes ſont réglées immédiatement ſur la largeur du Navire, qui ne le devroient pas être. Il eſt clair, par exemple, que le creux ΔG (Fig. 1.) étant quelquefois plus ou moins grand, quoique les autres dimenſions ſoient les mêmes, les hauteurs K& , & OA *des façons* de l'avant & de l'arriere, devroient être différentes. Cependant on donne preſque toujours pour régle, de faire la premiere de ces hauteurs les $\frac{1}{10}$ de la longueur du bau, & la ſeconde, la moitié ou le tiers de celle-ci. D'autres Conſtructeurs veulent qu'on faſſe la hauteur AO des façons de l'arriere égale à la moitié de celle de l'étambot AG; & ils ne penſent pas que cette piece de bois peut avoir plus ou moins de hauteur, ſans que cela préjudicie le moins du monde aux qualités du Navire. Perſonne enfin ne s'eſt encore aviſé de dire que la hauteur des façons de l'arriere devoit être environ les $\frac{2}{3}$ du creux, & celle des façons de l'avant d'environ un tiers. Il faut ſe ſouvenir que dans le langage des Conſtructeurs, toutes les hauteurs dont ils parlent, ſe meſurent toujours de deſſus la ſurface ſupérieure de la quille. *De la hauteur des façons.*

Le *tirant d'eau* ou la quantité dont le Navire doit enfoncer dans la mer, devroit encore être réglé ſur le creux. On prétend preſque toujours que de l'arriere, le *tirant d'eau* doit être les $\frac{2}{10}$ de la longueur du bau, & de l'avant ſeulement des $\frac{1}{6}$: deſorte qu'on veut que le Navire enfonce plus dans la mer de l'arriere que de l'avant de $\frac{1}{10}$ de la longueur de ſon bau ; ce qui revient à peu près à une ſixiéme partie du *creux*. *Du tirant d'eau.*

Digitized by Google

Pour prendre une notion plus distincte du *tirant d'eau*, il n'y a qu'à le considerer dans l'endroit le plus gros du Navire. Il est à propos que *le fort* ou l'endroit le plus large ne soit pas dans l'eau, mais qu'il soit élevé d'une quantité considérable au-dessus. On se fait sur cela différentes régles, que l'avarice des Négocians ou même des Marins, ne respecte pas toujours assez, en rendant le péril presque évident par la grandeur de la charge. Quelques uns prétendent que *le fort* doit être élevé au-dessus de la *flotaison*, ou au-dessus de l'eau d'un pied ou d'un pied & demi; mais cette régle ne doit pas convenir à tous les Navires, aux grands & aux petits: il vaut donc mieux faire ensorte que cet endroit soit toujours élevé au-dessus de la mer ou de la flotaison d'une partie proportionnelle, comme de la huitiéme ou neuviéme partie du *creux* ΔG (Fig. 1.) Ainsi le *tirant d'eau*, ou la quantité dont le Navire plonge dans la mer par son endroit le plus gros, sera seulement des $\frac{7}{8}$ ou des $\frac{8}{9}$ *du creux*, augmentés de plus de l'épaisseur de la quille qui est encore au-dessous.

De la hauteur des entreponts.

Certaines autres dimensions, qui n'ont pas un rapport absolu avec la grandeur des Navires, doivent être à peu près les mêmes dans tous. La hauteur des étages ou des *entre-ponts* doit, par exemple, se régler sur la hauteur ordinaire des hommes. On fait ces étages de 5 pieds 7 pouces au-dessous même des baux dans les plus grands Vaisseaux, & de 5 pieds 5 pouces dans les Frégates. C'est ce qui est nécessaire dans les Navires faits pour la guerre, qui tirent leur plus grande force de leurs batteries basses: au lieu que dans les Navires Marchands, l'entre-pont ne servant qu'à loger la partie de l'équipage qui se repose, n'a pas quelquefois trois pieds de hauteur.

La grandeur des Navires ne doit faire encore que peu changer les intervales entre les canons ou les sabords: on observe au moins de ne les guére diminuer dans les Vaisseaux du Roy, quoique ce ne soit pas la même chose dans les Navires Marchands. A l'égard de la largeur des sabords, on la régle sur la grosseur des canons. Pour les plus gros

Digitized by Google

gros on fait cette largeur d'environ trois pieds & pour les plus petits d'environ 2 pieds.

Je ne crois pas enfin devoir entrer dans l'explication de pluſieurs autres parties qu'on peut abandonner entierement à la conduite de l'ouvrier. Comme je n'entreprens de parler de la conſtruction des Vaiſſeaux que comme Mathématicien ou Phyſicien, je n'inſiſte pas ſur diverſes choſes dont les dimenſions ne ſont point ſujettes aux loix rigoureuſes de la Mécanique; mais je ne puis pas me diſpenſer de dire qu'on nomme *bordages* les planches dont on couvre toute la carène, auſquelles on donne 4 pouces ou $4\frac{1}{2}$ pouces d'épaiſſeur dans les plus grands Vaiſſeaux; de même qu'à celles qui forment le premier pont ou le pont le plus bas. On ſe ſert du nom de *franc-bord* pour marquer plus particulierement l'aſſemblage de tous ces bordages qui couvrent l'extérieur du Navire: car quelquefois on applique deſſus, depuis la quille juſques vers la flotaiſon, d'autres bordages beaucoup moins épais, ſeulement pour garantir les premiers de la piqueure des vers qui ſe trouvent dans différentes Mers, & ce ſecond revetiſſement ſe nomme *doublage*. On a une attention en *bordant* ou en *doublant*, ou lors qu'on applique les bordages, qui eſt trop particuliere pour qu'elle doive être oubliée. On ſçait combien il eſt difficile à tous les ouvriers en bois, ſi on excepte les ſeuls Tonneliers, de faire des vaſes de pluſieurs pieces, qui ne donnent aucune iſſue à l'eau: les Menuiſiers les plus adroits, pour l'ordinaire n'y ſçauroient réuſſir. Mais nos Charpentiers de Navires, aidés par les *calfats*, n'y trouvent aucune difficulté. Au lieu de mettre les bordages ſi près les uns des autres qu'ils ſe touchent, ils laiſſent toujours entr'eux un intervale conſidérable & aſſez grand pour recevoir l'étoupe qu'on y introduit en quantité & avec force, avec une eſpece de ciſeau fait exprès; & on ne fait plus enſuite que couvrir le tout d'un enduit chaud compoſé de ſuif & de godron. *Bordages.*

Pour ne pas obmettre l'explication de quelques autres parties encore aſſez eſſentielles, nous ajouterons qu'on

fortifie la quille par une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-quille*, & qu'on preſſe les varangues deſſus par pluſieurs longues pieces, qui couchées dans le même ſens que la quille, forment la *carlingue*, au-deſſus de laquelle on met encore en travers les *porques* qui ſont d'autres eſpeces de varangues, qui ont auſſi leurs genoux & leurs allonges. On rend l'aſſemblage du tout encore plus fort, en mettant d'autres bordages au Vaiſſeau par le dedans, qui prennent le nom de *vegres* ou de *ferres*. Les baux ſont attachés aux membres par le moyen des *courbes*, dont j'ai déja parlé; mais outre cela leurs extrémités ſe trouvent reſſerées entre des eſpeces de bordages beaucoup plus épais, les *goutieres* & *ferres-bauquieres* dans leſquelles ils s'endentent. Les baux ſont encore liés les uns aux autres par les *illoires* qui s'étendent le long des ponts depuis l'avant juſqu'à l'arriere, & qui paſſent par le bord des *écoutilles* ou de ces grandes ouvertures quarrées qu'on fait dans les ponts pour pouvoir deſcendre dans le fond du Navire ou dans *la cale*. C'eſt principalement l'avant & l'arriere qui ont beſoin d'être fortifiés. Outre le grand nombre d'allonges d'écubier qui en ſe touchant ſoutiennent la proüe contre le choc de l'eau, on place derriere des pieces horiſontales qu'on nomme *guirlandes*, & on met derriere l'étrave une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-étrave*. L'étambot a auſſi ſon *contre-étambot*, mais qui eſt en dehors; & tout l'arcaſſe eſt ſoutenue, non-ſeulement par les barres ou liſſes dont j'ai déja parlé, mais auſſi par d'autres pieces, *les montans d'écuſſon* qu'on place à peu près verticalement. Au-deſſous des baux qui ſoutiennent les ponts & qu'on met ordinairement à trois pieds de diſtance les uns des autres, on en met encore ſouvent d'autres dans la cale, qui n'ont d'autre uſage que de lier davantage le Navire, & ce ſont les *faux baux*. Dans les Vaiſſeaux de guere aux environs de la *flotaiſon* en deſſus & en deſſous de la ſurface de l'eau, on inſere auſſi entre les membres d'autres allonges qu'on nomme *eſtacades*, de maniere qu'il ne reſte aucun vuide. Il eſt vrai qu'on ne ſe propoſe par ces

La contre-quille.

La carlingue.

Les vegres ou ferres.

Les goutieres & ferres-bauquieres.

Les illoires.

Les écoutilles.

Guirlandes.

Contre-étrave.

Contre-étambot.

Montans d'écuſſons.

Les faux baux.

Les eſtacades.

dernieres pieces, que de rendre la carène assez forte pour qu'elle soit à l'épreuve du canon. Mais enfin on prend à tâche de faire entrer tant de bois & une si prodigieuse quantité de fer dans la construction des Vaisseaux, qu'on ne peut pas s'empêcher de reconnoître que toutes nos entreprises sont bien foibles; puis qu'aussitôt que par les suites d'une mauvaise navigation, on va rencontrer quelque écueil ou qu'on se trouve seulement engagé entre des rochers; il ne faut qu'un seul instant, deux ou trois minutes, pour briser en mille pieces cet ouvrage fait avec tant de soin, & rendu, ce semble, si solide.

CHAPITRE IV.

Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des Vaisseaux, faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros.

DE tout tems les Constructeurs se sont faits quelque régle pour tracer la coupe du Vaisseau, faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros; c'est-à-dire, pour tracer la maîtresse couple, la maîtresse varangue ou le premier gabari. Le nom de coupe dans la construction est appliqué particulierement à celles qui se font perpendiculairement à la longueur du Navire, & la premiere c'est la plus grande de toutes, c'est celle qui indique la figure du maître gabari ou de la maîtresse couple. On l'a presque toujours formé de portions de cercles; mais avec plus ou moins d'adresse: car ne faisant pas toujours attention que pour que deux arcs de cercle se touchent sans se couper, il faut que leurs centres soient sur la ligne droite qui passe par leur point d'attouchement, on a souvent donné, sans aucune nécessité, des angles sensibles au contour de la premiere coupe, ou du premier

gabari ; au lieu de l'arrondir insensiblement par tout. C'est ce qui rend préférable l'opération qu'a enseigné le P. Fournier il y a plus d'un siécle, à plusieurs autres pratiques qu'on a proposées depuis.

PREMIERE METHODE.

Fig. 3. Le P. Fournier après avoir tiré la droite AB (Fig. 3.) qui représente la longueur du *maître bau*, décrit un cercle RANB qui a cette ligne pour diamétre, & éleve au milieu de cette même ligne une perpendiculaire CD égale *au creux* ou à la profondeur qu'on veut donner au Vaisseau, laquelle, comme nous l'avons déja dit, se prend toujours de dessous le bau à la surface supérieure de la quille, qui est le terme de toutes les hauteurs, en fait d'Architecture Navale. Par le point D, il tire une ligne GH parallele à AB, & faisant DG & DH égales chacune au demi plat de la varangue, égales, si on le veut, au quart de la largeur du tout, il fait les petites perpendiculaires ou verticales GE & HF chacune égale à l'acculement. Ces petites perpendiculaires seront égales à la vingt-quatriéme, ou à la dix-huitiéme, ou à la douziéme partie de GH, &c. Après cela il cherche sur GE prolongée en haut & en bas, jusqu'en K & jusqu'en S, le point M qu'il faut prendre pour centre d'un arc de cercle NE qui touche en quelque point N le premier cercle, & en E la ligne droite EF. Enfin d'un point S pris pour centre, il décrit l'arc EO qui touchant la ligne droite EF, ou l'arc NE en E, vient se rendre exactement en O au bord de la quille. Il a de cette sorte ANEO pour le demi-contour de la coupe ; & il fait la même chose pour l'autre côté.

Il est vrai que ce bon Pere ne cherche les centres M & S que par le tatonnement ; mais rien n'empêche de les déterminer d'une maniere sûre & infaillible. Si on fait EK égale au rayon CA du premier cercle, ou égale au demi-bau, & qu'après avoir joint les points K & C par la droite CK on lui éleve dans son milieu L la perpendiculaire LM, cette perpendiculaire indiquera sur EK par son intersec-

Digitized by Google

tion, le centre M de l'arc NE. Car MC étant égale à MK, & EK ayant été faite égale à AC ou à NC, il eſt évident que MN ſera égale à ME, & par conſéquent l'arc de cercle décrit du point M comme centre & qui paſſera par le point E, viendra toucher le premier cercle en N. A l'égard de l'autre centre S, il ſera tout auſſi facile de le déterminer. Il n'y a qu'à tirer la droite EO, & lui élever en ſon milieu une perpendiculaire; cette perpendiculaire rencontrera IG prolongée en bas dans le point S, qui doit ſervir de centre à l'arc EO. Je laiſſe à part la méthode dont le même Auteur veut qu'on forme les allonges AQR, quoi qu'il ne paroiſſe qu'il n'y auroit ſouvent aucun inconvenient à s'en ſervir. Il décrit AQ, en prenant le point I pour centre, & il donne à QR un rayon de même longueur.

SECONDE METHODE.

De notre tems pluſieurs Conſtructeurs tracent encore comme le P. Fournier, un cercle ANFB (Fig. 4.) qui a la longueur entiere AB du bau pour diamétre. Mais après avoir formé un rectangle ABIL, qui a pour largeur la longueur du bau, & pour hauteur le creux ou la profondeur CD qu'il s'agit de donner au Vaiſſeau, ils cherchent ſur la diagonale LC le centre M de l'arc de cercle NY, qui touchant le premier cercle en N, paſſe par l'extrémité E du plat de la varangue dont DG n'eſt que la moitié & GE l'acculement. Pour trouver le centre M, ils n'ont qu'à tirer une droite NE & lui élever en ſon milieu une perpendiculaire qui viendra indiquer par ſon interſection avec la diagonale le centre requis M. Ils prolongent l'arc NE juſqu'au point Y qui eſt dans la même verticale MY que le centre M; & tirant en Y une horiſontale YP ou une parallele à AC ou LD, cette ligne eſt tangente à l'arc NY, & il ne faut plus que décrire un autre arc PO, qui ayant ſon rayon égal à MN ou à MY, touche la droite YP, & vienne ſe rendre au bord O de la quille, dont OD eſt la demie largeur. Pour trouver geométriquement le centre X, Fig. 4.

Digitized by Google

Fig. 5. de façon que MV ſoit deux fois plus grande, ou que YV ſoit égale à MY: on tirera par le point V la ligne horiſontale VX, & ſi du point O comme centre & de l'intervale OX égal à YV pour rayon, on décrit un petit arc de cercle X, il coupera la ligne VX dans le point X qui doit ſervir de centre à l'arc requis. Ainſi la courbure ANYPO de la premiere coupe du Vaiſſeau, ſe trouve formée ſelon cette méthode, de deux arcs de cercle AN & NY, d'une petite portion de droite YP & d'un dernier arc PO; & l'autre côté ſe fera de la même maniere, comme il eſt évident.

Il ne reſtera plus qu'à tracer la partie AR qui eſt l'allonge de revers. On la forme ordinairement de deux arcs égaux AQ & QR qui ſe touchent en Q & qui y ſont comme un point d'inflexion, parce que les deux arcs tournent leur convexité de différens côtés. Il n'y a pour cela qu'à tirer la droite AR, & ſi au milieu des deux portions AQ & QR, on leur éleve des perpendiculaires, elles viendront rencontrer AB & l'horiſontale RZ dans les points T & Z qui ſeront les centres des arcs AQ & RQ. Il arrive ſouvent dans les plus grands Vaiſſeaux que l'allonge AR eſt quatruple de ſa rentrée SR; & dans ce cas particulier les rayons QT & QZ ſont égaux à la longueur même AR de l'allonge.

Il faut remarquer que preſque toutes ces pratiques ont beſoin de quelque modification, ſelon les diverſes applications qu'on en veut faire. On voit, par exemple, qu'il faut dans la ſeconde que le creux du Navire ſoit conſidérablement moindre que la moitié de la plus grande largeur, ou qu'il faut que l'acculement GE ſoit aſſez grand pour que le point E ſe trouve au dedans du premier cercle ANKB. Car ſans cela il faudroit rendre l'arc NE, qui repréſente le genoux de fond, concave en dehors dans la maîtreſſe couple même; ce qui ſeroit certainement contraire à l'intention des Conſtructeurs.

Digitized by Google

TROISIE'ME METHODE

Pour les Navires à plates varangues.

Les deux méthodes précédentes & celles qu'on peut imaginer aiſément ſur le même modéle, peuvent être employées dans les Vaiſſeaux qui tiennent le milieu entre les Frégates & les Bâtimens de tranſport. Tels ſont les Vaiſſeaux de Ligne, qui à cauſe du poids de leur nombreuſe artillerie tiennent un peu des Bâtimens de charge, & qu'on tâche néanmoins de faire reſſembler le plus qu'on peut aux Frégates par la carène, afin de leur en concilier la légereté & la promptitude de la marche. On a auſſi d'autres pratiques pour les autres eſpeces de Navires. Dans les Bâtimens de tranſport on rend la carène plus groſſe, & on diminue pour l'ordinaire leur creux, comme je crois l'avoir déja dit, en ne le faiſant que les quatre neuviémes de la longueur du bau ou de la plus grande largeur de la coupe; & pendant que le plat de la varangue eſt toujours la moitié de cette même largeur, l'acculement n'eſt qu'une vingt-quatriéme partie de la moitié du plat ou une quatre-vingt-ſeiziéme de la longueur du bau.

Nous emprunterons la méthode que nous allons expliquer, qui ſert pour ces ſortes de Navires, d'un homme de Breſt, dont on ne peut guéres citer le nom * ſans éloge, & qui eût pû mieux qu'un autre perfectionner l'Architecture Navale, ſi ſa ſanté le lui eût permis. On en peut juger aiſément par un recueil manuſcrit qu'il a fait de la plûpart des pratiques des Conſtructeurs, lequel ſe trouve entre les mains de pluſieurs perſonnes dans la Marine. Il eſt vrai qu'il nous tranſmet ces pratiques préciſément comme il les a reçûes, ſans même les corriger de ces ſortes d'irregularités ou fautes ſenſibles que nous avons déja fait remarquer plus d'une fois. Mais il examine avec ſuccès les propriétés géométriques des lignes courbes qu'on s'eſt aviſé de faire entrer juſqu'à préſent dans la figure des Vaiſſeaux; il détermine leurs tangentes, leurs points d'infle-

* M. de Pulmi.

Digitized by Google

xion, & autant que je m'en ſouviens, il en rectifie quelques unes. Malheureuſement il ne va pas plus loin ; & ſoit qu'il n'en ait pas ſenti la néceſſité ou qu'il n'en ait pas eu le tems, ce qu'il y a plus lieu de croire, il s'eſt arrêté à cet examen abſtrait des propriétés géométriques des diverſes courbes, ſans ſe tourner du côté de leurs propriétés Phyſiques ou Mécaniques, quoi qu'elles ſoient, comme il eſt évident, les ſeules qui faſſent réellement au ſujet.

Fig. 5. & 6. Il forme un rectangle ABIL (Fig. 5.) qui a toujours pour largeur la longueur du bau & pour hauteur le creux du Navire. Il détermine en E & en F les extrémités du plat de la varangue dont GE & HF ſont l'acculement, & il forme enſuite un quarré (Fig. 6.) qui a ſes côtés égaux à LG ou à KE, & il inſcrit au-dedans deux quarts de cercle AQE & AXE. Il diviſe après cela l'arc AXE de l'un, en un certain nombre de parties égales AV, VX, XY, YZ, &c. & abaiſſant des points de diviſions des perpendiculaires VO, XN, &c. ſur le rayon AK ; il diviſe dans le même nombre de parties égales entr'elles le creux AK du Vaiſſeau (Fig. 5.) diminué de l'acculement de la maîtreſſe varangue, & tranſportant vis-à-vis des derniers points de diviſions O, N, &c. les parties OS, NR, MQ, &c. interceptées dans la figure 6 entre le rayon AK & l'arc de cercle AQE, il ne lui reſte plus qu'à faire paſſer la courbe AR par les extrémités de toutes les perpendiculaires ou ordonnées OS, NR, &c. & il a le demi-contour de la premiere coupe. Il eſt vrai qu'il faut encore achever ED ; mais on peut le faire avec un ſimple arc de cercle qui touchant la premiere courbe en E, viendra ſe joindre au bord de la quille vers D ; & il n'y aura qu'à faire préciſement la même choſe pour l'autre côté.

QUATRIE'ME METHODE

Pour les Navires auſquels on veut donner beaucoup de façons.

Quoi qu'on puiſſe par les ſeuls moyens que nous venons d'expoſer, en y changeant ſeulement quelque choſe, former

mer le premier gabari des Vaiſſeaux auſquels on veut donner beaucoup de façons, ou dont on veut rendre la carène très-fine; nous indiquerons une méthode particuliere pour cela. Ayant formé, comme à l'ordinaire, le rectangle ABIL (Fig. 7.) deſtiné à renfermer toute la partie de la coupe qui eſt au-deſſous du maître bau AB, il n'y a qu'à faire l'acculement GE ou HF de la maîtreſſe varangue égal à la cinquiéme ou à la ſixiéme partie de ſon plat GH, ou égal à la dixiéme ou douziéme partie de la longueur entiere AB du bau. C'eſt là le plus grand acculement que les Conſtructeurs ſoient ſujets à donner aux Vaiſſeaux; au lieu que, comme nous en avons déja averti, ils le diminuent quelquefois juſqu'à le détruire entierement. Les points E & F étant déterminés, il ne reſte plus qu'à tracer deux portions de paraboles AE & BF, dont les ſommets ſoient en A & en B & qui ayent AC & BC pour axe; & à l'égard du plat même de la varangue, on le formera par deux arcs de cercles, dont l'un tournera ſa convexité en bas & l'autre en haut. Fig. 7.

La parabole eſt une courbe employée ſouvent dans l'Architecture Navale; on l'y trace pour l'ordinaire par le moyen d'une ligne droite, diviſée, ſelon une ſuite de termes, en progreſſion arithmetique. D'autres Conſtructeurs ſe contentent de déterminer deux ou trois points par des nombres qu'ils ſçavent par cœur, & achevent enſuite la courbe comme ils peuvent: de ſorte qu'on n'employe preſque jamais la méthode qui ſeroit la plus naturelle dans la circonſtance préſente. La maniere dont il nous faudra traiter ſouvent ce ſujet dans la ſuite, ne nous diſpenſeroit que trop de rapporter ici cette méthode; mais on le fera néanmoins en vûe d'un plus grande utilité. Il s'agit de faire paſſer une parabole AQE par le point donné E, qui ait ſon ſommet en A & la droite AC pour axe. Ayant abaiſſé du point E les perpendiculaires EK & EM ſur AL & ſur AC, je mets ſur AC, prolongé indéfiniment vers N, le centre d'un demi-cercle MKN qui paſſe par les points K & M, & la ligne AN ſera le parametre de la parabole, lequel ſer-

Fig. 7. vira à trouver les autres points de cette courbe, & en auſſi grand nombre qu'on voudra. Eſt-il queſtion de ſçavoir par quel point doit paſſer cette courbe exactement au-deſſous du point P ou par la ligne verticale PQ? On cherchera ſur AN le centre du demi-cercle NOP, qui partant toujours du point N, vient ſe rendre au point P. Ce demi-cercle rencontrera AL en O, & AO marquera la quantité dont la courbe paſſera au-deſſous du point P; de ſorte que ſi on tire l'horiſontale OQ, le point Q où elle coupera la verticale PQ, appartiendra à la parabole. On trouvera de la même maniere une infinité d'autres points.

Afin que le premier arc de cercle dont on formera le plat de la varangue, ne faſſe point d'angle en E avec la parabole, & ne faſſe que la toucher, il faudra que ſon centre ſoit ſitué en quelque point S de la perpendiculaire ER à la parabole. Pour tirer cette perpendiculaire, il n'y aura qu'à faire, comme le ſçavent tous les Géométres, la ſoûnormale MR égale à la moitié du paramétre AN.

CHAPITRE V.

Méthode de tracer les deux coupes du Vaiſſeau aux deux extrémités de la quille, avec la maniere ancienne dont on ſe ſervoit des liſſes pour achever le Navire.

I.

De la coupe de l'arriere.

COMME la forme de la poupe ou de l'arriere contribue moins aux bonnes ou mauvaiſes qualités du Vaiſſeau, il importe moins comment on en trace la derniere
Fig. 8. coupe. Dans la figure 8 l'étambot eſt repréſenté par CD; & la liſſe d'hourdy par AB qui eſt placée dans l'endroit le plus large de l'arriere & ordinairement à l'extrémité de l'étambot. La hauteur de cette derniere piece dépend de

Digitized by Google

diverſes conſidérations qui ſont purement de convenance; mais il eſt certain que la hauteur à laquelle on place la liſſe d'hourdy, au lieu d'être réglée ſur la longueur de la quille ou ſur celle du bau, ne le devroit toujours être que ſur le creux ou ſur la profondeur qu'on veut donner au Navire, dont elle dépend immédiatement. L'endroit le plus large ou le fort du Navire vers l'arriere, eſt toujours beaucoup plus haut que vers le milieu ou que dans le premier gabari; il l'eſt preſque d'une moitié plus, & au moins d'un tiers. Ces deux hauteurs ſont dans preſque tous les Vaiſſeaux comme 10 eſt à 14 ou à 15. Ainſi on peut remarquer en paſſant, que le premier pont qui répond à l'endroit le plus large, ou au *fort*, vis-à-vis de *la maîtreſſe couple*, ne s'éleve pas encore aſſez vers la poupe pour ſe trouver auſſi haut que les endroits les plus larges. * Fig. 8.

* Voyez ce que nous diſons de la hauteur du pont dans le Chap. 3.

Cela ſuppoſé, des deux points F & G qui ſont au milieu des deux moitiés AC & BC de la liſſe d'hourdy, on décrit comme centre deux arcs de cercle AH & BI par les extrémités A & B. Du point E où ſe terminent les façons de l'arriere, qui ont pour l'ordinaire de hauteur DE les $\frac{2}{7}$ du creux du Navire, on tire enſuite les deux lignes droites EH & EI, tangentes à ces deux arcs; & il n'y a plus qu'à prendre des deux côtés de l'étambot deux points L & N un peu au-deſſous de E & faire diſparoître les angles en E par deux petits arcs qui touchant les deux tangentes, viennent ſe rendre à ces deux points. Alors tout le gabari de l'arriere ſera tracé au-deſſous de la liſſe d'hourdy: ſon contour ſera AHKLNMIB.

La partie ſupérieure AQOPRB aura plus ou moins de hauteur, ſelon le nombre d'étages que doit avoir la poupe; mais les Conſtructeurs font preſque toujours la largeur OP égale aux trois quarts de la longueur de la liſſe AB; puiſque pendant que cette liſſe eſt les $\frac{3}{4}$ du bau, le couronnement OP en eſt preſque toujours la moitié. On tire deux lignes droites AO & BP qu'on diviſe chacune en trois parties, & la premiere ou celle d'en bas AQ d'un côté & BR de l'autre, ſervent de cordes aux deux

Fig. 8. arcs AQ & BR qui tournent leur convexité en dehors ; pendant que le haut eſt formé de deux autres arcs QO & RP qui tournent leur convexité en dedans & qu'on décrit preſque toujours avec un rayon deux fois plus grand. Le tout forme le dernier gabari de l'arriere qu'on nomme, comme je l'ai dit, les eſtains ou les cornieres. Dans tout ceci les Conſtructeurs ſe permettent divers changemens pour procurer un plus grand ornement à leur ouvrage, mais que les Géométres ne ſe reſoudroient, ſans doute, qu'avec peine à prendre pour objet de leurs examens.

II.

De la figure de la coupe de l'avant.

On peut former à peu près de la même maniere le gabari qui ſe place en avant à l'extrémité de la quille. On ſuit pour le tracer différentes pratiques, que nous ne nous arrêterons pas à ſpecifier ſcrupuleuſement : nous nous contenterons en les changeant en d'autres plus naturelles, de rendre préciſément les mêmes figures. L'endroit du fort ou de la plus grande largeur de chaque gabari en avant, ſe place auſſi de plus haut en plus haut dans les gabaris qui ſont plus vers la proüe ; mais le changement ne ſe fait pas par de ſi
Fig. 9. grands dégrés que vers l'arriere. La hauteur DC (Fig. 9.) de la plus grande largeur de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la proüe, ne ſurpaſſe le *creux* ou la profondeur priſe dans le plan du premier gabari, tout au plus que d'une ſeptiéme partie, & ſouvent de deux fois moins. La plus grande largeur AB de cette même coupe eſt dans les Frégates & dans les Vaiſſeaux d'une cinquiéme ou d'une ſixiéme partie moindre que le maître bau ou que la largeur de la premiere coupe, & ſeulement moindre d'une huitiéme partie dans les Bâtimens de charge.

Toutes ces choſes étant réglées, on prendra pour centre de l'arc AH le point F, qui eſt au milieu de AC, ou un point plus voiſin de A, & qui ne ſoit qu'au tiers de AC ſi on veut diminuer le renflement de la proüe. Du point E qu'on fera

monter auſſi plus ou moins le long de DC, juſqu'à le faire parvenir au quart de cette hauteur, on tirera la tangente EH à l'arc déja décrit, & il ne reſtera plus qu'à décrire avec un rayon égal à DC un autre arc KL qui touche la tangente en K & qui vienne ſe terminer en L au côté de la quille. Pour trouver le centre de ce dernier arc, on tirera une parallele ST à la tangente EH qui en ſoit éloignée d'une diſtance égale à CD, mais qu'on pourroit auſſi ſans inconvenient rendre plus grande ou plus petit, & décrivant du point L comme centre, & avec le même intervale, un petit arc de cercle Y, cet arc coupera la ligne ST dans le point Y qui ſera le centre de l'arc requis KL. On ſera la même choſe pour l'autre côté & on aura de cette ſorte le contour entier AKLNMB du gabari de l'extrémité de la quille du côté de l'avant. Les allonges de revers & BRP ſe formeront par deux arcs de cercle, comme dans le premier gabari; avec cette ſeule différence, qu'on leur donnera un peu moins de *rentrée*; & qu'il faudra auſſi les rendre plus longues à cauſe de la hauteur qu'ajoute au Navire le gaillard ou le château d'avant. Fig. 9.

III.

* Avec le peu de régles que nous venons de donner, & ſouvent avec beaucoup moins, les Conſtructeurs ont bâti pendant long-tems leurs Vaiſſeaux; & il y en a encore quelques-uns qui ne croyent pas avoir beſoin de plus grands ſecours. En Hollande les maximes qu'on y obſerve preſque toujours ne déterminent pas davantage la figure du Navire: c'eſt à l'Ouvrier à conduire preſque tout ſon ouvrage à l'œil. La même choſe arrive en Eſpagne où il fut ordonné en 1721 de ſe conformer à des régles qui ne diffèrent que peu des précedentes, ſi ce n'eſt qu'elles laiſſent la figure de la carène encore plus indéciſe; & ne donnent pas plus lieu de conſtruire de bons Navires que d'en conſtruire de très-mauvais, malgré les ſuccès heureux qu'on leur a attribué. * Les trois principaux gabaris étant formés & les couples achevées, on les place dans les endroits de la

* *Proporciones de las medidas mas eſſenciales dadas por el Theniente general de la Armada real del Marocco a-no Don Antonio de Gaſtañeta de orden del Rey para la Fabrica de Navios y Freagatas de guerra, &c.*

quille où elles doivent être, c'eſt-à-dire, la maîtreſſe couple aux cinq douziémes de la quille à commencer de l'avant, ou dans quelqu'autre point conformement à l'uſage dominant, & les deux autres aux deux extrémités. On ne fait plus enſuite que tendre de longues tringles ou regles de bois flexibles d'une couple à l'autre, & on apprend par les contours qu'elles prennent les dimenſions ou les diverſes largeurs qu'il faut donner aux couples intermediaires. Ces longues tringles larges de 2 ou 3 pouces, dont on ſe ſert encore continuellement, ſe nomment *liſſes*, qu'il faut bien diſtinguer de ces groſſes poutres de même nom, dont on fortifie la poupe & qu'on met perpendiculairement à l'étambot. La premiere des liſſes dont il s'agit actuellement, ſe nomme la *liſſe des façons*; elle part de la hauteur des façons ſur l'étambot, elle paſſe par l'extrémité du plat de la premiere varangue & vient ſe rendre ſur l'étrave à la hauteur des façons. On entend aſſez qu'il y a deux de ces Liſſes; l'une d'un côté du Navire, & l'autre de l'autre: nous n'en avons repréſenté qu'une dans la figure premiere pour éviter la confuſion; c'eſt ONMLK. Deux autres liſſes paſſent par les endroits les plus larges de toutes les coupes & ſe nomment les *liſſes du gros* ou du *fort*, nous n'en avons encore ici marqué qu'une TXH. Deux autres liſſes paſſent par les points d'inflexion de toutes les allonges de revers que nous n'avons point repréſentées, non plus que les *deux liſſes moyennes* qu'il y a de chaque côté entre la plus baſſe ou la liſſe des façons ONMLK & la liſſe du fort THX. Pour placer ces *liſſes moyennes*, on diviſe en trois parties égales ſur les eſtains, ſur la maîtreſſe couple & ſur l'étrave les intervales qu'il y a entre les deux premieres liſſes déja placées, & on fait paſſer d'une extrémité du Vaiſſeau à l'autre les deux dernieres liſſes par les points de diviſion.

Il eſt vrai que comme les anciens Conſtructeurs n'avoient que quatre points ou ſeulement trois pour ſituer chaque liſſe, ils pouvoient en les tendant plus ou moins, leur donner diverſe convexité; mais leur grande attention

Digitized by Google

étoit d'empêcher qu'elles formaſſent des angles dans leur courbure, ou de faire qu'elles ſe trouvaſſent pliées par tout inſenſiblement. Toute la figure du Vaiſſeau ſe trouvoit indiquée de cette ſorte, & il étoit facile de voir enſuite comment il falloit former toutes les coupes qui devoient être placées en avant & en arriere du premier gabari. Quelque bien conduit que fût l'ouvrage, il falloit ſouvent y retoucher un peu; enlever du bois d'un membre pour diminuer ſa convexité, & quelquefois y appliquer des eſpeces de coins pour en augmenter le renflement. Cependant le Vaiſſeau qui dans ces derniers tems a été regardé comme un chef d'œuvre dans ſon genre & qu'il ſeroit à ſouhaiter qu'on eût depuis pris pour modéle dans la conſtruction des Vaiſſeaux du premier rang, *le Royal Louis* * qu'on a été obligé de défaire de notre tems à Breſt, à cauſe de ſa caducité, n'avoit été bâti que de cette maniere, ce ſemble, ſi hazardée. Il eſt triſte que les Conſtructeurs ne puiſſent pas travailler pour la poſterité, comme les Architectes ou les Sculpteurs. Tout ce qu'on pouroit faire de plus, lorſqu'ils ont réuſſi parfaitement, ce ſeroit de perpetuer leurs Vaiſſeaux en les remplaçant par d'autres conſtruits préciſement ſur les mêmes gabaris, & qu'on regardât toujours, comme l'ouvrage du premier Maître. Il eût encore été plus utile que juſte de rendre cet honneur à l'habile ouvrier du Royal Louis.

* Vaiſſeau conſtruit à Toulon en 1692, par François Coulon.

Cette méthode toute imparfaite qu'elle étoit de conſtruire les Vaiſſeaux, valoit incomparablement mieux que celle qu'on a voulu lui ſubſtituer dans la ſuite. * On prétendoit ſuivre une opération particuliere pour trouver la figure de chaque couple intermediaire, & on en devoit mettre d'abord un certain nombre limité, ſur leſquelles les autres ſeroient reglées. On avoit une méthode pour tracer la premiere, une méthode différente pour tracer la ſeconde, la troiſiéme, &c. mais comme ces opérations étoient indépendantes les unes des autres, quoi qu'on tachât de mettre entr'elles le plus d'affinité qu'il ſe pouvoit, il arrivoit toujours que l'aſſemblage de toutes les coupes

* Dans l'*Architecture Navale* de M. Daſſié, & dans le *Reſumen Nautico de lo que ſe practica en el Theatro Naval*, &c.

ne formoit point enſuite une ſurface reguliere, & qu'il s'en falloit extrémement que les courbures du Vaiſſeau fuſſent exemptes de faults, & conduites par des degrés reglés. Nous avons la principale obligation à M. le Chevalier Renau d'avoir remedié à cet inconvenient, en donnant le moyen de rendre tous les gabaris dépendans les uns des autres. M. le Maréchal de Tourville, aidé du P. Hoſte dont nous avons un Livre ſur la Théorie de la conſtruction, y a auſſi je crois contribué.

Si les liſſes ont perdu de cette ſorte une partie de l'ancien uſage qu'elles avoient, elles ne l'ont pas perdu entierement, & elles en ont acquis un autre, comme on le verra dans la ſuite & qui eſt même, ſi on le peut dire, plus noble. Elles ſervent toujours aux Conſtructeurs à reconnoître ſi les couples élevées ſur la quille ne forment point les unes par rapport aux autres, quelques irregularités ſenſibles; & elles aident outre cela à ſituer les bordages dont elles marquent la direction. On les ôte à meſure qu'en *bordant* on parvient juſques à elles; de ſorte qu'elles ne reſtent en place que pendant qu'on travaille à l'ouvrage.

CHAPITRE VI.

Remarques générales ſur les liſſes, avec le moyen de former l'arriere du Vaiſſeau en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à ſa longueur dépendantes de la premiere & de celle de l'extrémité.

I.

ON projette pour l'ordinaire ſur la premiere coupe ou ſur le maître gabari non-ſeulement les deux coupes des deux extrémités du Vaiſſeau; mais auſſi toutes les autres qui ſont intermediaires. C'eſt ce que repréſente la figure 19, dans laquelle IGD2G2I eſt le premier gabari ou Fig. 19.

la

la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. P*m*D est la moitié du gabari de l'avant ou de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la proüe, & XTR est la moitié du dernier gabari de l'arriere, ou le demi-contour de la poupe vûë d'une distance infinie dans le prolongement de la longueur du Vaisseau. On ne met ainsi que les moitiés de toutes les coupes du Navire, excepté de la premiere, ou de la plus grande qu'on trace entiere; afin d'avoir toute la forme du Vaisseau dans une seule figure ou dans un seul plan; la partie de la proüe d'un côté & la partie de la poupe de l'autre. On voit aussi dans ce plan, non pas *les lisses*, mais leurs projections: EKΔ marque la projection de celle *des façons* du côté de l'avant & A*n*W la projection de la *lisse du fort*; HO des points d'inflexion & IP du *plat-bord*, c'est-à-dire, du haut du flanc du Navire. Du côté de la poupe; 2ER est la lisse *des façons*, & 2AV celle *du fort*. Il est évident que toutes ces lignes ne sont pas les lisses mêmes, mais leurs projections: car il faut remarquer que si elles vont d'un gabari à l'autre, si la lisse du fort, par exemple, du côté de la proüe va du point A au point *n*, ces deux points sont réellement dans des plans différens & éloignés l'un de l'autre des cinq douziémes de la longueur de la quille. Ainsi supposé que la lisse fût une ligne droite au lieu d'être une ligne courbe, elle seroit l'hypothéneuse d'un triangle rectangle dont un côté seroit A*n*, & l'autre la distance entre les deux coupes. Fig. 10.

C'est ce qu'on verra encore mieux en jettant les yeux sur la Figure 11, qui représente toute la partie de la proüe depuis le maître gabari ou la premiere coupe AFD2A2. La ligne D1D2 représente la partie de l'avant de la quille & D1*v* est l'étrave, qui est un arc de cercle d'environ 70 dégrés, qui a son rayon égal à la hauteur même de l'étrave. On voit sur la premiere coupe la projection *nm*D2 de la coupe NLD1, qui est à l'extrémité de la quille, & j'ai marqué aussi les projections A*n*W, G*m*Z, FI&3, &c. de toutes les lisses, quoique je n'aye représenté réellement qu'une Fig. 11.

Digitized by Google

Fig. 10. & 11. seule liſſe GMζ, celle qui eſt immédiatement au-deſſous de celle *du fort*. Cette liſſe, comme on voit, eſt une ligne courbe dont ζzZ eſt l'axe & qui a pour ordonnées les interſections Mz, GZ, &c. de ſon plan avec celui de chaque coupe, ou ſes propres projections ſur ces mêmes coupes. Malgré cette extrême différence qu'il y a entre une ligne courbe & ſes ordonnées, entre les liſſes & les lignes droites qui les repréſentent, nous donnerons quelquefois, pour éviter la longueur du diſcours, & je crois l'avoir déja fait, le nom de liſſes à ces lignes droites. Au reſte on voit auſſi dans la même figure, que nous avons diviſé en trois parties égales la diſtance *vd* des liſſes du fort & des façons ſur l'étrave *v*D1 pour trouver les points ζ & *e* où doivent venir ſe rendre les deux liſſes moyennes & que la diſtance AE ſur la premiere coupe, eſt également partagée en trois parties égales par ces mêmes liſſes.

Il ſe préſente ici une remarque importante qui étonnera ſans doute les Conſtructeurs, de même que toutes les autres perſonnes qui ont quelque connoiſſance de l'Architecture Navale. Les liſſes marquées par des lignes droites dans le plan & qui ſervent à l'achever, ne répondent point exactement, contre ce qu'on a penſé juſqu'à préſent, aux liſſes placées de la maniere ordinaire ſur le Vaiſſeau. Ces dernieres, comme je l'ai déja dit, ſont de longues régles de bois qu'on applique ſur la ſurface convexe que forment enſemble les membres, & qu'on ne fait plier qu'autant qu'il eſt néceſſaire, pour imiter la courbure de la ſurface, ſans ſe permettre de les faire détourner à droite ou à gauche; de ſorte qu'on s'efforce, pour ainſi dire, de les rendre dans leur courbure, les plus droites qu'on peut. Si on leur donnoit toute autre ſituation, elles perdroient l'uſage qu'elles ont d'indiquer la ſituation des bordages; & outre cela on ne ſçauroit comment les courber. Mais il ſuit de là qu'elles ſont placées ſelon les lignes courbes connues des Geométres, leſquelles marquent la moindre diſtance d'un point à un autre ſur une ſurface courbe, & qu'elles ſont donc des courbes à doubles courbures, excepté dans

Digitized by Google

très-peu de cas, mais qui n'ont point encore eu lieu dans la conſtruction; comme lorſque la ſurface eſt celle d'un conoïde au ſommet duquel les lignes vont ſe terminer. Hors de ce petit nombre de circonſtances, plus on entreprend de rendre droit un fil ou quelqu'autre corps flexible ſur une ſurface courbe, plus on eſt ſûr de le courber en différens ſens, parce qu'on l'oblige à ſuivre la ſurface dans tous ſes contours : il faudroit travailler exprès à l'écarter de la direction qu'il tend à prendre, lorſqu'il paſſe ſur les endroits penchans de la ſurface, pour qu'il ne fût courbe que dans un ſeul ſens ou pour que ſa projection put être une ligne droite.

Les Lecteurs qui faute de Géométrie ne voyent pas avec aſſez d'évidence la vérité de ce que nous avançons ici, peuvent s'en aſſurer aiſément, à l'égard des liſſes placées, comme on les place toujours. Ils n'ont qu'à les regarder d'une certaine diſtance, & chercher s'il y a un point d'où elles paroiſſent des lignes parfaitement droites; & ils verront que non. C'eſt auſſi à cette différence qu'il faut attribuer l'embarras où ſe trouvent quelquefois les Conſtructeurs, qui ſans en connoître la cauſe, ne ſçauroient concilier certaines meſures priſes dans leur plan & ſur le Vaiſſeau, & qu'ils rapportent aux liſſes qu'ils croyent toujours parfaitement correſpondantes. On peut néanmoins continuer à ſe ſervir des unes & des autres, pourvû qu'on ait ſoin de les bien diſtinguer; celles qui répondent dans le plan à des lignes droites & qui ne ſont autre choſe que les ſections de la ſurface convexe de la carène, faites par des plans perpendiculaires au premier gabari, comme l'eſt la ligne ζMG dans la figure 11; & les liſſes effectivement placées pendant la conſtruction du Navire, ſur la ſurface que forment les membres, leſquelles ſont toujours doublement courbes. Fig. 11.

Cette diſtinction entre les liſſes étant admiſe; ſi nous voulons aſſujettir la figure de toutes les coupes intermediaires du Vaiſſeau, à celle de la premiere & à celle des deux autres coupes qui ſont aux extrémités de la quille,

Digitized by Google

nous n'avons qu'à donner aux liſſes dont le Plan exprime les projections, une courbure reguliere plus ou moins convexe, ſelon qu'on voudra renfler plus ou moins la carène. La premiere courbure qui ſe préſente eſt celle du cercle; mais elle eſt difficile à décrire en grand, & c'eſt pour cette raiſon, ſans doute, qu'on employe plus ſouvent, ou des ellipſes ou même des courbes tranſcendantes qui ſont plus faciles à former. Un très-grand arc d'ellipſe ſe décrit plus aiſément qu'un arc de très-grand cercle; parce que pour décrire ce dernier, il faut avoir ſon centre qui ſe trouve à une grande diſtance, ou bien il faut avoir recours à quelques autres expédiens difficiles à employer dans la pratique; au lieu qu'on peut au contraire décrire un très-grand arc d'ellipſe, en décrivant un aſſez petit arc de cercle dont on emprunte les ordonnées, qu'on ne fait que mettre à beaucoup plus de diſtance les unes des autres qu'elles n'étoient dans le cercle. La ſeconde ligne que les Conſtructeurs employent enſuite le plus volontiers, eſt celle des ſinus, mais *allongée;* & ils la forment encore par cette tranſpoſition d'ordonnées qu'ils nomment *Réduction.*

II.

Fig. 10. & 12. Pour former l'arriere en donnant aux liſſes la courbure d'arcs d'ellipſes, ils décrivent un arc de cercle 2FA (Fig. 12.) dont le rayon eſt triple de la plus grande liſſe projettée 2FS ſur la premiere coupe, & qui a pour ſinus verſe 2FS la longueur même de cette projection. C'eſt-à-dire que la ligne 2FS dans la figure 12 doit être de même longueur que 2FS dans la figure 10, & qu'avec un rayon trois fois plus grand & en plaçant le centre ſur 2FS prolongée, on décrit l'arc 2FA juſqu'à la rencontre de la perpendiculaire ou du ſinus droit SA. On diviſe AS en autant de parties égales, qu'on veut déterminer la figure de différentes coupes entre la premiere & la derniere poſée à l'extrémité de la quille. Nous nous ſommes contentés ici pour ne point rendre notre figure trop confuſe, de diviſer ſeulement AS en ſept parties égales; mais dans les figures ou dans les

Digitized by Google

Plans que font les Conſtructeurs & dont les côtés ont pluſieurs pieds de longueur, on doit pouſſer la diviſion beaucoup plus loin. Il faudra enſuite des points de diviſion élever des perpendiculaires à AS, ou tirer des paralleles à 2FS juſqu'à la rencontre du cercle, & ces dernieres lignes tranſportées ſur 2FS, apprendront comment il faut diviſer 2FS dans la figure 10, pour avoir les points par leſquels doivent paſſer les contours de toutes les coupes intermediaires. On fera la même choſe pour toutes les autres liſſes 2ER, 2GT, 2AV, &c. ou ce qui revient au même on les diviſera proportionellement à 2FS; & joignant enfin par une courbe tous les points qui ſe répondent, les premiers points de toutes les liſſes les uns avec les autres; tous les ſeconds points &c. on aura la figure des différentes coupes du Vaiſſeau faites entre l'arriere & le premier gabari. Il faut remarquer que ces différentes coupes doivent être à des diſtances égales les unes des autres ſur la quille, parce qu'elles doivent partager toute la longueur de la poupe depuis la premiere coupe, de la même maniere qu'on a diviſé la ligne SA de la figure 12. Fig. 10. & 12.

Pour diviſer les autres liſſes proportionnellement à la liſſe moyenne 2FS (Fig. 12) on prend ordinairement un point K ſur le prolongement de AS, dont on tire des lignes K2F, K1, K2, &c. à tous les points de diviſion de 2FS, & il ne reſte plus, comme il eſt évident, qu'à tranſporter la longueur des autres liſſes parallelement à 2FS entre KS & 2FK pour qu'elles ſoient diviſées en même rapport. Mais pluſieurs Conſtructeurs n'admettent point cette proportionalité; ils diviſent chaque liſſe par une figure particuliere, ils font toujours 2FS égale à la liſſe dont il s'agit; mais ils donnent différens rayons à l'arc 2FA. Pour la liſſe des façons ils font le rayon triple; pour la premiere liſſe moyenne ils le font $2\frac{2}{3}$ fois plus grand; pour la ſeconde liſſe moyenne $2\frac{1}{3}$; pour la liſſe du fort 2 fois; pour la liſſe des points d'inflexion $1\frac{1}{4}$, & enfin ils le r'augmentent pour la liſſe du *plat bord*, ou du bord du Navire, ils le font deux fois plus grand.

Digitized by Google

D'autres Conſtructeurs, au lieu de diviſer AS en parties égales, diviſent l'arc même 2FA, & achevent le reſte comme ci-devant. Alors ils donnent aux liſſes une courbure tranſcendante; puiſqu'elle depend de la relation qu'il y a entre les arcs de cercle & leurs ſinus. Les liſſes imitent la *courbe allongée des ſinus* dont nous avons déja parlé. Il eſt évident que quelque méthode qu'on ſuive, on n'a toujours qu'à rendre le rayon de l'arc 2FA plus petit, lorſqu'on veut courber davantage les liſſes, ou renfler la carène. On lui donne le plus grand renflement, en faiſant le rayon égal à la longueur même 2FS de la liſſe projettée, & alors l'arc 2FA devient un quart de cercle.

CHAPITRE VII.

De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire.

I.

ON employe à peu près les mêmes moyens pour la proüe; mais on en rend toujours le renflement plus conſidérable, que celui de la poupe; & on vient à bout, pour ainſi dire, par deux arcs de cercles, de le multiplier. Ayant prolongé dans la figure 10 les projections des liſſes jusqu'à la rencontre de la verticale DY, on fait un quart de cercle ZGO (Fig. 13) qui a pour rayon la longueur entiere GZ d'une des projections; on prend enſuite la portion Z*m* dans la figure 10, & on la met en forme de ſinus en zM dans la figure 13, parallelement au rayon GZ. On prolonge l'autre rayon vers C, & on décrit un nouvel arc de cercle BZ, qui ayant ſon centre en quelque point C, a pour rayon ou une fois & demie Zz ou le double de cette même ligne Zz, ſelon qu'on veut donner plus ou moins de renflement à la proüe, & cet arc ſe termine à Mz prolongée juſqu'en B. Après cela on diviſe l'arc

Fig. 10. & 13.

Digitized by Google

BZ en autant de parties égales qu'on veut diviſer la quille en avant du maître gabari, ou qu'on ſe propoſe de trouver la figure de différentes coupes en avant de la premiere. D'autres Conſtructeurs au lieu de diviſer l'arc BZ en parties égales, le diviſent en parties inégales, mais qui repondent à des parties égales du ſinus Bz. Enfin conduiſant des points de diviſion D, E, &c. des paralleles à BM juſqu'à la rencontre du quart de cercle, on ne fait plus que tranſporter les parties PH,QI,&c. ſur GZ,& cette ligne ſe trouve diviſée de la même maniere que le doit être la liſſe GZ dans le plan repreſenté par la figure 10. C'eſt-à-dire qu'il faut mettre Z_1 en Z_1;Z_2 en Z_2,&c. pour avoir les points par leſquels doivent paſſer les contours des coupes de l'avant. Fig. 10. & 13.

Au lieu de faire une autre figure ſemblable à la treiziéme pour les autres liſſes, ſouvent on les diviſe proportionnellement, du moins les parties interceptées entre la premiere coupe IGD & la derniere P*m*D; c'eſt-à-dire, qu'au lieu de porter les liſſes entieres entre KG & KZ, on porte ſeulement leur partie comme A*n* entre K*m* & KG. Mais il faut remarquer que cela donne une autre forme à la proüe, que lors qu'on fait une figure particuliere pour la longueur entiere de la projection de chaque liſſe.

II.

En ſuivant cette méthode & celle que nous avons expliquée dans le Chapitre précédent, tout le corps du Vaiſſeau ſe trouve déterminé, ſçavoir la partie qui eſt compriſe entre les deux coupes extrémes, placées aux deux extrémités de la quille. Il reſte ſeulement à former l'extrémité de la proüe, ou à achever la partie qui eſt au-deſſus de l'étrave, la partie ND*iv* de la figure 11. Comme cette partie n'eſt pas grande, qu'elle eſt le prolongement d'une ſurface déja formée, & qu'il faut qu'elle ſe termine à l'étrave qui eſt déja placée, les Conſtructeurs l'ont conduit à vûe d'œil; du moins je ne ſache pas qu'ils ayent eu de méthode reguliere juſqu'à préſent, pour l'achever, dans la circonſtance dont il s'agit. La queſtion ſe reduit à prolonger ſur la

Digitized by Google

ſurface convexe de la carène les courbes qui forment les liſſes : mais il faut remarquer qu'on ne peut pas continuer préciſément les mêmes lignes ; parce qu'elles iroient peut-être, ſe rencontrer ou en delà ou en deçà de l'étrave. Tout ce qu'on peut donc faire, c'eſt d'ajouter ou d'enter à l'extrémité de la courbe que forme déja la premiere partie de la liſſe, une autre courbe qu'on choiſira, qui lui ſoit tangente, & qui ait la courbure qui convient, pour venir ſe rendre à l'étrave.

Il n'eſt pas difficile de tracer ſur un plan la courbe que forme la premiere partie de la liſſe. S'il s'agit, par exemple, de la ſeconde liſſe moyenne, nous avons ZG dans la figure 10 pour la plus grande ordonnée, & 1Z, 2Z, &c. pour toutes les autres qui doivent être arrangées à une égale diſtance les unes des autres, & à la même diſtance qu'il y a entre les coupes dont on a obtenu la figure. Ainſi ſi on tire une droite zZ (Fig. 14) égale à toute la partie de la quille qui eſt en avant du maître gabari, il n'y a après l'avoir partagée en parties égales, qu'à lui élever des perpendiculaires égales aux ordonnées que nous venons de ſpecifier, & la courbe GHIM qui paſſera par leurs extrémités à toutes, repréſentera la courbure que prendra la liſſe en partant du point G du premier gabari (Fig. 10.) pour ſe rendre au point *m* du gabari de l'avant, qui eſt à l'extrémité de la quille; elle marquera la courbure de la liſſe même GM (Fig. 11.) Cette courbe étant tracée, (Fig. 14.) on pourra lui tirer mécaniquement une tangente au point M, & il faudra que cette tangente le ſoit auſſi à la portion de courbe Mζ qu'on ajoutera à l'extrémité M de la premiere.

Fig. 10. & 14.

Suppoſé que cette tangente ſoit MN, & qu'on veuille achever la liſſe par un arc de cercle, il n'y aura, comme le ſçavent les Lecteurs, qu'à élever une perpendiculaire MS à cette tangente & ce ſera ſur cette perpendiculaire qu'il faudra mettre le centre de l'arc Mζ qui viendra rencontrer l'étrave en ζ. Il ſera auſſi toujours facile de ſçavoir à quelle diſtance zζ l'arc de cercle doit aller ſe terminer.

Car

Car dans la figure 10 on a DZ pour la hauteur du point de rencontre de la liſſe dont il s'agit & de l'étrave, & ſi on cherche dans la figure 1 ou dans la figure 11 ou dans la figure 19 faite exprès pour cela, le point ζ de l'étrave qui a effectivement cette hauteur, on pourra meſurer combien il eſt en dehors de l'extrémité de la quille, meſurer ſa ſaillie ζz, & on aura l'intervale marqué par les mêmes lettres dans la figure 14. On pourra prendre enfin, à commencer du point z, des eſpaces d'une certaine grandeur, comme du quart ou de la cinquiéme partie de ceux qui ont ſervi à diviſer la quille ; & ſi on prend les ordonnées correſpondantes, & qu'on les porte ſur la projection Z*m* de la liſſe dans la figure 10, à commencer du point Z, on trouvera les points par leſquels paſſeront les contours des coupes de la partie ſaillante de la prouë. On fera la même choſe pour toutes les autres liſſes ; & on ſera enſuite en état de tracer le contour de ces coupes particulieres. Je ne les ai pas repréſentées dans la figure 10, parce qu'elles ne ſont pas à la même diſtance les unes des autres que le ſont les premieres : mais on les voit dans la figure 15 qui n'appartient donc qu'à la ſeule partie ſaillante de la prouë, ou à la partie deſtinée à couvrir la poupe P*m*D de la figure 10.

III.

Tout ce qui paroît manquer ici pour la regularité de la méthode, c'eſt le moyen de tirer la tangente MN à l'extrémité M de la courbe qu'on veut prolonger par une autre ligne courbe. On peut ſans doute dans l'uſage ordinaire ſe contenter de tirer mécaniquement cette tangente ; cependant je montrerai en peu de mots la maniere de la conduire géométriquement. Les ordonnées de la liſſe (Fig. 11 & 14) ne ſont autre choſe, comme on le ſçait, que les ordonnées même du quart de cercle GZO, (Fig. 13.) non pas appliquées aux divers points de l'arc ZB étendu en ligne droite, mais appliquées aux points d'une droite zZ (Fig. 14.) plus longue dans un certain rapport ; mais nous

supposerons pour une plus grande facilité, que l'arc ZB de la figure 13 est égal à la droite zZ de la figure 14 ou de la figure 11. Ainsi tirant dans la figure 13 une parallele $\mathcal{C}\mu$ infiniment proche de BM, on aura B$\mathcal{C}$ pour la différentielle des abscisses, & Sμ pour la différentielle correspondante des ordonnées; & puis qu'on sçait que ces différentielles sont entr'elles comme la soûtangente qui appartient à un certain point de la courbe est à l'ordonnée correspondante, nous n'avons qu'à chercher leur relation reciproque, pour nous mettre en état de déterminer la soûtangente & de tirer la tangente. Si du point $\mathcal{C}$, on conduit la petite perpendiculaire $\mathcal{C}$T à BM, la ressemblance du grand triangle rectangle BzC & du petit $\mathcal{C}$TB, donnera cette analogie BC|Bz||B$\mathcal{C}$|$\mathcal{C}$T qui se trouve égale à $\frac{Bz \times B\mathcal{C}}{BC}$, & c'est en même tems la valeur de SM. Mais la ressemblance des deux autres triangles ZzM & μSM, nous donne cette autre analogie; Mz|Zz||SM$=\frac{Bz \times B\mathcal{C}}{BC}$|S$\mu$ qui se trouve égale de cette sorte à $\frac{Bz \times B\mathcal{C} \times Zz}{BC \times Mz}$.

Il est donc clair que nous avons maintenant en grandeurs finies & connues le rapport qu'il y a entre les différentielles Sμ des ordonnées, & entre les petites parties correspondantes B$\mathcal{C}$ de l'axe de la courbe que nous examinons; & puisque ce rapport est le même que celui qu'il y a entre les ordonnées & les soûtangentes, il ne nous reste plus qu'à faire cette derniere analogie; $S\mu=\frac{Bz \times B\mathcal{C} \times Zz}{BC \times Mz}$ est à B$\mathcal{C}$, ou ce qui revient au même, Bz × Zz, est à BC × Mz, comme l'ordonnée Mz, est à $\frac{BC \times \overline{Mz}^2}{Bz \times Zz}$ pour la longueur de la soûtangente. C'est-à-dire que les soûtangentes sont égales au produit du quarré du sinus Mz par BC, divisé par Bz & par Zz; ce qui nous fournit la construction suivante. Il n'y a qu'à tirer au point M du quart de cercle la tangente MV, & on aura zV pour la valeur de $\frac{\overline{Mz}^2}{Zz}$. Ti-

Digitized by Google

tant enſuite VX perpendiculaire à BC, cette ligne VX ſera la valeur de $\frac{BC \times Mz^2}{Bz \times Zz}$ & ſera donc égale à la ſoûtangente requiſe. Il eſt vrai que cette ſoûtangente n'appartient qu'à la courbe qui réſulte de l'application des ordonnées zM, RL, &c. aux divers points de l'arc BZ rendu ligne droite; mais pour avoir celle qui appartient à la courbe MG (Fig. 14) ou à la liſſe même, il n'y a qu'à augmenter la premiere en même raiſon que zZ (Fig. 14.) eſt plus grand que l'arc BZ (Fig. 13.)

CHAPITRE VIII.

Faire enſorte que la courbure entiere des liſſes depuis la premiere coupe juſqu'à l'étrave appartiennent à la même ligne courbe.

I.

LEs Conſtructeurs, comme on l'a déja inſinué, n'ont point de méthode, pour faire enſorte que chaque liſſe ſuive la même ligne courbe depuis le maître gabari juſqu'à l'étrave, lorſqu'ils ſont obligés de donner à la coupe de l'avant, faite à l'extrémité de la quille, une figure particuliere. Mais lorſqu'ils ſont diſpenſés d'obſerver cette derniere condition, ou lors qu'au lieu d'être obligés de faire paſſer une liſſe GMζ (Fig. 11.) par les trois points G, M & ζ, ils ne ſont aſſujettis qu'à la faire paſſer par G & ζ, ils ont pluſieurs moyens pour la conduire d'une maniere uniforme. On n'en indiquera ici qu'un ſeul qui ne differera preſque point de la méthode expliquée dans le premier article du Chapitre précédent, & on l'empruntera du Manuſcrit de M. de Pulmi dont on a déja parlé.

Après avoir décrit un quart de cercle WAC (Fig. 16.) dont le rayon eſt égal à la longueur WA (Fig. 10.) de la

projection de la liſſe du fort, ils décrivent d'un rayon double ouquelquefois d'un rayon ſeulement une fois & demie plus grand, & en mettant le centre ſur WC prolongée, un arc WB qui ſe trouve terminé par CB perpendiculaire à l'extrémité C de WC. La plus grande longueur qu'ils donnent au rayon de l'arc WB eſt de le faire double de WC, comme je viens de le dire, lorſqu'ils veulent diminuer conſidérablement le renflement de l'avant; mais ils rendent quelquefois ce même rayon beaucoup plus petit; car ils ſe contentent dans certains cas de le faire égal à WC, alors l'arc WB devient un quart de cercle; & ils parviennent par là, pour ainſi dire, à la limite ou au terme de la plus grande convexité que peut avoir la prouë. Après cela ils diviſent l'arc WB en autant de parties égales qu'ils veulent trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari. Dans d'autres cas, au lieu de rendre les parties WD, DE, &c. égales entr'elles, ils font ſubſiſter cette égalité entre les parties correſpondantes de BC. Enfin tous s'accordent à tirer des points de diviſion D, E, F, &c. juſqu'à l'arc AC du quart de cercle des paralleles à BC, & à tranſporter les parties MH, NI, &c. ſur le rayon WA, pour ſçavoir de quelle maniere il faut diviſer la liſſe WA dans la figure 10, afin d'avoir les points par leſquels doivent paſſer les contours de toutes les coupes.

A l'égard des autres liſſes, ils ſe contentent pour l'ordinaire de les diviſer proportionnellement en prenant un point K ſur le prolongement de CW, il n'importe en quel endroit; en tirant de ce point des lignes droites à tous les points de diviſion de WA, & en plaçant les projections des autres liſſes parallelement à WA. Ils obſervent ſeulement lorſqu'ils placent les projections GZ des autres liſſes paralleles à WA, de ne les pas mettre depuis KA juſques à KW, mais de faire répondre leurs extrémités Z à une certaine partie de W3, ſelon que l'extrémité ζ (Fig. 11.) de la liſſe GMζ, tombe au tiers ou au quart, &c. d'une des parties égales dans leſquelles on a diviſé la longueur de l'avant du Vaiſſeau. Telle eſt la pratique qu'on ſuit tou-

Digitized by Google

jours, & qui eſt fort éloignée d'être reguliere : ſi elle ne fait pas ſouvent naitre des angles conſidérables & comme des faults dans la courbure de la proüe, ce n'eſt que parce qu'on ſe donne toujours la liberté dans l'exécution, de changer quelque choſe dans les gabaris tracés avec le plus de ſoin. Dans la rigueur, c'eſt de l'arc FB dont il faut prendre une certaine partie aliquote ; puiſque c'eſt l'arc entier BW qui repreſente ſeul la longueur totale de la proüe. C'eſt-à-dire, qu'il faut qu'il y ait même rapport de tout l'arc WB à la partie BP qu'on en retranche, lors qu'on veut diviſer les autres liſſes ; que de toute la longueur *v*W (Fig. 11.) de la proüe meſurée dans le plan de la liſſe du fort, à ſon excès ſur la longueur ζZ qu'à la proue dans le plan, par exemple, de la liſſe moyenne qui eſt immédiatement au-deſſous. Le point P de la figure 16 étant ainſi trouvé, il n'y aura qu'à tirer PQ parallelement à BC ; conduire QR parallelement à CW ; joindre les points K & R par la droite KR ; & ce ſera entre KA & KR qu'il faudra placer la longueur ZG de la projection de la liſſe dont il s'agit, pour avoir tous les points de diviſion : & il faudra faire la même choſe pour tous les autres.

II.

Au reſte il eſt facile de ſuppléer à la méthode dont on a beſoin pour aſſujettir à la même courbe, les liſſes entieres, lorſque la figure de la coupe de la proüe, faite à l'extrémité de la quille, eſt déterminée. On peut même réſoudre le Problême d'une infinité de manieres, & en ſe ſervant, il n'importe de quelle ligne courbe ; pourvû qu'elle ait plus d'un parametre, auſſitôt qu'on veut aſſujettir les axes à une certaine ſituation, & qu'on ne veut pas donner aux Vaiſſeaux une figure trop différente de celle qu'ils ont. Il s'agit en général de faire paſſer dans la figure 11 une courbe par les trois points donnés G, M, ζ ; en faiſant enſorte, pour ſe conformer à l'uſage qui a toujours regné juſqu'à preſent, qu'elle ſoit perpendiculaire en G à ſon ordonnée GZ. Il n'y aura pas plus de difficulté pour chaque autre liſſe ; on

Digitized by Google

aura toujours un point par lequel elle doit passer sur le premier gabari, un autre sur la coupe à l'extrémité de la quille & un troisiéme sur l'étrave ; & la situation de ces trois points l'un par rapport à l'autre sera toujours donnée.

La premiere des lignes courbes qui peuvent satisfaire au Problême, est l'ellipse conique ; nous nous contenterons d'expliquer ici la maniere de l'employer. Les trois points par lesquels il faut faire passer l'arc d'ellipse sont G, M & ζ dans la figure 17. Les ordonnées GZ & Mz sont égales ou sont supposées l'être aux deux lignes marquées par les mêmes lettres dans la figure 11. La partie d'abscisse Zz est égale à la longueur de la quille en avant de la premiere coupe ; & la partie ζz est égale à la saillie de la proüe au-dessus de l'étrave. Je suppose que l'ellipse dont GMζ (Fig. 17.) en un arc soit achevée, & je prolonge jusqu'à la rencontre de la courbe de l'autre côté les lignes Mz, GZ, ζZ. Le grand axe de cette ellipse est AB, & son petit GF ; la ligne MH est parallele au grand axe de même que EK, desorte que CK = CH. C'est une proprieté de l'ellipse, connue de tous les Géométres, que le rectangle de ζZ par zD est au rectangle de GZ par ZF comme celui de ζz par ZD est à celui de Mz par zE. Le premier de ces rectangles est un quarré, puisque les lignes ζZ & ZD sont égales ; & le troisiéme rectangle de ζz par zD est égal, comme on le sçait, au quarré de Zζ moins celui de Zz.

Fig. 17.

Ainsi la premiere analogie se change en celui-ci, $\overline{\zeta Z}^2 \mid GZ \times ZF \,||\, \overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2 \mid Mz \times zE$. Et comme la premiere raison ne sera point changée, si on divise les deux termes par GZ ; ni la seconde, si on divise son antécedent & son conséquent par Mz, nous aurons cette autre proportion $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} \mid ZF \,||\, \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \mid zE$; qui se change en cette autre $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GE} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \,||\, ZF \mid zE$; & en $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} - \frac{\overline{\zeta Z}^2 + \overline{zZ}^2}{Mz} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \,||\, ZF - zE = KF = HG \mid zE$. Or les trois premiers termes de cette derniere proportion étant absolument

Digitized by Google

connus, il ſera toujours facile d'en connoître le quatriéme zE ou ZK, qu'on ajoutera à KF = GH & de plus à GZ, & on aura le petit axe GF de l'ellipſe.

Je crois qu'au lieu de chercher à conſtruire par lignes, quoique cela fût facile, l'analogie à laquelle nous venons de parvenir, il vaut toujours beaucoup mieux dans la pratique, la reſoudre par le calcul; en meſurant ſur une échelle de parties égales la longueur des lignes qu'on connoît. Pour avoir le ſecond terme on prendra toujours l'excès du quarré de ζZ ſur le quarré de zZ qu'on diviſera par Mz; & pour avoir le premier terme, on ôtera le ſecond terme du quarré de ζZ quon diviſera par Gz. Le troiſiéme terme ſera GH excès de GZ ſur Mz; & enfin on ajoutera le quatriéme terme à KF ou à HG & de plus à GZ pour avoir le petit axe. Suppoſé que ζZ ſoit de 600 parties; ζz de 100; GZ de 150, & Mz de 70; on aura pour les trois premiers termes de la propotion $828\frac{4}{7} | 1581\frac{1}{7} || 80$; & le quatriéme terme ſera $151\frac{11}{19}$ qui étant augmenté de 80 pour KF & de 150 pour GZ, donnera $381\frac{11}{19}$ pour le petit axe & $190\frac{11}{38}$ pour ſa moitié CG. Il ne reſtera plus après cela pour tracer l'arc d'ellipſe, ſans s'éloigner des pratiques que ſçavent les Conſtructeurs, qu'à décrire un quart de cercle *cag* (Fig. 18.) qui ait ſon rayon de $190\frac{11}{38}$ parties; on fera *gZ* de 150, & on tirera Zζ parallelement à *ca*. Ce ſera l'arc de cercle *g*ζ dont il faudra former l'arc d'ellipſe; & ce dernier ne ſera autre choſe, que le premier dont les ordonnées ſeront ſeulement placées à plus de diſtance les unes des autres. En un mot il n'y aura qu'à diviſer ζZ en autant de parties égales qu'on ſe propoſe de diviſer ζZ dans la figure 17, & porter toutes les ordonnées de l'arc de cercle, vis-à-vis des points correſpondans de ζZ dans la figure 17. On pourra auſſi porter ces ordonnées ſur la portion ZG de la liſſe dans le plan repréſenté par la figure 10; & ſi on fait la même choſe pour toutes les autres liſſes, les courbes qui paſſeront par tous les points qui ſe répondent, marqueront le contour de chaque coupe.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

De la maniere de projetter les diverſes coupes du Navire ſur toutes ſortes de Plans.

JUSQUES à preſent nous n'avons inſiſté que ſur la maniere de projetter tout le Vaiſſeau ſur un plan vertical perpendiculaire à ſa longueur; parce que cette eſpece de projection ſuffit pour en faire connoître la figure, & pour mettre les Conſtructeurs en état de le bâtir. Si on veut projetter le Navire ſur quelqu'autre plan que ce ſoit, il ſera toujours facile de déduire cette nouvelle projection de la premiere. Suppoſons qu'il s'agiſſe d'avoir la figure de toutes les liſſes ſur le plan vertical qui coupe le Vaiſſeau ſelon ſa longueur par la moitié, & que la projection ſe faſſe toujours par des perpendiculaires abaiſſées de tous les points des liſſes ſur ce Plan vertical. Après avoir dans la figure 19 repréſenté la quille avec l'étrave & l'étambot dans leur lougueur & dans leur ſituation, on diviſera la quille en autant de parties égales qu'il y a d'intervales entre les coupes que marque le Plan de la figure 10. On tirera par tous les points de diviſion des lignes verticales, ou plutôt des lignes perpendiculaires à la quille & elles repréſenteront ces coupes vûës d'une diſtance infinie dans la direction des baux. La verticale AD1 repréſente, par exemple, la premiere coupe ou celle qui eſt faite dans l'endroit le plus gros du Vaiſſeau, & ND2 celle de la proüe, faite à l'extrémité de la quille. Prenant enſuite dans la figure 10, pourvû qu'elle ſoit faite ſur la même échelle, toutes les quantités dont les liſſes ſont élevées ſucceſſivement dans les différentes coupes au-deſſus de l'horiſontale B2B; prenant toutes les quantités, par exemple, dont la ſeconde liſſe moyenne G*m* eſt élevée dans les points G, 1, 2, 3, &c; il n'y aura qu'à les porter dans la figure 19 perpendiculairement au-deſſus de

de la quille dans les coupes qui leur conviennent, & on aura tous les points G, 1, 2, 3, &c. par lesquels doit passer la projection requise de la lisse. On marque ordinairement dans ce même Plan, ou on projette les différens ponts, de même que la *ligne d'eau* ou la ligne jusqu'à laquelle le Navire doit plonger dans la Mer : c'est ce qu'on pourra exécuter aisément sur ce que nous avons dit dans le Chapitre III.

Il est principalement nécessaire de tirer la ligne d'eau, lors qu'on veut avoir un troisiéme Plan qui représente le Navire coupé par la surface même de la Mer. On sçait que cette ligne n'est point parallele à la quille & qu'elle doit s'élever d'autant plus vers l'arriere, que lorsque le Navire est en mer, sa quille n'est point horisontale & qu'il *cale* ou plonge davantage par l'arriere que par l'avant. C'est OQ cette ligne ; & on peut en tirer plusieurs autres paralleles au dessous, si on veut avoir un grand nombre de coupes horisontales. Enfin on mesurera à quelle hauteur chacune de ces lignes coupe successivement les verticales qui représentent les coupes ; & prenant les largeurs de ces coupes précisément à ces hauteurs dans la figure 10, on aura toutes les différentes largeurs que doit avoir la coupe horisontale dont on demande la forme. La figure 20 nous montre seulement la coupe horisontale faite à fleur d'eau. Pour trouver CL, on a mesuré la demie largeur de la premiere coupe AD2A de la figure 10, à une certaine hauteur au-dessus du point D, égale à la hauteur AD, prise dans la figure 19. Pour trouver également la demie largeur MN (Fig. 20.) on a mesuré celle de la coupe D*lmn* (Fig. 10.) à une hauteur, égale à D 2 z (Fig. 19.) &c.

Ce sera presque la même chose, si le plan sur lequel on veut projetter le Navire, n'est point parallele à la quille & qu'en même tems, il s'incline vers un des flancs, en faisant, par exemple, avec les baux un angle de 12 ou 13 dégrés, qui est ordinairement la quantité dont le Vaisseau s'incline le plus dans les routes obliques. La ligne tirée de l'avant à l'arriere dans la figure 19, marquera toujours à

Digitized by Google

quelle hauteur il faudra examiner la largeur de chaque coupe verticale dans la figure 10. Mais au lieu de mesurer cette largeur sur une ligne horisontale, il faudra la mesurer sur une ligne inclinée de 12 ou 13 dégrés par rapport à A2A, ou à B2B, & il faudra donc tirer un ligne oblique pour chaque largeur.

Ces derniers Plans ne peuvent guéres se faire qu'en petit, & il suffit de leur donner 2 ou 3 pieds de longueur pour les plus grands Vaisseaux. Mais après qu'on a fait aussi le Plan de la figure 10 de la même maniere, on ne peut pas se dispenser de le faire en grand, aussitôt qu'il s'agit de construire le Navire. On cherche une surface plane assez grande ou on se la fait, pour contenir au moins la moitié de la figure 10 dans ses vrayes dimensions; & lorsque les principales couples sont tracées, on imite la courbure de chacune par des planches ressiées, larges de 8 ou 9 pouces, qu'on joint les unes au bout des autres, & qu'on taille exactement selon les contours. Ce sont ces planches ainsi disposées & destinées à servir de regles ou de modéles pour chaque couple, qu'on nomme proprement *gabaris*; & les Charpentiers n'ont plus qu'à s'y conformer exactement, lorsqu'ils taillent les pieces de bois qui doivent former les membres.

CHAPITRE X.

Remarques sur la forme que les régles ordinaires donnent aux Vaisseaux.

IL seroit inutile d'insister davantage sur les moyens qu'ont les Constructeurs pour former la figure de leurs Vaisseaux, ou pour tracer leurs gabaris. On peut consulter sur cela, si on veut, le Recueil manuscrit que nous avons déja cité plus d'une fois: mais il nous paroît que la pluralité des opérations, que ce grand nombre de diverses pra-

Digitized by Google

tiques pour diviſer les liſſes, que toutes ces différentes *réductions*, ne ſont que la marque d'une vraye diſette. On n'a recours à différentes méthodes, que parce qu'on ne connoît pas la meilleure; & c'eſt par cette même raiſon qu'on eſt d'avis ſi différens ſur toutes les autres proportions dont nous avons ordinairement marqué les limites. Il eût valu incomparablement mieux que ſans ſe permettre la plûpart de ces variations, on n'eût toujours ſuivi qu'une ſeule pratique; & que changeant ſeulement quelqu'une de ſes circonſtances, on eût été extrémement attentif à remarquer les effets qui en reſultoient.

C'étoit le meilleur moyen de perfectionner l'Architecture navale par l'expérience, ſi la choſe avoit été poſſible; mais on voit aſſez que la pratique eſt inſuffiſante en pluſieurs cas. Il eſt certain que ſi elle eſt ſeule capable de perfectionner certaines parties, elle a beſoin dans une infinité d'autres rencontres, d'être aidée des lumieres de la Théorie. Comme ce n'eſt que l'intention de trouver la vérité qui nous conduit dans nos recherches, nous marquerons toujours avec ſoin ce que les regles ordinaires ont de bon, & nous tâcherons même de l'autoriſer par toutes les raiſons, qui ſe préſenteront à nous; afin que ce ſoit comme autant de points arrêtés & mis à couvert de toute atteinte, dans les différentes corrections qu'on pourra entreprendre de faire par la ſuite. A force d'eſſais on a, par exemple, aſſez bien trouvé en quel endroit de la quille, il faut placer le maître gabari ou l'endroit le plus gros de la carène; cependant ſi on diminuoit le renflement de la proüe, je crois qu'il faudroit reporter un peu plus vers l'avant cet endroit plus large, & ne le pas mettre aux $\frac{4}{7}$ de la quille, mais aux $\frac{5}{7}$ de la longueur même de la carène, ou encore un peu plus près de l'extrémité de la proüe. Le maître gabari n'étant de cette ſorte jamais placé au milieu du Navire, mais toujours plus vers l'avant, il ſe trouve que la proüe eſt plus groſſe que la poupe, & que la carène imite mieux la figure des poiſſons; c'eſt ce qui fait d'autant plus d'honneur à la Pratique, que dans la Marine on ne ſçait pas trop la raiſon

d'un usage qui paroît si extraordinaire.

Tous les Lecteurs ont aussi fait attention que les endroits les plus larges de chaque coupe vont en s'élevant vers l'avant & vers l'arriere, mais beaucoup plus vers l'arriere. On s'est mis dans la nécessité de se soumettre en partie à cet usage par cet autre dont nous avons déja parlé & qu'on observe depuis long-tems, de faire toujours enfoncer davantage dans l'eau l'arriere du Navire que l'avant, d'environ une sixiéme partie du creux. Comme la proue n'est pas plus faite pour fendre l'eau avec facilité, lorsque la quille est parfaitement de niveau, que lorsqu'elle est inclinée; car on ne sçait pas quelle proprieté on lui donne; on a sans doute voulu éprouver, lorsque le Navire a été en Mer, de quelle maniere il singloit mieux; & ayant souvent remarqué qu'il falloit faire caler un peu davantage l'arriere, on s'en est fait une loi. Cette pratique est au moins toujours utile en cela, que l'arriere plongeant davantage dans l'eau, le Navire doit mieux sentir son gouvernail. On s'est mis aussi par cet usage dans la nécessité de ne pas rendre les ponts paralleles à la quille, car si on leur donne ordinairement la même hauteur en avant que vers le milieu, on l'augmente toujours beaucoup vers l'arriere. En élevant le premier pont à mesure qu'il avance vers la poupe, sa hauteur proche de l'étambot est d'environ une sixiéme partie plus grande que le creux, & moindre à peu près de la même quantité que la hauteur de l'endroit le plus gros ou le plus large. Cette situation du pont détermine celle des baux qui sont destinés à le soutenir, comme nous l'avons dit, en même tems qu'ils lient les deux flancs du Navire l'un avec l'autre; & il suit de là qu'ils ne marquent point les plus grandes largeurs du Vaisseau, si on excepte le premier.

Outre la raison qu'on vient de rapporter, il y en a encore une autre, à ce que je crois, qui invite autant à élever *le fort* du côté de la proue que du côté de la poupe & qui est beaucoup plus importante; quoi qu'il n'y ait pas d'apparence qu'on y ait fait une attention expresse. Lors

qu'on met vers la proüe & vers la poupe la plus grande largeur de chaque coupe à une plus grande hauteur, on fait enſorte dans les routes obliques & lorſque le Navire s'incline beaucoup, que la partie de la carène plongée dans l'eau du côté oppoſé à l'inclinaiſon, perd beaucoup de ſon renflement, & que de l'autre côté la partie ſumergée en acquerre au contraire un très-conſidérable. Le Navire déplace donc beaucoup plus d'eau du côté de ſon inclinaiſon; & il doit, conformement à la maniere dont les fluides agiſſent, en être ſoutenu avec plus de force, & devenir par conſéquent plus capable de porter la voile. C'eſt ce que nous tâcherons d'éclaircir davantage par la ſuite. Mais on voit déja aſſez qu'en élevant de cette ſorte les plus grandes largeurs de la carène, on les met, pour ainſi dire, en reſerve pour ſervir au beſoin (lorſque le Vaiſſeau s'inclinera,) & pour ſervir préciſement du côté qu'il ſera néceſſaire. Nous pouvons auſſi reconnoître que cette diſpoſition eſt moins importante dans les Navires qu'on fait plus plats par deſſous & qui doivent être chargés par en bas d'un plus grand poids. Car ces bâtimens par la ſeule peſanteur de leur charge ou de leur leſt, doivent déja mieux ſoutenir la voile.

Au reſte, quoique nous ne condamnions pas abſolument l'uſage où l'on eſt de faire plus plonger dans l'eau l'arriere que l'avant du Navire, nous ne ſçaurions cependant approuver aucune des regles dont ſe ſervent les Conſtructeurs pour déterminer la différence de ces deux divers enfoncemens. On pourroit conſtruire un Navire exprès pour ne *caler* ou enfoncer dans l'eau que juſqu'à un certain terme, & on y réuſſira, auſſi-tôt que la conſtruction ſera fondée ſur de vrais principes. Mais quand un Navire n'eſt pas plus fait pour un certain enfoncement préciſ, que pour un autre, de même que tous les Vaiſſeaux qu'on a conſtruits juſques à préſent; c'eſt une queſtion très-difficile & une des plus compliquées de toute l'Architecture navale, que de déterminer le terme exact juſqu'au quel on doit le faire plonger. On croiroit peut-être qu'il

ne s'agit que de faire caler le Navire de maniere qu'il acquerre le plus de force qu'il eſt poſſible pour ſoutenir la voile ; mais l'enfoncement trop grand ſeroit augmenter conſidérablement la réſiſtance que feroit l'eau au mouvement du ſillage, & la rapidité de la marche diminueroit. Il ne s'agit pas non plus de trouver abſolument la partie de la carène qui éprouve une moindre reſiſtance. Car le Vaiſſeau n'enfonçant que peu dans l'eau, on ne pourroit lui donner que peu de mâture pour ne pas s'expoſer au plus grand péril ; on perdroit toujours trop du côté de la force du vent ou de la quantité des voiles, & le Navire iroit encore moins vite. Il s'agit donc de rendre la réſiſtance de l'eau la moindre qu'il ſe peut, non pas abſolument, mais relativement, ou eu égard à l'étendue qu'on peut donner aux voiles ; & on entrevoit déja qu'il faut pour reſoudre ce Problême, ſe livrer à un examen auſſi long que penible ; entrer dans le détail de toutes les courbures de la carène, pour juger qu'elle ſera la réſiſtance que doit éprouver la proüe, ſelon qu'elle eſt plus ou moins plongée ; & diſcuter en même tems la diſtribution & la peſanteur de toutes les parties du Navire, afin de ſçavoir la force qu'il aura dans chaque cas, pour ſoutenir l'effort du vent. Après cela nous ne ſommes que trop en droit de conſeiller aux Marins de faire de fréquentes expériences ſur la ſituation ou ſur *l'aſſiette* de leur Navire ; car nous n'avons à leur propoſer qu'une ſolution très-compliquée * du Problême dont il s'agit, qu'on ne peut reſoudre que par médiation ; au moins lorſqu'on veut porter la diſcution juſques dans les cas particuliers. Il eſt vrai que les Conſtructeurs qui ne veulent point être arrêtés par des difficultés capables de tenir indécis les Mathématiciens les plus habiles, croyent pouvoir s'en tirer d'une autre maniere. Pluſieurs d'entr'eux prétendent qu'il faut examiner lorſqu'on lance le Vaiſſeau à l'eau, la ſituation qu'il prend de lui-même, & faire enſuite enſorte, quand il eſt achevé, qu'il eſt leſté & entierement équipé, qu'il ſe trouve encore la même différence entre ſes enfoncemens de l'arriere & de l'avant.

* Voyez le Chap. 6. de la Sect. 4. du Liv. 3.

Le Lecteur ne peut que nous plaindre de nous voir obligés de refuter ſérieuſement de pareilles maximes : car il n'y a pas le moindre rapport entre ces deux états dans leſquels les Conſtructeurs comparent leur Navire. Si la carène a la proprieté de naviger avec la plus grande viteſſe, lorſqu'elle entre entierement dans l'eau, elle ne doit pas l'avoir également lorſqu'elle n'entre que juſqu'à la moitié ou juſqu'au tiers de ſa profondeur. On ſçait d'ailleurs qu'il dépend du Conſtructeur qui veut mettre un Vaiſſeau à la Mer, de l'achever plus ou moins ; & de faire qu'il enfonce diverſement par une extrémité ou par l'autre. Ainſi ce moyen propoſé miſtérieuſement par les gens du métier, & reçû avec trop de reſpect par beaucoup de Marins, ne ſert qu'à nous confirmer dans le jugement que nous ſçavions déja qu'il faut porter de la plûpart de leurs autres régles.

Mais ſi les maximes ordinaires doivent ſe trouver imparfaites, c'eſt principalement dans la figure même qu'on donne au corps du Navire ; car il étoit impoſſible qu'on pût découvrir par la Pratique ſeule & par des eſſais, quelques réiterés qu'ils fuſſent, les particularités d'une ſurface courbe entiere qui eſt un aſſemblage d'une infinité de lignes courbes & de points. Il ne faut donc pas douter que ce ne ſoit ici où la conſtruction a principalement beſoin d'être reformée. En général la proüe eſt trop renflée, & les liſſes par le moyen deſquelles on la forme, ont toujours trop de convexité. On a bien ſenti dans la Marine que cette partie ne devoit pas être trop aigue : mais on n'a pas reconnu qu'il ſuffiſoit de porter la plus grande largeur du Navire plus vers l'avant, pour procurer cette plus grande groſſeur, ſans qu'il fût néceſſaire de l'augmenter encore par la courbure exceſſive des côtés. Il ſe peut faire que par des conſidérations particulieres, on ne puiſſe pas ſuivre rigoureuſement en cela tous les préceptes de la Théorie ; mais il eſt au moins toujours avantageux de les ſçavoir, afin d'avoir en vûe le point de perfection, dans le tems même qu'on ne peut pas y atteindre & qu'on eſt obligé de s'arrêter en deça.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

Suite du Chapitre précédent, avec la maniere de rendre la figure des Vaiſſeaux plus parfaite.

I.

SI on ſe contentoit de faire conſiſter *les façons* ou les diminutions de groſſeurs du Vaiſſeau dans le ſeul retreciſſement de ſes varangues, ſans lui donner d'acculement, en faiſant, pour ainſi dire, traîner ſa prouë ſur la quille juſqu'à ſon extrémité, il faudroit, comme nous le démontrerons dans le troiſiéme Livre, rendre les liſſes des lignes parfaitement droites. Ainſi ſi la premiere coupe étoit un rectangle, la prouë ſeroit formée ſeulement par deux plans verticaux, qui en ſe rencontrant feroient un angle aigu à l'extrémité de l'avant, & la prouë ſeroit terminée par une arête verticale interſection des deux plans. La figure 21 repréſente cette prouë qui n'eſt formée que par des ſurfaces planes, & dans laquelle les liſſes CA, ED, &c. ne peuvent pas manquer d'être des lignes droites.

Mais ſi on donne de l'acculement aux varangues ou qu'on détache entierement la prouë de la quille, comme dans la figure 22, l'arête verticale AD de l'extrémité ſe racourcit par en bas de toute la quantité de l'acculement DF; & alors la prouë, comme on le verra auſſi dans le troiſiéme Livre, ne doit plus être formée par des ſurfaces planes. Les liſſes doivent être courbes, & elles doivent l'être davantage lorſqu'on éleve le point D ou qu'on augmente *les façons* DF; en même tems que la figure qui étoit déja plus avantageuſe, le devient encore plus & approche du *maximum maximorum*, dans lequel réſide le dernier point de perfection. Arrivée à ce terme, la prouë a la figure d'une eſpece de demi conoïde regulier, dont la baſe, au lieu d'être circulaire, eſt un rectangle. Mais ce

ce qui eſt principalement digne de remarque, c'eſt que vû les dimenſions qu'on donne ordinairement aux Vaiſſeaux, il arrive toujours, lorſque l'acculement vers l'avant eſt le plus grand qu'il eſt poſſible, ou lorſque toute l'arête verticale de l'extrémité, eſt diſparue, & que la prouë a enfin acquis l'état le plus avantageux de tous, que les liſſes qui ſont auſſi parvenues à leur plus grande courbure, ne ſont pas encore ſi courbées que l'eſt un arc de cercle de 18 ou 20 dégrés; ou ce qui revient au même, qu'elles différent encore ſi peu de la ligne droite, qu'elles ne s'en éloignent pas vers le milieu de la vingt ou vingt-deuxiéme partie de leur longueur. Supposé ce que nous diſons, il s'en faut donc extrémement que les Conſtructeurs, malgré leurs différentes tentatives, ayent rencontré la vraye figure de la prouë dont il faut retrancher preſque tout le renflement. Ils étoient auſſi fort éloignés de connoître cette regle qui peut leur devenir très-utile, & qu'on peut regarder comme un ſecret de Conſtruction; *que moins on donne d'acculement ou de façons* FD (Fig. 22.) *aux varangues vers l'avant, plus on doit rendre droites toutes les liſſes* CA, ED, *&c.*

Les choſes que nous avançons dépendent d'une Théorie trop compliquée, pour que nous puiſſions actuellement en faire entrevoir les raiſons: nous le ferons dans la ſuite; il ſuffit ici, où il ne s'agit que de pratique, de ne rien dire qui ne ſoit parfaitement démontré. * Nous joindrons auſſi quelques tables vers la fin du troiſiéme livre par le moyen deſquelles, on pourra donner à la prouë la figure la plus exacte, quand on le voudra. Mais il n'y a preſque point à s'y tromper, auſſi-tôt qu'on ſçait que les deux termes entre leſquels doit être la courbure, ſont extrémement voiſins l'un de l'autre; qu'il faut rendre les liſſes ou parfaitement droites comme dans la figure 21, ou leur donner à peine la courbure d'un arc de 18 ou 20 dégrés, comme dans la figure 22. On leur donnera à peu près cette derniere courbure, nous le repetons, quand on voudra augmenter l'acculement ou donner à la prouë plus *de façons*; au lieu qu'on

* Voyez le Chap. 4. de la Sect. 5. du Liv. 3.

rendra les liſſes preſque droites quand on voudra diminuer l'acculement DF. On peut par cela ſeul, ſans s'attacher ſcrupuleuſement aux régles préciſes que preſcrit la ſpéculation, en retirer ſenſiblement tout le fruit. Il n'y a qu'à conſerver, ſi on le veut, au maître gabari ſa figure ordinaire, quoi qu'il ſoit toujours avantageux pour la marche d'en diminuer les dimenſions & ſouvent de le retrecir par en bas. On gagneroit extrémement du côté de la promptitude du ſillage de ne donner de largeur à cette couple que la cinquiéme ou la ſixiéme partie de la longueur du Navire, en même tems qu'on diminueroit le creux à proportion. C'eſt ce que nous montrerons dans la ſuite avec la plus grande évidence; & nous ferons même voir cette ſingularité très-étonnante, qu'il ne ſeroit pas impoſſible en diminuant ces deux dimenſions, ou bien en augmentant la longueur, de faire aller un Navire quelquefois auſſi vite que le vent. *

*Voyez le Chap. 8. de la Sect. 4. du Liv. 3.

Nous revenons aux liſſes auſquelles on pourra donner, ſi on le veut, toujours la même ſituation: c'eſt-à-dire qu'elles peuvent ſe terminer ſur l'étrave à des diſtances égales les unes des autres, & partager auſſi également le contour du maître gabari, en commençant aux extrémités du plat de la varangue. Soit qu'on leur faſſe imiter enſuite la courbure d'un arc de cercle, ou celle d'un arc d'ellipſe, &c. il ſuffira de n'écarter cette courbure du milieu de la ligne droite qui lui ſert de corde, que d'une vingt-cinq ou trentiéme partie de ſa longueur totale; & rien n'empêche de ſuivre dans cette opération la méthode *des reductions*, ou l'emprunt que font ordinairement les Conſtructeurs, des ordonnées d'une courbe pour en tracer plus aiſément une autre.

II.

Ainſi il ſera toujours facile de donner, à très-peu près, à la proüe la forme qu'elle doit avoir. Après avoir tracé la premiere coupe AD2A (Fig. 23.) & avoir tracé les projections AW, GZ, &c. des liſſes, on prendra la longueur d'une de ces projections, par exemple, de celle WA de la liſſe *du fort*, on tirera une droite WA (Fig. 24.)

Fig. 23. & 24.

Digitized by Google

de cette même longueur, à l'extrémité W, de laquelle on élevera une perpendiculaire W*v*; & prenant un point *v*, à volonté sur cette seconde ligne qu'on pourra faire égales à la premiere, on tirera la droite *v*A au milieu de laquelle on élevera une perpendiculaire BC, qui ne seroit que sa vingt-cinquiéme ou trentiéme partie, si la ligne *v*A étoit de même longueur que la lisse même; mais comme elle sera plus courte, on fera BC de sa dix ou douziéme partie. On fera passer ensuite un arc de cercle AC*v* par les trois points A, C & *v*, & divisant W*v* en autant de parties égales qu'on veut diviser la longueur de la proüe, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari, on tracera par tous les points de division D, E, G, &c. des paralleles à WA jusqu'à la rencontre de l'arc *v*A, & transportant ces paralleles sur WA; cette derniere ligne se trouvera divisée comme le doit être la projection WA de la lisse dans la figure 23 pour que la lisse soit un arc (d'ellipse) très-peu courbé. Fig. 23. & 24.

Il n'y aura pas plus de difficulté pour les autres lisses. Il faudra seulement faire attention que la longueur de la proüe étant moins grande dans leur plan que dans celui de la lisse du fort, cette longueur ne sera pas représentée par W*v*, mais par une droite RQ moins longue. S'il est question, par exemple de la premiere lisse moyenne dont &F (Fig. 23.) est la projection, il faut que QR (Fig. 24.) soit à *v*W, comme &&3 (Fig. 11.) est à *v*W, ou comme la distance du point & dans la figure 19 à la verticale AD1, est à la distance du point *v* à la même verticale. Enfin si par hazard RA se trouvoit égale à la projection de la lisse moyenne dont il s'agit actuellement, il n'y auroit qu'à transporter R1, R2, R3, &c. sur la projection même pour trouver les points de division; mais en général il faudra d'un point K pris à volonté sur le prolongement de *v*W, tirer des lignes droites à tous les points, 1, 2, 3, &c. & portant en &F la longueur de la projection de la lisse, elle se trouvera divisée proportionnellement à RA. On fera la même chose pour toutes les autres, & rien n'em-

Digitized by Google

pêchera ensuite de tracer le contour de toutes les coupes qu'on vouloit avoir.

Au lieu d'élever la perpendiculaire BC au milieu de *v*A, (Fig. 24.) on peut l'élever au tiers de cette ligne, en faisant AB double de B*v*. Il faudra alors former l'arc AC*v* de deux arcs de cercles différens qui viendront se toucher en C, & qui auront par conséquent leurs centres sur la perpendiculaire CB prolongée autant qu'il sera nécessaire. On suivra le reste de l'opération dans toutes ses circonstances: mais on imitera beaucoup mieux de cette sorte la courbure qui est la plus propre à fendre l'eau.

Ce sera à peu près la même chose de la poupe; les lisses doivent être aussi presque droites, & on ne doit guéres les en détourner par le milieu, que d'une vingt ou vingt-cinquiéme partie de leur longueur. Ainsi tout le Navire doit presque prendre la figure des deux demi cônes (Fig. 25.) joints par leurs bases, & *les façons* doivent être telles qu'elles commencent subitement dès l'endroit le plus gros, où la proüe & la poupe se séparent; & ce doit être, comme je l'ai déja dit, aux $\frac{1}{13}$ de la longueur totale, à commencer de l'extrémité B de la proüe: au lieu que dans la fabrique qui est actuellement en usage, le corps même de la carène est sensiblement de même grosseur dans un grand espace, & se trouve en même tems comme attaché à la quille. On ne cherchera point malgré tout cela à disculper la Géométrie, de la figure étrange qu'elle paroît donner aux Vaisseaux; ce sera aux Marins à s'y accoutumer. Cependant il est des raisons particulieres qui autorisent à alterer un peu cette figure: les abordages seroient, par exemple, extrémement dangereux, si on laissoit l'arête EFD sans l'adoucir; ainsi il ne faut pas manquer de l'émousser. Quoique la partie AFG qui s'étend, pour ainsi dire, à une si grande distance du Navire, paroisse desormais inutile, on ne peut pas néanmoins la retrancher, parce qu'il faut nécessairement attacher toujours le gouvernail à l'étambot GA. A l'égard de la partie BCF, on pourroit plutôt la supprimer; si on pouvoit le faire sans

Digitized by Google

diminuer la ſolité avec laquelle tous les membres doivent être liés pour faire un corps, & ſi une autre raiſon fort importante n'invitoit pas encore à ne pas la retrancher. C'eſt que cette partie contribue beaucoup dans les routes obliques à faire que le Navire *dérive* moins, ou que ſa route s'éloigne d'une moindre quantité de la direction de ſon axe. Il eſt vrai qu'elle nuit en même tems à la facilité que doit avoir le Vaiſſeau de tourner lorſqu'il s'agit de faire quelque évolution, & qu'elle le rend *ravier*, c'eſt-à-dire trop diſpoſé à préſenter ſa proüe au vent; mais il n'y a qu'à multiplier les voiles de l'avant ou les faire plus grandes pour s'oppoſer à cet effet: de cette ſorte on réunira tous les avantages, ſans s'expoſer à aucun inconvenient.

Il faut remarquer que comme un pareil Navire ſeroit formé pour naviger lorſque ſa quille eſt parallele à la ſurface de la Mer, il n'y auroit rien à gagner de faire plus plonger ſon arriere que ſon avant: la réſiſtance que trouveroit la proüe à fendre l'eau ne changeroit pas d'une quantité ſenſible. D'un autre côté le gouvernail ne peut pas manquer de produire ici ſon effet, à cauſe de la facilité que doit avoir l'eau à le fraper avec toute ſa force. Auſſi-tôt que la poupe ne doit pas plus enfoncer dans l'eau que la proüe, rien n'empêche de rendre les ponts paralleles à la quille: & il eſt également évident qu'on ne doit plus mettre à une ſi grande hauteur la liſſe d'hourdy ou l'endroit le plus large de la poupe; il ſuffira de rendre cette hauteur plus grande que le creux d'une huitiéme ou neuviéme partie.

III.

Au ſurplus tout ce que nous venons de dire convient principalement aux Fregates & à tous les Navires dont il s'agit de rendre le ſillage rapide lorſqu'ils navigent dans une belle Mer, ſans qu'il ſoit queſtion de les rendre capables de porter un grand poids. Mais ſi l'on a des raiſons pour donner à la carène une plus grande capacité, ou ſi on veut que le Navire ſoit capable de ſoûtenir pluſieurs

Digitized by Google

ponts & une artillerie considérable, si on veut éviter le tangage, il n'y aura qu'à employer la proüe représentée
Fig. 26. dans la figure 26, en même tems qu'on élargira un peu toute la carène.

La proüe de la figure 26 ne répond à nos idées que d'une maniere générale : nous supposons assez d'adresse aux Constructeurs pour pouvoir adoucir tous les angles & toutes les arêtes de cette figure. Si l'on donnoit le plus *de façons* qu'il est possible à cette proüe, les lignes courbes qui en la formant viendroient se terminer à son extrémité A, ne seroient pas encore plus courbes que des arcs de cercle de 18 ou 20 dégrés. Mais en diminuant les *façons* & en rendant horisontale leur lisse ED, cette lisse deviendra parfaitement droite, conformement à ce que nous avons dit ci-devant : Les autres lisses comme CM, seront également droites & paralleles à la premiere dans toute la partie interceptée entre les Plans BFEC & NDM; mais la saillie de l'étrave AD jointe à l'inclinaison des flancs de la premiere coupe BFEC, sera cause qu'il faudra ensuite courber les lisses d'en haut pour fermer la proüe. La surface DMCE seroit plane si le côté EC du maître gabari étoit une ligne droite : au lieu qu'elle sera comme cilindridrique, à cause de la courbure ordinaire de EC; & dans tous les cas, DM sera parfaitement égal à EC. Lorsque le plat EF de la maîtresse varangue sera la moitié de la longueur BC du bau, la demie largeur LM qui est égale à HC sera la moitié de GC : Ainsi la proüe aura au-dessus de l'extrémité D de la quille, une largeur NM égale à la moitié de la plus grande largeur BC de la carène.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur la maniere de tracer alors les coupes. On voit bien que chacune, comme PRST sera formée de deux parties parfaitement égales à celles BFK & HEC de la premiere; mais raprochées l'une de l'autre. La distance RS à laquelle il faudra les mettre, sera le plat de chaque varangue ; & ce plat diminuera en même raison que la distance à l'extrémité D de la quille. A l'égard de la partie ANMD, on pourra la former en pro-

Digitized by Google

longeant chaque liſſe comme CM par un arc de cercle AM, qui ait pour tangente en M la partie rectiligne CM de la liſſe ; ce qui ſera que la liſſe entiere CMA aura dans ſa totalité une plus grande courbure, laquelle ſeroit encore augmentée, ſi on rendoit le plat FE de la maîtreſſe varangue plus petit ; puiſque HC deviendroit plus grande, & que LM eſt égale à HC. Cette prouë qu'il ſuffit ſimplement d'imiter en empruntant ſes principales particularités, ou en ſe conformant au total de ſa forme, doit trouver plus de difficulté à fendre l'eau que celle que nous avons montré à former dans l'article précedent : mais les grandes largeurs qu'elle conſerve par en haut depuis la premiere coupe BIC juſqu'au deſſus de l'extrémité de la quille, font au moins qu'elle eſt très-capable de ſoutenir l'effort de la voile.

Cette forme du Navire le rendra auſſi plus capable de reſiſter aux mouvemens de la Mer qui produiſent le *tangage* ou ces balancemens auſſi dangereux qu'incommodes qui ſe font dans le ſens de la longueur. La Mer dans ſon agitation vient fraper une des extrémités du Navire & la fait s'élever. Alors l'autre extrémité eſt obligée de plonger dans l'eau, & elle continue à s'enfoncer juſqu'à ce qu'elle ſoit arrêtée par la reſiſtance de l'eau ou par le poids du volume qu'elle déplace. D'autres fois le Navire n'eſt pas choqué, c'eſt ſimplement la Mer qui perd en partie ſon niveau par l'agitation de ſes ondes. La Mer ſe ſouſtrait tout d'un coup de deſſous la prouë, ou la poupe ; & il faut donc abſolument que cette partie du Navire retombe pour ſe trouver ſoutenue. Ce mouvement violent du Vaiſſeau peut cauſer la rupture des mâts, & fait toujours tort à la promptitude de la marche dont il interrompt une partie. Il eſt évident qu'on ne peut éviter tous ces accidens, ou au moins les diminuer, qu'en groſſiſſant un peu les deux extrémités de la carène ou qu'en ne leur donnant pas de ſi grandes façons par deſſous. Il faut conſulter l'expérience ſur cela, puiſqu'il s'agit d'accommoder la figure des Vaiſſeaux à l'uſage particulier qu'on ſe propoſe d'en faire, ou

Digitized by Google

à la nature des voyages qu'on veut entreprendre. Mais souvenons-nous toujours qu'il eſt démontré que lorſqu'on n'a en vûe que la ſeule promptitude du ſillage & qu'on ne veut traverſer que des Mers tranquilles, comme l'eſt par exemple, la mer Méditeranée pendant nos plus belles ſaiſons, le Navire ne doit differer que très-peu de deux cônes joints par leur baſe.

Enfin ſi le renflement qu'on vient de procurer à la carène ne ſuffiſoit pas encore, on pourroit donner au Navire exactement la même groſſeur dans un eſpace conſidérable qui fût la cinquiéme ou le quart, ou tout au plus le tiers de toute ſa longueur, & on n'obſerveroit les regles qu'on vient de preſcrire qu'à l'égard des parties de la carène qui ſeroient vers l'avant & vers l'arriere & qu'on deſtineroit à ſervir de prouë & de poupe. Il me paroit ſeulement que comme la capacité de la cale ſeroit après cela aſſez grande, il vaudroit mieux donner enſuite plus de façons à l'avant ou le faire terminer plus en pointe, afin de ne pas tant perdre du côté du ſillage. Cette derniere attention ſeroit principalement obſervée dans les Navires de guerre, pour leſquels on ne feroit auſſi cette partie de la carène qui conſerve la même groſſeur vers le milieu, que la moins longue qu'on pourroit.

Si au lieu des Bâtimens ordinaires de tranſport on veut conſtruire une Flute, il n'y aura qu'à prendre pour modéle la figure d'un parallelipipede rectangle, mais qu'on alterera en formant la prouë & la poupe par deux plans inclinés; l'un panché en avant pour la prouë, & l'autre en arriere pour la poupe. On aura toujours le ſoin de conſerver les deux parties que repréſentent BCF & FGA dans la figure 25, non-ſeulemement parce qu'elles ſervent à fortifier la prouë & la poupe; mais encore plus à cauſe des autres uſages que nous leur avons déja attribués. Enfin on obſervera à peu près ces proportions; que ſi la longueur totale du Navire eſt de 144 parties, d'en donner environ 44 à la prouë ou à la ſaillie du plan incliné qui la termine, 32 au corps même de la carène qui conſerve la même groſſeur

&

Digitized by Google

& 68 à la poupe. Cette Flute dont il n'y aura qu'à émouſſer les angles aura la forme la plus parfaite de toutes, comme on le verra dans la derniere Section du Livre III. * il paroît outre cela que la grande longueur de ſes flancs qui ſont parfaitement droits, ſeroit très-propre à recevoir de l'artillerie, ce qui pourroit la rendre utile pour la guerre.

* Voyez l'article 3. du Chap. 9.

CHAPITRE XII.

De la maniere de mettre les Navires à l'eau ; & le moyen de reconnoître s'ils ſe courbent dans le ſens de leur longueur, par l'effort qu'ils ſouffrent dans ce mouvement.

I.

ON n'attend pas pour mettre un Navire à l'eau, qu'il ſoit entierement conſtruit ; ſa peſanteur qui ſe trouveroit plus grande, rendroit beaucoup plus difficile cette opération qui ne l'eſt déja que trop. On n'a pas dans tous les Ports de ces baſſins peu étendus qu'on nomme *formes*, dans leſquelles on pourroit, non-ſeulement achever un Navire, mais l'armer & l'équiper ; & où il ne reſteroit plus pour le mettre à flot, qu'à ouvrir les portes, lorſque la Mer eſt haute. Outre que dans nos Ports nous avons trop peu de *formes*, & que quand on en a fait deux ou trois dans le même, on les a placées mal à propos à l'extrémité les unes des autres, ce qui empêche ſouvent que chacune puiſſe ſervir à part ; on les reſerve ordinairement pour les *radoubs*, c'eſt-à-dire, pour faire les reparations, ſoit aux bordages, ſoit aux membres, dont les Navires n'ont beſoin que trop ſouvent.

On conſtruit donc preſque toujours les Vaiſſeaux ſur les quais ; mais on a le ſoin de rendre incliné le Plan ſur lequel on les bâtit, afin de pouvoir enſuite les faire gliſſer

Digitized by Google

plus aiſément juſques à l'eau ; dont ils ne ſont jamais fort éloignés. On donne ſouvent ſix lignes d'inclinaiſon au Plan ſur chaque pied de longueur ; de ſorte qu'il fait toujours avec l'horiſon un angle d'environ 2 $\frac{1}{2}$ dégrés, à moins qu'on ne ſoit obligé de changer un peu cette pente, à cauſe des circonſtances du lieu. Le *chantier* ſur lequel on conſtruit le Navire, eſt formé de poutres placées en travers, ou placées perpendiculairement à la quille. Ces poutres ſe nomment *tins*, & la quille au lieu de porter immédiatement deſſus, eſt élevée pour la commodité des ouvriers, & auſſi pour les raiſons qu'on verra dans la ſuite, ſur pluſieurs billots ou coins ſitués ſur les *tins* de diſtance en diſtance. Le plan que forment les tins étant incliné du côté de la Mer, la quille n'eſt point horiſontale, elle a la même inclinaiſon que le chantier ; & on met la proüe ordinairement du côté de l'eau.

On commence par poſer la quille, & à meſure qu'on place chaque membre au-deſſus, ou même l'étambot & l'étrave, on a le ſoin de le ſoutenir toujours par des *accores* qui ſont des pieces de bois qui ſervent d'arc-boutans ; & ce ſont ces mêmes *accores* qui empêchent le Navire de tomber d'un côté ou d'autre, pendant qu'on le conſtruit. On pouſſe l'ouvrage au moins juſques au premier pont, on *borde* la carène, ou on la revêtit de ſes bordages ; & on borde auſſi le premier pont qui eſt ſoutenu de tous ſes baux. Souvent les autres ponts ne ſont point encore commencés ; mais il eſt abſolument néceſſaire que le premier ſoit achevé, pour éviter différens accidens ; & pour rendre ſur tout le Navire plus capable de ſoutenir le mouvement auquel on va l'expoſer.

On prolonge le chantier juſqu'à l'eau, en mettant au-devant du Navire, perpendiculairement à ſa longueur, d'autres poutres, d'autres tins qui forment un plan toujours également incliné, & on met au-deſſus, au milieu, une ſuite de forts madriers pour ſervir de chemin à la quille, qui eſt retenue par de longues tringles paralleles, leſquelles forment comme une couliſſe. Le Vaiſſeau pendant

Digitized by Google

qu'il gliſſe ſur ſa quille, n'étant plus ſoutenu par ſes accores, tomberoit infailliblement ſur l'un ou l'autre flanc, ſi on ne l'en empêchoit de chaque côté par de longues poutres ſituées parallelement dans le ſens de ſa longueur entre leſquelles il ſe meut, & qui étant éloignées les unes des autres à peu près de ſa demie largeur, répondent de chaque côté vers l'extrémité du plat de la maîtreſſe varangue. Ces poutres s'étendent juſqu'à l'eau tout le long du chantier ou du *berceau* auquel elles ſont bien arrêtées, & on les nomme à cauſe de leur longueur *anguilles* dans certains Ports, mais le nom qu'on leur donne plus ſouvent eſt celui de *couettes*. Elles ne ſont jamais aſſez hautes pour parvenir juſqu'à la carène du Navire, quoi qu'elles ſoient fort avancées deſſous; mais on attache fortement au Navire même, des deux côtés, deux autres pieces de bois qu'on nomme ordinairement *dragues* dans le Ponant & *colombiers* dans le Levant, qui portent ou s'appuyent ſur les couettes & qui peuvent gliſſer deſſus. Après que le tout eſt ainſi diſpoſé, on a toujours le ſoin de renouveller les coins. On ôte à coups de maſſues les anciens qui s'étoient comme collés avec les teins & avec la quille, & qui s'y étoient engagés par l'impreſſion cauſée par le grand poids dont ils étoient chargés; & à meſure qu'on les ôte, on leur en ſubſtitue de nouveaux.

Les Navires qu'on veut lancer à l'eau de cette maniere, ſont toujours ſoutenus en trois endroits, ſous la quille & des deux côtés par les *couettes* & par les *dragues*: mais il y a eu des Conſtructeurs qui ne les faiſoient porter qu'en ces deux derniers endroits. Ils ôtoient les anciens coins ſans en mettre de nouveaux; la quille ſe trouvoit en l'air, & tout le poids du Navire dans tout le chemin qu'il faiſoit pour parvenir juſqu'à l'eau, ſe diſtribuoit entre les deux couettes: la premiere maniere me paroît beaucoup ſûre; le corps du Navire travaille moins. A l'égard du frotement il doit être ſenſiblement le même; on doit avoir toujours la même difficulté ou la même reſiſtance à vaincre: car qu'un corps peſant ne s'appuye que ſur deux points, il s'appuye

davantage sur chacun, & le frotement est plus grand; au lieu que lorsqu'il porte sur trois, il s'appuye moins sur chacun, le frotement en chaque endroit est plus petit; mais la somme des trois frotemens dans le dernier cas est égale à la somme des deux frotemens dans le premier. Quoiqu'il en soit on n'oublie jamais afin de faciliter le mouvement, de froter les couettes avec du suif, de même que le chemin de la quille, lorsqu'il est nécessaire. On examine si tout le long du chantier, ou du *berceau*, il n'y a rien qui puisse faire obstacle; s'il n'y a pas la moindre pointe de clou, &c. Enfin on ôte les *accores* des côtés, & le Navire n'est plus arrêté par l'avant que par la seule accore qui s'appuye contre l'étrave & qu'on nomme la *soûbarbe*; & outre cela par un bout de cable qui le retient de l'arriere, & qui est appliqué à une ancre à demi enterrée.

Si toutes les précautions ont été bien prises, & si la pente du berceau est telle que je l'ai dite, il suffit après avoir coupé le bout du cable *de retenue* dont je viens de parler, de faire sauter la *soûbarbe*, cette piece de bois qui s'oppose au mouvement du Navire, en s'arcboutant contre l'étrave. Le Vaisseau en s'ébranlant part avec une lenteur qui permettroit d'abord de lui croiser le chemin plusieurs fois; mais sa viteſſe s'accelerant par degrés, il va bientôt avec tant de rapidité, qu'il n'y a plus rien capable de l'arrêter, & que le feu prend au chantier. Pour faire sauter la soûbarbe, on peut la fraper avec une massue; & le Charpentier, s'il ne manque pas de tête, a tout le tems ou de fuir ou de se jetter entre les tins; mais il vaut beaucoup mieux se servir d'un long *belier* dont on assure les coups de loin, en le maintenant dans une espece de canal. La soûbarbe en tombant & en restant sur la route du Vaisseau, causeroit quelque accident, mais elle est attachée à une corde; & plusieurs ouvriers qui sont toujours dans le Navire, ont le soin de la tirer promptement en haut. A l'extrémité de l'arriere, au talon, il y a plusieurs leviers tous disposés, de longues solives de 25 ou 30 pieds dont on engage le bout sous la quille, & qui servent, non pas à

Digitized by Google

pouſſer le Vaiſſeau, mais à lui cauſer quelque agitation, ſupoſé qu'il ne parte pas aſſez vite. On y attache auſſi, ou on y *amarre*, pour parler comme les Marins, pluſieurs cordages qui vont ſe rendre à des rouës ou à des cabeſtans où il y a du monde toût prêt à agir. La moindre choſe, comme je l'ai déja dit, un ſeul gravier peut arrêter le premier mouvement, & rendre inutiles les efforts de pluſieurs centaines de perſonnes, qui s'aident de différentes machines; le Conſtructeur au deſeſpoir ne ſçait quelquefois à quoi s'en prendre. Mais après que le mouvement s'eſt une fois acceleré, on n'a plus de pareils obſtacles à craindre; il n'eſt plus queſtion que d'arrêter la trop grande viteſſe, avec laquelle le Navire iroit ſouvent ſe briſer de l'autre côté du Port.

On ſe ſert pour empêcher cet accident de pluſieurs cordages de *retenue*; & comme on ſçait par expérience que les plus gros cables n'auroient pas aſſez de force, on met pluſieurs cordages plus courts qu'on veut bien qui ſe rompent, pour détruire le premier effort. On ploye auſſi quelquefois ces cordages, & on attache leurs plis avec différentes autres cordes qui doivent ſe caſſer ſucceſſivement. Il y a bien à prendre garde pour les Ouvriers & pour les Spectateurs, pendant la rupture de toutes ces cordes; car elles donnent comme des coups de fouets, qui ont ſouvent tué ou bleſſé pluſieurs perſonnes. On peut pour éteindre plus promptement le mouvement, tenir auſſi vers le haut de la poupe diverſes pieces de bois attachées; & les laiſſer tomber dans l'eau l'une après l'autre, à *la traine* du Navire.

II.

De la courbure que les Vaiſſeaux ſouffrent dans le ſens de leur longueur lors qu'on les lance à la Mer.

Un autre accident qu'il eſt plus difficile d'éviter & auquel on ne s'aviſe pas neanmoins de faire ſitôt attention, c'eſt la courbure que le Navire reçoit ordinairement dès ce-

Digitized by Google

premier inſtant dans le ſens de ſa longueur. La plûpart des Lecteurs ſçavent que toutes les liqueurs pouſſent en haut les corps qui flotent ſur leur ſurface à proportion du volume qu'ils y occupent : c'eſt d'ailleurs ce que j'aurai occaſion d'expliquer dans le Livre ſuivant. Le Navire occupant par ſon milieu beaucoup plus d'eſpace dans l'eau, en eſt beaucoup plus ſoutenu : au lieu que c'eſt le contraire de la prouë & de la poupe, en même tems qu'elles ſont plus peſantes. Ainſi le ſoutien que fournit l'eau n'eſt pas diſtribué comme il le devroit ; il eſt apliqué principalement au milieu, quoique ce ſoient les extrémités qui peſant davantage en auroient plus beſoin. On ne doit point s'étonner après cela qu'un corps autant appeſanti que fortifié par toutes les pieces de bois qui le forment, ſe courbe ou *s'arque* conſidérablement, & que la quille en faiſant un arc très-ſenſible, tourne ſa convexité en haut. Cette courbure qui augmente de plus en plus, parce que la cauſe qui la produit, agit ſans ceſſe, oblige de faire de grandes reparations aux Navires, & les rend à la fin incapables de naviger. Mais on peut remarquer que le premier effort qu'ils ſouffrent, lors qu'on les lance à l'eau, produit déja un très-dangereux effet. Quelquefois l'arriere eſt encore ſur le chantier, pendant que tout l'avant eſt preſqu'en l'air, & que ſon poids fait effort pour courber la quille & toutes les autres pieces ſituées dans le même ſens. Il eſt vrai que ſi *le berceau* s'étend fort loin dans l'eau, ce qu'on a la facilité de faire dans les Ports de l'Océan, en profitant du reflux pour y travailler, & de la pleine Mer pour mettre le Navire à la Mer, il y a beaucoup moins de riſque. Cependant la prouë ſe trouvant ſoutenue par l'eau pendant que l'arriere s'appuye encore ſur le chantier, la quille & diverſes autres pieces ſont dans le cas d'un corps long & flexible ſoutenu par les deux extrémités ; & elles acquerrent en ſe pliant en deſſous, plus de facilité à *s'arquer* enſuite dans le ſens contraire. Ainſi laiſſant même à part divers autres accidens qui ne ſont que trop fréquens, il ſeroit toujours à ſouhaiter qu'on eût des baſſins ou des for-

Digitized by Google

mes dans tous les Ports, pour y pouvoir conſtruire tous les Vaiſſeaux.

Une marque infaillible qu'un Navire s'eſt plié ou *arqué*, c'eſt qu'on voit que les bordages d'en haut dont les bouts étoient exactement joints les uns aux autres, pendant qu'il étoit encore ſur le chantier, ſe trouvent un moment après conſidérablement éloignés les uns des autres : On ne peut pas douter après cela que tout l'ouvrage n'ait cedé & obéi. Pour déterminer avec autant de préciſion que de facilité, la quantité de la courbure, il n'y a, lorſque le Vaiſſeau eſt encore ſur le chantier, qu'à élever trois regles verticalement ſur le Pont, ou ſi l'on veut dans la cale ſur la carlingue, l'une au milieu & les deux autres aux deux extrémités à l'avant & à l'arriere : On placera des mires à une certaine hauteur ſur les deux qui ſont aux extrémités, & faiſant monter ou deſcendre une troiſiéme mire ſur la regle du milieu, juſqu'à ce qu'elle ſoit exactement en ligne droite avec les deux premieres, ou ſur le même rayon viſuel ; on meſurera ſa hauteur au-deſſus du Pont ou au-deſſus de la Carlingue. Si on fait enſuite la même opération, lorſque le Navire ſera à l'eau, & qu'on trouve qu'il faut toujours mettre cette mire du milieu à la même hauteur ; ce ſera une marque que le Navire ne s'eſt point arqué, mais s'il faut la mettre plus bas d'une certaine quantité, comme cela arrivera preſque toujours, ce ſera une marque que le milieu du Navire s'eſt élevé, & on connoîtra exactement de combien. Rien n'empêchera d'examiner de cette ſorte quel eſt de tems en tems le progrès du mal, en réiterant l'expérience ſur la carlingue & ſur le pont ; & on ſçaura beaucoup mieux le remede qu'il faudra y aporter.

Digitized by Google

SECONDE SECTION.

Des Agreils ou Apparaux du Navire.

CHAPITRE PREMIER.

Du Gouvernail & du Cabeſtan.

I.

LE Vaiſſeau déja conſtruit a beſoin de beaucoup d'autres choſes pour pouvoir naviger ; & toutes ces pieces ou parties qu'il faut lui ajouter, ſe nomment *agreils* ou *apparaux*. Tel eſt le gouvernail dont tout le monde ſçait l'uſage, pour maintenir le Navire ſur la même route, ou pour l'en faire changer, & qui dans la comparaiſon du Vaiſſeau avec les poiſſons, repréſente la queuë dont il remplit quelques unes des fonctions. Cet inſtrument eſt attaché par de gros gonds à l'étambot & on le fait tourner par le moyen d'un long levier qu'on nomme *barre* ou *timon*, qui étant inſeré preſque perpendiculairement dans le haut, s'introduit dans le Vaiſſeau le plus ſouvent entre les deux premiers ponts par la Sainte-Barbe *, en paſſant par deſſus la tête de l'étambot. Le gouvernail eſt fort étroit dans toute ſa partie qui eſt hors de l'eau ; celle qui eſt dans la Mer & qui eſt expoſée à l'impulſion, n'a gueres auſſi que quatre pieds de largeur dans les plus grands Navires, & environ deux dans les plus petits. A l'égard de ſon épaiſſeur, elle doit être la même que celle de l'étambot, afin que l'eau le frape dans toute ſa largeur de quelque côté qu'on le tourne.

* *La Sainte-Barbe eſt l'appartement le plus bas de la poupe, qui ſert principalement aux Canoniers.*

Pour

Pour faire tourner le gouvernail avec plus de facilité, on se sert ordinairement d'une rouë de trois ou quatre pieds de diamétre, placée verticalement sous le gaillard dans le sens de la largeur du Navire. AB (Fig. 27.) est l'étambot, DC est le gouvernail & CE est la *barre* ou le *timon* & à son extrémité E, on applique deux cordes EIL, & EFHK qui passant sur les deux poulies G & F arrêtées aux deux côtés du Navire & venant repasser sur les poulies I & H, montent ensuite verticalement jusqu'à l'axe MN de la rouë OP, & s'enveloppent chacune de différens côtés sur cet axe. Il est clair que lorsqu'on fait tourner la rouë OP dans un certain sens, une des cordes se lâche, en même tems que l'autre se roidit, & doit tirer le timon vers le flanc du Navire. La force des Matelots ou des *Timoniers* doit se trouver multipliée autant de fois que le rayon de la rouë est plus grand que le rayon de son essieu, & que la longueur du timon est plus grande que la demie largeur du gouvernail. Dans les plus grands Vaisseaux le timon AE peut avoir 30 pieds de longueur; ce qui donne déja un avantage considérable à la force motrice, elle est appliquée à quinze fois plus de distance, & son moment doit donc être quinze fois plus grand. D'un autre côté le rayon de la rouë OP peut être trois ou quatre fois plus grand que le rayon de l'axe ou de l'arbre MN; ce qui multiplie la force encore trois ou quatre fois. Ainsi faisant abstraction du frotement qui ne laisse pas d'être considérable; la force de chaque *Timonier* est multipliée quarante-cinq ou soixante fois; & il suffit par conséquent de faire un effort de vingt livres pour en soutenir un de neuf cens, ou de douze cens livres que feroit l'eau par son choc contre le gouvernail. C'est aux Anglois que nous devons cette disposition. Fig. 27.

Les personnes qui ont ignoré la science du mouvement, ont admiré de tout tems l'effet du gouvernail, qui ayant si peu de rapport au Vaisseau par sa grandeur, réussit cependant d'une maniere si infaillible à le faire changer de direction. Lorsque le Navire suit constamment une certaine route, toutes les puissances à l'action desquelles il est sujet

ſont exactement en équilibre les unes avec les autres: l'effort du vent ſur les voiles de la proüe, ſe contrebalance exactement avec l'effort du vent ſur celles de la poupe; & la ſomme de ces efforts eſt auſſi parfaitement en équilibre avec celui que fait l'eau en choquant la carène. Ainſi il ne faut pas toucher au Navire le moins du monde, ſi on veut que cet équilibre ſubſiſte, & que le ſillage continue à ſe faire ſur la même ligne. Mais ſi par la Mécanique que nous venons d'expliquer, on fait tourner le gouvernail tout à coup, & que ſitué qu'il étoit ſur le prolongement de la quille, on lui donne une ſituation oblique; l'eau le frapera avec d'autant plus de force, que le Navire ſinglera avec plus de viteſſe; l'équilibre ſera alteré, & le ſera d'autant plus que le gouvernail étant appliqué à l'extrémité de la quille, & à une grande diſtance du centre de gravité du Navire, eſt ſitué très-avantageuſement pour agir avec une grande force relative. Le gouvernail ſera pouſſé en arriere, mais il ſera pouſſé en même tems de côté, à cauſe de ſa poſition oblique; & ſi le premier effort ne fait que ralentir un peu la promptitude du ſillage, il eſt clair que le ſecond doit tranſporter la poupe de côté, & faire tourner le
Fig. 28. Vaiſſeau. On n'a pour voir tout cela qu'à jetter les yeux ſur la figure 28 qui repréſente un Navire réduit, pour ainſi dire, à la quille AB. Le gouvernail AC eſt pouſſé par l'eau ſelon une direction DE qui lui eſt perpendiculaire, comme on l'apprend en Mécanique. Mais il y a néceſſairement une partie de cet effort qui s'employe à pouſſer de côté ſelon DF; & c'eſt cet effort partial qui eſt peu conſidérable en lui-même, mais qui eſt capable d'une grande action, vû la longueur du levier dont il eſt aidé, qui fait tourner le Vaiſſeau, en faiſant paſſer la poupe de A en *a*, en même tems que la proüe paſſe de B en *b*. Toutes les fois donc qu'on met le gouvernail dans une ſituation oblique; qu'on le fait avancer du côté droit, par exemple, ou du côté de *ſtribord*, la poupe eſt jettée du côté oppoſé, du côté gauche ou de *basbord*; pendant que la proüe qui reçoit un mouvement contraire, doit tourner du même côté qu'on a tourné le gouvernail. Ceci eſt toujours vrai, lorſque le Na-

Digitized by Google

vire va de l'avant; au lieu que s'il reculoit, comme cela arrive quelquefois, ce seroit tout le contraire. En mettant le gouvernail à droit ou à gauche, le Navire (je veux dire sa prouë) se détourneroit de l'autre côté; & cela par la même raison. Fig. 28.

Un si grand nombre de Géométres ont déterminé la situation la plus avantageuse du gouvernail, que je crois pouvoir me dispenser de donner une nouvelle solution de ce Problème. On a trouvé que le gouvernail doit faire avec le prolongement de la quille un angle CAE d'environ $54^d\ 44'$; il est vrai qu'on a négligé une considération, & que le Problême n'est rigoureusement bien resolu, que lorsqu'on suppose que la largeur du gouvernail est infiniment petite, par rapport à la longueur du Navire. Qu'on diminue un peu l'angle CAE, ou qu'on raproche un peu plus le gouvernail du prolongement de la quille, l'impulsion de l'eau sera un peu moindre; mais d'un autre côté elle sera appliquée à une plus grande distance du centre de gravité G & agira plus efficacement: car le milieu D du gouvernail dans lequel l'effort se réunit, se sera un peu éloigné du corps du Navire. Pour avoir la longueur du bras de levier auquel l'effort absolu est appliqué, il faut abaisser du centre G une perpendiculaire GI sur la direction IDE; & il est également clair qu'on ne peut diminuer l'angle EAC, sans rendre le bras de levier GI un peu plus long. Tout contribue donc à montrer que l'angle déterminé par les solutions ordinaires, dans lesquelles on n'a pas fait entrer cette attention doit être un peu corrigé: Mais on trouve en examinant la chose, que le changement ne doit être tout au plus que des trois quarts d'un degré. Supposé que b designe la distance AG du centre de gravité G du Navire à l'extrémité A de la poupe, & a la demie largeur DA du gouvernail; on aura $-\frac{a^2}{3b}+\sqrt{\frac{a^4}{9b^2}+\frac{1}{3}a^2}$ pour le sinus du complement de l'angle CAE que doit faire le gouvernail avec la quille, lorsqu'on fait servir la demie largeur a de sinus total. Cette expression devient $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, aussi-tôt qu'on su-

Digitized by Google

pose *b* infinie, comme l'avoient fait tous les Auteurs qui avoient examiné le même Problême. On pourra, si on le veut, joindre à la considération que nous venons de faire, l'attention qu'à eu M. Pitot de distinguer la direction de l'eau qui choque le gouvernail, de la direction de la quille *, lesquelles sont effectivement différentes dans toutes les routes obliques.

* Voyez la Théorie de la Manœuvre des Vaisseaux, &c. Sect. 7.

DU CABESTAN.

II.

Pour élever plus aisément les vergues ou les abaisser; lever les ancres & faire différentes autres manœuvres, on a toujours dans les Vaisseaux des *vindas* ou *treuils* que les Marins nomment *cabestans*. J'en ai représenté un dans la figure 29; lequel sert en même tems dans deux différens étages ou entreponts du Vaisseau : il a de diamétre environ la onziéme partie de la largeur du Navire. Le cordage qu'on veut roidir doit s'enveloper sur la partie CD ou sur la partie EF qui étant faite à redans, est capable de le soutenir, quoiqu'il ne fasse qu'un très-petit nombre de tours, & qu'on le dévelope presque toujours par l'autre bout. On voit aussi les trous dans lesquels on fait entrer les leviers I, G, K, &c. dont chacun qui forme comme un rayon à 10 ou 12 pieds de longueur dans les plus grands Navires, & est quatre ou cinq fois plus grand que le rayon du cabestan. Ainsi la force de chaque homme lorsqu'elle est appliquée à l'extrémité d'une *barre* ou d'un de ces leviers, est multipliée dans le même rapport; elle est multipliée quatre ou cinq fois, puisqu'elle est aidée par un bras de levier, quatre ou cinq fois plus long. C'est à peu près la même chose de l'effort des Matelots qui agissent sur des cordes tendues de l'extrémité d'une barre à l'autre : mais ceux qui sont plus près du cabestan, ont beaucoup moins d'avantage, & la force de chacun en prenant le terme moyen, n'est gueres multipliée que trois fois. Quelquefois plus de 110 ou 120 Matelots travaillent en même tems; & alors la machine

Fig. 29.

Digitized by Google

fait donc le même effet que ſi trois ou quatre cens hommes agiſſoient enſemble.

Il eſt aſſez facile de ſe tromper dans l'eſtimation de la force qu'employe chaque Matelot ; & on ne croira peut être qu'avec peine qu'il ne faut gueres compter que ſur un effort de 20 ou 25 livres. On doit cependant remarquer que ce n'eſt pas ici le cas où un homme chargé d'un grand poids, peut ſoutenir deux ou trois cens livres, parce que toute ſa force, ſans qu'il y en ait rien de perdue, eſt employée efficacement à porter le fardeau. Les Matelots en travaillant au cabeſtan ne pouſſent les barres ou les leviers qu'obliquement, en s'appuyant contre le pont ; & de toute leur force, quoique fort grande, il n'y a que la petite partie qui s'exerce horiſontalement qui ſoit capable d'effet. Leur premier effort, lorſque la machine ne tourne point encore, doit être plus grand ; parce que leurs pieds étant ſtables, ils n'ont qu'à ſe roidir le plus qu'ils peuvent. Mais auſſitôt que le cabeſtan eſt en mouvement, les Matelots ſont obligés de marcher ; ils n'ont plus ni le tems ni la facilité de s'*arcbouter* comme ils le faiſoient d'abord : d'ailleurs leurs efforts ne ſont pas parfaitement ſimultanés ; & toutes ces raiſons ſont cauſe que la force commune ou moyenne de chacun, n'eſt tout au plus que de la quantité que nous avons ſpécifiée. Il ſuit de tout cela que le grand cabeſtan dans les plus grands Vaiſſeaux, n'eſt capable par ſa ſeule action que d'un effort abſolu de 10 ou 12 milliers.

Le grand cabeſtan eſt placé en arriere ; afin de joindre à ſes autres uſages, l'avantage de ſervir plus aiſément aux manœuvres du grand mât : L'autre cabeſtan lorſqu'il y en a, ſe met en avant ; & eſt ſitué à peu près par rapport au mât de miſaine ou au ſecond mât, comme le grand cabeſtan l'eſt par rapport au premier.

Dans les plus petits Navires, où l'équipage eſt peu nombreux, on n'a qu'un ſeul cabeſtan ſitué horiſontalement, au pied du ſecond mât, & qui occupe toute la largeur du Navire. On nomme ordinairement ce cabeſtan *vi-*

Digitized by Google

revau. Les Matelots qui le font tourner, ſe mettent tout le long, & chacun peut faire un effort de 60 ou 80 livres; parce qu'en s'appuyant ſur le levier, il le charge de preſque toute ſa peſanteur. Il eſt vrai que cet avantage eſt ſuivi de l'incommodité où l'on eſt de changer les barres de place, d'inſtant en inſtant; ce qui eſt cauſe que le mouvement ne peut pas être ſi continu, que dans le cabeſtan vertical. Toutes ces Machines ont toujours des entailles pour recevoir l'extrémité d'un morceau de bois ou d'une eſpece de cliquet qui permet le mouvement dans un ſens & qui s'y oppoſe dans l'autre. Les Matelots ont de cette ſorte le tems de reprendre haleine; & ſe trouvent à couvert du péril auquel ils ſeroient quelquefois expoſés, d'être renverſés & bleſſés par le retour des barres.

CHAPITRE II.

De la néceſſité d'avoir des pompes dans les Vaiſſeaux, & de la maniere de les diſpoſer.

MALGRÉ l'extréme attention avec laquelle on applique les *bordages* du Navire, & qu'on interdit tout paſſage à l'eau, elle ne laiſſe pas encore de s'introduire; & ſi on ne ſe précautionnoit pas contre un mal qui iroit toujours en augmentant, on ſe trouveroit bientôt dans le dernier péril. On ne manque jamais pour éviter ce malheur, d'avoir pluſieurs pompes, ordinairement quatre, placées au milieu du Navire, de celles qu'on nomme Aſpirantes & dont on doit la premiere invention à *Cteſibius*, Mathématicien d'Alexandrie. La ſcience Hydraulique fournit pluſieurs autres machines pour élever les eaux; mais la pompe aſpirante doit être préferée dans les Navivires, à cauſe du peu d'eſpace qu'elle occupe. Les Anglois ont quelquefois recours à l'uſage de la machine nommée *Chapelet* qui puiſe beaucoup d'eau en peu de tems. Dans

Digitized by Google

les Vaiſſeaux Chinois, on partage ſouvent la cale ou la capacité interieure en un grand nombre de cellules, afin que ſi l'eau trouve le moyen de s'inſinuer dans quelques unes, l'entrée dans les autres lui ſoit encore interdite. Si cet uſage a ſes avantages, il a auſſi ſes inconveniens : Il embaraſſe la cale ; & comme il peut arriver outre cela dans les abordages, que la force du coup ſoit ſi grande, que toutes les cellules s'entrouvrent en même tems, il eſt ſans doute toujours plus ſûr d'avoir des pompes, pour s'en ſervir au beſoin, au moins lorſqu'on navige ſur notre Océan. Les quatre qu'on met ordinairement au pied du grand mât, ſont renfermées par quatre cloiſons dans le fond de cale, & ce retranchement ſe nomme *l'archipompe*.

On forme preſque toujours les pompes d'une longue piece de bois (d'ormeau) qu'on taraude ou qu'on perce dans le ſens de ſa longueur, & le trou a quatre ou cinq pouces de diamétre. On voit dans la figure 30 une de ces pompes dont AB eſt le *corps* & AD eſt le *piſton* ou *báton*, dont j'ai repréſenté à côté l'extrémité inférieure en grand, que les Marins nomment *heuſe* ; & S eſt la *ſoupape*, qu'ils nomment *clapet*. On voit en C une ſoupape ou *clapet*, qui ne s'ouvre auſſi qu'en deſſus & qui ſert à retenir l'eau qu'on a déja fait monter, & qui par les coups redoublés du piſton, doit parvenir juſqu'à l'ouverture G par où elle ſort. Cette ſoupape C eſt renfermée dans une autre boëte cilindrique nommée *chopine*. On remarquera que ces pompes ne ſont abſolument qu'*aſpirantes* ; car lorſqu'on tire en haut le piſton, la ſoupape S ſe ferme, il ſe fait une eſpece de vuide dans la pompe, & l'eau monte de la même maniere qu'elle entre dans une ſeringue dont on tire à ſoi le piſton. L'eau en un mot eſt *aſpirée* & elle ne peut pas retomber, parce que la ſoupape C qui lui a permis l'entrée lui refuſe la ſortie. Mais auſſi-tôt que l'eau eſt parvenue aſſez haut, le piſton commence à faire une nouvelle fonction : on ne peut pas le faire deſcendre ſans qu'il n'atteigne l'eau & ne la puiſe. Cette eau en s'ouvrant la ſoupape S, paſſe au-deſſus & vient vers l'ouverture G par le jeu du piſton vers

Fig. 30

Fig. 30. le haut, pendant que d'autre eau en dessous remonte encore pour remplir le nouveau vuide. Quelquefois le levier ou la *brimbale* EF est appliquée immédiatement au piston, & soutenue par un des côtés du corps de la pompe, qui s'éleve d'un pied ou d'un pied & demi ; mais le plus souvent ce levier est suspendu en l'air à 9 ou 10 pieds de hauteur ; & on aplique à son extrémité F diverses cordes qui donnent la facilité à un grand nombre de Matelots d'agir ensemble. Cette disposition qui a d'abord été particuliere aux Venitiens, en a pris le nom.

Tous les Lecteurs qui sont un peu initiés dans la Physique, sçavent que le jeu ou le mouvement HI du piston doit se faire à moins de 32 pieds de hauteur HB, au-dessus de la surface OL de l'eau. Si cette hauteur étoit un peu plus grande, l'air qui en s'appuyant sur la surface OL par son poids & qui en la comprimant par tout, excepté dans la pompe, doit la faire monter, n'auroit pas assez de force pour la soutenir jusqu'au piston ou pour la faire remonter encore. Ce n'est point ici le lieu d'expliquer de quelle maniere s'exerce la pesanteur de l'air ; comment on sçait qu'elle est égale à celle d'une hauteur de 32 pieds d'eau, ni comment cette force, quoique si considerable & quoi qu'elle agisse sans cesse, ne se fait pas néanmoins sentir à nous, en nous pressant. Nous bornant à notre sujet, nous nous contenterons de dire que cette force fait monter l'eau dans une pompe & qu'elle ne le fait pas dans un tuyau placé verticalement & ouvert par les deux extrémités ; parce que si elle comprime la surface de l'eau hors du tuyau, elle la comprime aussi & également dans le tuyau même, & l'empêche de monter. Il faut donc que le piston fasse par son jeu dans la pompe une espece de vuide ; mais ce n'est pas assez qu'il descende à moins de 32 pieds, il faut qu'il descende encore beaucoup plus bas ; autrement l'eau après s'être élevée jusqu'à un certain terme, ne le passeroit pas, quoi qu'on pompât sans cesse, ou qu'on tint le piston continuellement en mouvement.

Pour avoir un exemple de cet arrêt dans l'élevation de l'eau,

Digitized by Google

l'eau, on n'a qu'à ſuppoſer que l'eau eſt déja parvenue juſqu'en K à ſeize pieds de hauteur, & que le piſton par ſon jeu, ne reduiſe qu'à la moitié l'eſpace qui eſt au-deſſus dans la pompe. C'eſt-à-dire, que ſi IH eſt le jeu du piſton ou l'eſpace qu'il parcourt ; nous ſuppoſons que l'eſpace HK qui reſte au-deſſous eſt égal à IH. Lorſque le piſton deſcend juſqu'en H, tout l'air qu'il y avoit de trop dans l'eſpace IK ſort par la ſoupape S; & il n'en reſte qu'autant qu'il en peut entrer dans ſon état naturel dans l'eſpace KH. Mais auſſi-tôt qu'on fait remonter le piſton juſqu'en I, l'air extérieur ſe ferme lui-même le paſſage, en preſſant la ſoupape S par deſſus, & l'air interieur qui occupoit HK doit s'étendre dans tout l'eſpace KI deux fois plus grand. Ainſi cet air deux fois plus dilaté, aura deux fois moins de reſſort; car on ſçait que l'air tend toujours à s'étendre, mais qu'il tend moins à le faire à meſure qu'il lui a déja été permis de s'étendre davantage, & que ſa force élaſtique, qui ſe met toujours en équilibre avec le poids qui le comprime, ſuit préciſement la raiſon inverſe de ſes dilatations. L'air contenu en KI, au lieu d'avoir un reſſort égal en force à la peſanteur d'une colomne d'eau de 32 pieds de hauteur, n'en aura donc que la moitié ; & en faiſant effort pour ſe dilater, il preſſera par conſéquent la ſurface K de l'eau qui eſt dans la pompe avec la même force que le feroit une colomne d'eau qui ſeroit au-deſſus & qui auroit 16 pieds de hauteur. Mais cette preſſion étant ajoutée avec le poids même de la colomne d'eau KB qu'on a ſuppoſé de 16 pieds, le tout fait un effort équivalent à la peſanteur d'une colomne de 32 pieds; & puiſque la preſſion que fait l'air extérieur ou l'Atmoſphere ſur la ſurface OL, eſt limitée à ce même poids, il eſt certain qu'elle pourra bien entretenir l'équilibre, & empêcher l'eau de retomber, mais non pas la faire monter d'une ſeule ligne plus haut. La preſſion de l'air extérieur, je le repete, tend à faire entrer continuellement de nouvelle eau par le bas de la pompe avec une force égale à la peſanteur de 32 pieds de hauteur d'eau; & il eſt vrai qu'il n'y a que 16 pieds d'eau en BK: mais Fig 30.

Digitized by Google

Fig. 30. d'un autre côté l'air qui eſt en deſſus dans l'eſpace KI, quoique dilaté, agit encore par ſon reſſort avec une force de 16 pieds, & ce reſſort joint avec le poids de la colomne BK, doit ſuſpendre l'effet de la compreſſion extérieure que forme continuellement l'atmoſphere, ſur OL. On redoublera inutilement les coups de piſton; car en le faiſant deſcendre & en l'élevant enſuite, on reduira l'air HK à ſon état naturel, & ſur le champ on le rendra deux fois plus dilaté; ce qui ne ſera jamais diminuer ſa force élaſtique que de moitié, & la rendre égale au poids de 16 pieds d'eau.

Ce ſera la même choſe dans une infinité d'autres cas; l'eau s'arrêtera à une certaine hauteur; & il ne ſera jamais difficile de déterminer *les points d'arrêt*, auſſi-tôt que le jeu du piſton ſera *donné*, de même que ſa hauteur au-deſſus de la ſurface de l'eau. Lorſque l'eau s'arrête, il faut néceſſairement, ainſi qu'on vient de le voir, qu'il y ait un équilibre parfait entre tout le poids de l'atmoſphere d'un côté qui s'appuye ſur la ſurface extérieure OL, & de l'autre le poids de la colomne d'eau BK qui tend à redeſcendre, aidée outre cela de l'effort que fait l'air qui eſt au-deſſus en KI, pour ſe dilater encore davantage, & qui pouſſe en bas la colomne KB. Cet air dans ſon état naturel occupoit l'eſpace HK; mais lors qu'on hauſſe le piſton, il occupe tout l'eſpace KI. Pour ſçavoir combien il a encore de force élaſtique, après ſa dilatation, il n'y a qu'à faire cette analogie; KI eſt à HK, comme ſa force élaſtique dans ſon état naturel, égale à la peſanteur d'une colomne d'eau de 32 pieds de hauteur, & que nous exprimerons par 32, eſt à $\frac{HK \times 32}{KI}$, pour l'effort que fait encore l'air KI. Or ajoutant cet effort avec la peſanteur de la colomne BK qu'on peut exprimer par ſa hauteur même, nous aurons $\frac{HK \times 32}{KI} + BK$ pour la force totale avec laquelle l'eau tend à ſortir par le bas de la pompe. Mais elle en eſt empêchée par la preſſion de l'atmoſphere ſur la ſurface OL; & cette

Digitized by Google

preſſion étant exprimée par 32 pieds, nous aurons dans l'état d'équilibre l'équation $\frac{HK \times 12}{KI} + BK = 32$, & ſi on multiplie de part & d'autre par KI, il viendra $HK \times 32 + BK \times KI = KI \times 32$; & $BK \times KI\ (= KI \times 32 - HK \times 32) = IH \times 32$. Ainſi on voit que pour trouver le point d'arrêt K, ou que pour obtenir le cas de l'équilibre entre la peſanteur de l'atmoſphere & la force totale avec laquelle l'eau tend à redeſcendre dans la pompe, il n'y a qu'à partager la plus grande élevation BI du piſton en deux parties BK & KI qui ſoient telles que leur rectangle ſoit égal à celui de 32 pieds par l'étendue HI du jeu même du piſton; ce qu'on peut exécuter par une conſtruction très-ſimple. Fig. 30.

Le cas de l'équilibre a lieu lorſque $BK \times KI = IH \times 32$. Mais ſi au lieu de la premiere équation $\frac{HK \times 12}{KI} + BK = 32$, on ſupoſe que l'effort extérieur que fait le poids de l'atmoſphere pour élever l'eau dans la pompe, effort qui eſt exprimé par le ſecond membre, eſt moindre que l'effort que fait l'eau pour deſcendre, pouſſée qu'elle eſt par l'air intérieur qui eſt au-deſſus, on aura $\frac{HK \times 12}{KI} + BK > 32$ pour tous les cas où l'eau doit retomber; & on en déduira $BK \times KI > IH \times 32$. On trouvera au contraire $BK \times KI < IH \times 32$ pour tous les cas où la pompe doit produire ſon effet en élevant l'eau. Or il ſuit de là qu'il ſuffit de déterminer le point d'arrêt indiqué par l'équation $BK \times KI = IH \times 32$, pour faire le partage entre les cas où la pompe éleve l'eau & ceux où elle la laiſſe redeſcendre.

Ayant tiré une droite AB (Fig. 31.) pour repréſenter la hauteur de la pompe, & pris ſur cette ligne l'eſpace HI pour repréſenter le jeu du piſton dont HB marque la moindre hauteur au-deſſus de la ſurface de l'eau & BI la plus grande; il n'y a qu'à porter au-deſſus du point I l'eſpace IM de 32 pieds. Si la pompe étoit deſtinée à ſervir ſur les plus hautes montagnes, ou dans les cavernes les plus profondes, il ne faudroit pas faire IM de 32 pieds, mais de la Fig. 31.

Fig. 31. hauteur de la colomne d'eau qui fait équilibre avec la pesanteur de l'atmosphere dans ces endroits, ou qui est environ 14 fois plus grande que la hauteur du mercure dans le Barométre. On décrira ensuite le demi-cercle HNM sur HM comme diamétre, & élevant la perpendiculaire IN au point I de BM, le quarré de cette perpendiculaire sera égal au rectangle du jeu HI du piston par 32 pieds. Ainsi pour diviser BI en deux segmens BK & KI dont le rectangle soit égal à celui de HI par 32 pieds; il n'y a qu'à faire ce premier rectangle égal au quarré de IN. On tracera pour cela le demi-cercle IRB sur IB comme diamétre, & tirant N*r* parallelement à IB, & abaissant des points où cette ligne coupe la demie circonference IRB des perpendiculaires sur IB, on aura en K & en *k* deux points d'arrêt: car les rectangles de B*k* par *kI*, ou de BK par KI seront l'un & l'autre égaux au quarré de KR ou de IN qui est égal au rectangle de HI par l'espace IM de 32 pieds. C'est-à-dire donc que lors qu'on fera agir la pompe, l'eau montera jusqu'en *k*, mais ne montera pas plus haut. Elle s'arrêtera également en K; au lieu que dans tous les points d'entre deux, elle retomberoit. Au-dessus & au-dessous de l'espace *k*K la pompe doit élever l'eau, parce que BK × KI < IH × 32; au lieu que dans l'espace *k*K, elle doit être privée de son effet, & l'eau doit retomber; parce que BK × KI > IH × 32. Plus le jeu IK du piston est grand, les autres conditions restant les mêmes, plus IN est grande & plus les points R & *r* deviennent voisins l'un de l'autre, de même que K & *k*. Mais si le jeu du piston étoit assez grand, ou si IB étoit assez petite, pour que NR ne coupât plus la circonference IRB; alors il n'y auroit plus de point d'arrêt ni d'espace *k*K à craindre.

Nous pouvons de là inferer cette regle, que pour que l'effet de la pompe soit infaillible, il faut que la moitié de BI soit moindre que IN; ou ce qui revient au même, qu'il faut que le quarré de la moitié de la hauteur du piston, lorsqu'il est élevé, soit moindre que le rectangle de son jeu HI par 32 pieds ou par IM. Si le jeu du piston est de

Digitized by Google

deux pieds, le rectangle dont il s'agit, ſera de 64, & il faudra par conſéquent que BI ne ſoit pas de 16 pieds. On pourroit pour plus de ſûreté mettre la ſoupape C (Fig. 30.) tout-à-fait en bas du corps de pompe & faire enſorte que le piſton vînt y toucher. Alors la pompe ne manqueroit jamais : car lorſqu'on tireroit le piſton en haut, ce ne ſeroit plus de l'air dilaté & capable d'un certain reſſort qui ſe trouveroit au-deſſous ; ce ſeroit du vuide ou de l'éther dont l'action ne doit pas être comptée & qui ne s'oppoſeroit point à l'élevation de l'eau. Mais d'un autre côté il faudroit travailler beaucoup en pompant, à cauſe de la plus grande colomne d'eau que le piſton auroit à élever chaque fois : cette colomne auroit toute la hauteur CG. Une des principales attentions qu'on doit avoir c'eſt de remedier à la négligence des ouvriers qui s'occupent dans nos ports à conſtruire ces inſtrumens. Ils les font toujours avec ſi peu de juſteſſe, qu'il s'en faut ſouvent beaucoup que le piſton ne rempliſſe exactement le corps de la pompe ; cela eſt cauſe qu'il faut verſer l'eau dans l'eſpace AD afin d'interdire à l'air extérieur toute entrée, & il faut encore que les mouvemens des Matelots qui font agir le piſton ſoient extrémement vifs. On eſt obligé dans les meilleurs Vaiſſeaux d'avoir recours à la pompe de tems en tems, quelquefois d'heure en heure, quelquefois plus ſouvent ; exercice qui eſt ſi penible que rien ne fatigue davantage l'équipage. Fig. 31.

On gagneroit conſidérablement à faire les pompes avec plus de ſoin, à faire enſorte que les deux ſoupapes ſe fermaſſent exactement, & ſur tout à donner aſſez de groſſeur au bas du piſton, pour que l'air ne trouvât point de paſſage autour. Il eſt vrai qu'il y auroit enſuite un plus grand frotement à vaincre ; mais les Matelots ayant la liberté de travailler plus à loiſir, pourroient faire en trois ou quatre fois plus de tems, ce qu'ils ſont obligés de faire maintenant en peu de minutes, & le travail dont il s'agit n'auroit plus rien de pénible. Quelques perſonnes ont cru qu'on pouvoit mettre ſur les deux côtés du Vaiſſeau deux eſpe-

Digitized by Google

ces de Moulins, qui tournant par le choc de l'eau, pendant que le Navire fait sa route, fissent jouer les pompes. Il n'y a point de doute que ce moyen ne réussit, malgré quelques inconveniens considérables auxquels il seroit souvent sujet: dans le roulis ou dans les balancemens que le Navire fait d'un côté à l'autre, un des Moulins entreroit presque entierement dans l'eau, & l'autre en sortiroit. Outre cela le sillage en seroit considérablement retardé; & il semble, lorsqu'un Navire reçoit ou *fait beaucoup d'eau*, qu'on doit s'attacher au contraire à rendre la viteſſe de sa marche encore plus grande, afin de sortir plus promptement de péril.

C'est ce qui me fait soupçonner qu'au lieu de se servir de l'effort de l'eau pour faire agir les pompes, il vaudroit incomparablement mieux employer une autre force. Je ne sçai si on ne pourroit pas sans trop de difficulté appliquer sur la poupe en arriere de l'artimon une espece de Moulin à vent, ou avoir au moins toujours prêtes les pieces nécessaires pour en composer les volans ou les aîles; & on les disposeroit dans les besoins pressans. Ces volans seroient placés à l'extrémité d'un axe coudé situé horisontalement, & une corde qui y seroit attachée & qui passeroit par quelques poulies pour changer sa direction, viendroit se rendre au-dessus de la pompe, & suspendroit le piston, lequel monteroit lorsque la corde le tireroit en haut, & descendroit au contraire par son propre poids ou par l'action de quelques Matelots, lorsque la corde se lâcheroit, pendant l'autre demi-tour de l'axe coudé. Cette machine, qui comme on le voit, est extrémement simple, agiroit toujours & pourroit faire par la continuité & la durée de son exercice, ce qu'on ne réussit à faire chaque jour que par repriſes, mais avec un travail sous lequel la plus grande force des hommes ne succombe que trop souvent.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Des Ancres & des Cables.

I.

NOUS ne prétendons pas expliquer généralement l'uſage de tous les *apparaux ;* il ſuffit que nous parlions des plus conſidérables, & de ceux principalement ſur leſquels nous avons quelques remarques à faire. Les cables & les ancres ſont d'un uſage indiſpenſable, pour retenir le Vaiſſeau dans une rade, où il eſt quelquefois expoſé à toute la fureur du vent & de la Mer. Chaque Navire a au moins cinq ou ſix cables de différentes groſſeurs ; & pour regler celle du plus gros qu'on nomme ordinairement le *maître cable*, on lui donne de circonférence la vingt-quatriéme partie de la largeur du Navire ; ou ce qui revient au même, on lui-donne autant de pouces de circonférence, que la moitié de la longueur du maître bau contient de pieds. Supoſé que le Vaiſſeau ait 48 pieds de largeur, on doit donner ſelon cette regle, 24 pouces de circonférence à *ſon maître cable*, & on ne lui en donneroit que 10 ſi le Navire n'avoit que 20 pieds de bau. Les cables ſuivans ont quelques pouces de moins de groſſeur ; & cette groſſeur ſe déſigne toujours dans la Marine par la circonférence. En France, les cables les plus gros comme ceux qui le ſont moins, ont également 600 pieds de longueur ou 120 braſſes ; car la braſſe eſt toujours priſe pour une meſure de cinq pieds.

Il ſeroit preſque toujours à propos que les cables fuſſent encore plus longs ; car on eſt ſouvent obligé d'en mettre pluſieurs à l'extrémité l'un de l'autre par les raiſons que nous expliquerons plus bas. Mais il eſt aſſez difficile de les faire d'une ſeule piece de plus de 600 pieds ou de 120 braſſes. Les premiers fils dont ils ſont formés ſont plus

Digitized by Google

longs d'une moitié ; ils ſont de 180 braſſes, lorſqu'on veut que le cable ſoit de 120 ; de ſorte qu'ils perdent un tiers de leur longueur, par la maniere dont on les tourne en les *cablant*. Il faudroit donc que les premiers fils fuſſent plus longs à proportion, ſi on vouloit donner plus de longueur aux cables ; & cette longueur feroit naître dans l'exécution diverſes difficultés.

Une remarque qui peut ſervir dans différentes rencontres, c'eſt que le poids en livres d'une braſſe de cordage eſt à peu près la cinquiéme partie du quarré de ſa groſſeur exprimée en pouces. Cette regle ſera toujours aſſez exacte ; principalement lorſque le cordage ſera bien fait & ne ſera pas trop chargé de gaudron. * Pour ſçavoir, par exemple, combien peſe une braſſe ou une piece de 5 pieds de long, d'un cable qui a 24 pouces de circonférence, il n'y a qu'à multiplier 24 par 24 ; & en prenant la cinquiéme partie du produit, on aura 115 $\frac{1}{5}$ livres pour la peſanteur de cette piece ; & tout le cable qui eſt 120 fois plus long peſera donc 13824 livres. Si le cable a 10 pouces de circonférence, un morceau d'une braſſe peſera par la même raiſon 20 livres, qui eſt la cinquiéme partie du quarré de 10 ; & le cable entier peſera par conſéquent 2400 liv. On peut auſſi trouver immédiatement ce dernier poids, en multipliant le quarré de la groſſeur toujours par 24.

* Les Cordiers ſont intereſſés à faire entrer trop de gaudron dans leurs cables, parce qu'ils vendent enſuite cette matiere au poids, le même prix que le chanvre, quoi qu'elle leur coute moins.

II.

Les cables ne ſont utiles que par le moyen des ancres, dont on voit la forme dans la figure 32, qui les rend propres à s'engager dans le ſable ou dans la vaſe du fond de la Mer. Les ancres en France, en Angleterre & en Hollande ne ſont que de fer forgé ; mais on en voit ſouvent de bronze en Eſpagne, de même que dans les Ports de la Mer du Sud. La partie AD ſe nomme la *verge* à l'extrémité de laquelle il y a une boucle ou *organeau* E. Les *deux bras* ſont AB & BC, & les parties KC & IB ſont les *pattes*. On place toujours perpendiculairement à l'extrémité D de la verge & dans le ſens perpendiculaire aux bras

Fig. 32.

Digitized by Google

bras une piece de bois FG qui eſt de même longueur que la verge, & qui ſert à faire tomber infailliblement l'ancre ſur une de ſes pattes; on nomme cette piece de bois le *jas*. Les deux bras forment ordinairement un arc de cercle dont le centre H eſt aux trois huitiémes de la verge, à commencer du point A; & chaque bras eſt auſſi égal aux trois huitiémes de la verge, ou eſt égal au rayon; de ſorte que les deux enſemble forment un arc de 120 degrés. Les pattes ont de longueur la moitié de celle des bras & leur largeur eſt les $\frac{3}{5}$ de la longueur du même bras. A l'égard de la groſſeur, on donne ordinairement de circonférence à la verge dans ſon *encolure* en A, & c'eſt la même choſe aux bras à leur naiſſance, la cinquiéme partie de ſa longueur; vers l'autre extrémité, on ne donne à la verge que les deux tiers de cette groſſeur, & chaque bras en a les trois quarts auprès de ſa patte. Ces dimenſions doivent être un peu augmentées, lorſque le fer n'eſt pas de bonne qualité; & elles devroient l'être beaucoup plus, ſi au lieu de fer forgé dont on ſe ſert toujours, on vouloit ſe ſervir de fer fondu.

Lorſque les proportions précédentes ſont obſervées, une ancre de 16 $\frac{1}{4}$ pieds de longueur peſe environ 7000 livres: je dis environ, parce que l'ouvrier en n'affoibliſſant que très-peu certaines parties, ou en leur donnant un peu plus de force, peut faire varier conſidérablement le poids. Mais ſi toutes les ancres ſont ſemblables, comme on tâche de les faire, leur peſanteur doit ſuivre la proportion du cube de leur longueur. Pour trouver cette peſanteur en livres par un moyen aſſez commode, il n'y a qu'à meſurer la longueur de l'ancre en pouces, prendre le cube de cette longueur, & le diviſer toujours par 1160. Ainſi ſupoſé que la verge de l'ancre ait 10 pieds de longueur ou 120 pouces, il n'y a qu'à diviſer 1728000 qui eſt le cube de 120 par 1160, & il viendra 1545 livres pour la peſanteur de l'ancre dont il s'agit. Lors qu'au lieu de connoître la longueur, on connoîtra la peſanteur en livres, il n'y aura qu'à la multiplier toujours par 1160 & extrayant la racine

cubique du produit, on aura la longueur de l'ancre exprimée en pouces.

Pour faire ces deux opérations avec plus de facilité, il n'y a qu'à tripler le Logarithme du nombre des pouces de la longueur de l'ancre & en retrancher toujours le nombre constant 3.0644580, pour avoir le Logarithme du nombre de livres que pese l'ancre. Lorsqu'au contraire la pesanteur de l'ancre sera donnée en livres, il n'y aura qu'à ajouter toujours à son Logarithme le nombre 3.0644580, & prenant le tiers de la somme, il viendra le Logarithme de la longueur de l'ancre en pouces.

Les moindres Vaisseaux ont cinq ou six ancres, & les plus grands en ont ordinairement huit. On a dans la Marine diverses regles pour déterminer la grandeur de celles qui doivent servir à chaque Navire. Pour des raisons qui regardent la commodité de la manœuvre, on ne peut guéres donner de longueur à la plus grosse ou à la *maîtresse ancre* pour parler comme les Marins, que les $\frac{1}{4}$ du bau, & on s'en est fait une regle. Une autre maxime, mais qui ne s'accorde pas avec la premiere, comme nous le montrerons dans un instant, c'est que l'ancre ait de pesanteur la moitié de celle du cable. Ainsi pour les Vaisseaux du premier rang qui ont 48 pieds de bau, & dont le cable a 24 pouces de circonférence, & pese 13824 livres, la maîtresse ancre doit peser 6912 livres, & les autres ancres doivent de même avoir la moitié du poids du cable auquel on les applique. La plus petite des ancres est celle qui sert à *toüer*, ou celle qui sert de point fixe dans une Rade, ou dans un Port, pendant qu'on fait avancer le Navire en tirant sur un cordage appliqué à cette ancre. L'ancre à *toüer* a le tiers de la pesanteur de la maîtresse ancre; de sorte que dans les Vaisseaux du premier rang, elle doit peser environ 2300 livres & avoir environ 11 pieds 7 pouces de longueur.

Il est très-facile de reconnoître que les deux regles que nous venons d'indiquer, ne peuvent pas se concilier; & cependant on les joint tous les jours l'une à l'autre, comme si

Digitized by Google

elles donnoient le même réſultat, ſans que l'expérience qui devoit ſuffire pour détromper les Marins ſur cette prétendue conformité, les en ait fait apercevoir. Lors qu'on donne de longueur à la plus groſſe ancre, les $\frac{1}{4}$ du bau ou de la largeur du Navire, la peſanteur de l'ancre eſt proportionnelle à la ſolidité des Vaiſſeaux ſuppoſés ſemblables. Si le Navire eſt deux fois plus large, l'ancre peſera 8 fois davantage. Mais ſelon la ſeconde regle la peſanteur de l'ancre eſt la moitié de celle du cable; & la peſanteur du cable eſt ſeulement proportionnelle au quarré du bau; puiſque la ſeule groſſeur du cable eſt différente dans les grands & dans les petits Navires, & que le cable a toujours la même longueur (120 braſſes). Lorſque le Navire eſt donc deux fois plus large, le cable eſt ſimplement quatre fois plus peſant, & la peſanteur de l'ancre qui n'eſt auſſi plus grande que dans le même rapport, eſt par conſéquent deux fois moindre que ſelon la premiere regle. Cette exceſſive diſconvenance n'eût pas ſans doute échapé à l'attention des Marins, ſans qu'on ſe contente toujours dans la Marine d'obſerver groſſierement l'une & l'autre regle, & qu'on a attribué à ce défaut d'obſervation, les différences qu'on aura quelquefois apperçuës.

Quoique la ſeconde regle rende les ancres beaucoup moins peſantes dans les grands Vaiſſeaux, on peut néanmoins s'y conformer; parce que cette peſanteur eſt ſuffiſante, auſſi-tôt que le fond dans lequel l'ancre doit s'engager, n'eſt pas de pur ſable fin & qu'il eſt mêlé de terre & de vaſe. Lorſque le fond eſt mauvais, on a le ſoin d'employer pluſieurs ancres, & quelquefois on garnit leurs pattes avec des planches qui en s'engageant dans le ſable ou dans la vaſe, forment une plus grande réſiſtance; c'eſt ce qu'on nomme les *empeneler*, quoi qu'on employe plus ſouvent ce nom, lors qu'on met deux ancres à la ſuite l'une de l'autre. On charge auſſi quelquefois l'ancre ou l'extrémité inférieure du cable de divers poids; & enfin ce qui eſt beaucoup plus ordinaire, & ce qui réuſſit preſque toujours, on met pluſieurs cables bout à bout. Ils frottent ſur le fond

dans preſque toute leur longueur, à cauſe de leur grande peſanteur; & ce frottement eſt cauſe qu'il ne tombe ſur l'ancre qu'une partie beaucoup moindre de l'effort que fait le Navire. On *ne moüille*, ou on ne jette l'ancre que dans les endroits où la Mer n'a guere que 40 braſſes de profondeur; & encore eſt-il à propos auſſi-tôt que la profondeur de la Mer approche de ce terme, de mettre toujours deux cables bout à bout l'un de l'autre; ſi on n'en mettoit qu'un, ſa partie inférieure ne s'appuyeroit preſque point ſur le ſol, & l'ancre ſeroit obligée de ſoutenir toutes les ſecouſſes qui ſe tranſmettroient juſqu'à elle. Elle ne ſe dégageroit pas entierement du fond, mais elle le laboureroit, ou elle *chaſſeroit* pour parler en terme de Marine; & le Navire pourroit aller ſe perdre ſur les premiers écueils.

Fig. 33. La figure 33 doit rendre tout ceci plus ſenſible. AD eſt l'ancre au fond de la Mer; & DMN eſt le cable qui retient le Vaiſſeau dont nous n'avons repréſenté que la prouë; on voit en N le trou ou *l'écubier* par lequel paſſe le cable pour entrer entre les deux ponts inférieurs. Le cordage AB appliqué à l'encolure ou à la croiſée A, ſe nomme *l'orin* qui ſert quelquefois à lever l'ancre, à *la lever par les cheveux* & qui ſert auſſi à retenir la *boüée* ou le tonneau vuide S qui indique l'endroit où il faut chercher l'ancre. Mais pour revenir à ce que nous diſions de la longueur du cable, il eſt clair que ſi cette longueur eſt deux ou trois fois plus grande, l'ancre ne ſera tirée qu'horiſontalement & le ſera d'ailleurs avec moins de force, parce que l'effort ſera diminué de tout le frottement que ſouffre la partie DM contre le fond. Ce ſera préciſement la même choſe, que lors qu'une longue corde traîne ſur la terre; il ne faut à ſon extrémité qu'une très-petite pierre pour la retenir, lors qu'on la tire par l'autre bout; parce que la ſeule réſiſtance que fait la terre au mouvement de la corde, forme déja un très-grand obſtacle.

Un ſecond avantage, lors qu'on met pluſieurs cables au bout les uns des autres, c'eſt qu'ils ſe trouvent moins expoſés à ſe rompre. Comme ils ſont ſitués plus horiſontale-

Digitized by Google

ment dans toutes leurs parties, leur force s'oppose plus efficacement ou plus directement au mouvement du Navire produit par le choc des vagues : au lieu que lors que le cable est moins long, il se trouve plus vertical, & il faut qu'il résiste davantage ; parce qu'une plus grande partie de sa résistance se trouve perdue. Suppoſé que l'espace LO représente la force avec laquelle le Vaisseau tend à reculer, & qu'on acheve le rectangle LOPQ qui ait la portion LP du cable pour diagonale & qui soit formé par les deux lignes horisontales LO, PQ & les deux verticales OP ; LQ, la diagonale LP représentera l'effort que le cable doit soutenir, & on voit qu'elle est plus grande que OL, & que plus le cable approche d'être vertical, plus elle augmente, quoique OL ne change pas. Il est donc évident que le cable plus court, est chargé d'un plus grand effort, & doit être plus gros & plus fort ; car s'il n'avoit que la même grosseur, il ne fourniroit que la même résistance, selon sa propre direction ; & il n'en fourniroit pas assez dans le sens horisontal, selon lequel le Navire tend à s'éloigner. Il n'est question, il est vrai, que de résister à l'effort horisontal OL ; mais le cable, à cause de son inclinaison, ne peut résister à cet effort, qu'en fournissant assez de force, pour soutenir tout l'effort PL. Fig. 33.

Le cable est encore moins exposé à se rompre lorsqu'il est plus long, parce qu'il est plus capable de s'étendre ; & que cette nouvelle extension suffit souvent pour differer sa rupture & pour l'éviter, en donnant le tems à l'effort que fait le Navire de s'épuiser ou de s'amortir. Un cable plus court n'étant pas capable d'un nouvel allongement, doit nécessairement se rompre aussi-tôt qu'il est exposé à un effort trop grand, parce qu'il faut qu'il soutienne tout cet effort & tout à coup : au lieu que le cable deux ou trois fois plus long s'allonge de plusieurs toises avant qu'il y ait rien à craindre de sa part : il fait cependant de la résistance en s'allongeant, sa force élastique est mise en action, & la secousse du Navire est souvent détruite, & son effort consommé peu

Fig. 33. à peu, avant que le cable ſoit parvenu à ſon dernier terme d'extenſion. Ainſi le cable, principalement lorſqu'il eſt très-long, eſt comme une eſpece de reſſort dont une partie de la force conſiſte à ceder avec facilité & à ſe remettre dans ſon premier état, auſſi-tôt que rien ne s'y oppoſe.

Enfin on peut éviter la perte du Vaiſſeau par un dernier endroit, lorſqu'on met pluſieurs cables à l'extrémité les uns des autres. Non-ſeulement l'ancre eſt moins ſujette à *chaſſer*, non-ſeulement le cable eſt moins ſujet à ſe rompre ; mais il y a encore moins à craindre pour le Vaiſſeau même, lorſque les premiers accidens n'arrivent pas, & que cependant la Mer eſt extremement agitée. Plus l'eau pouſſe le Navire dans le ſens horiſontal ſelon PQ ou OL, plus le cable eſt obligé de réſiſter dans le ſens de ſa direction. Mais la réſiſtance qu'il fait, ſe décompoſant, le Navire ſe trouve tiré en bas en même tems par la force relative verticale OP ou LQ ; & cette force eſt quelquefois aſſez grande, pour faire plonger entierement la prouë. Cette force verticale qui eſt ſi redoutable & que divers Marins n'ont que trop experimentée ſans la connoître, doit augmenter ou diminuer, ſelon que les vagues frapent le Navire avec plus ou moins de force ; c'eſt-à-dire, que plus la prouë eſt frapée par les vagues plus elle ſe plonge. Il eſt clair auſſi que ces deux forces ſont égales, la verticale PO & l'horiſontale PQ, lorſque le cable fait avec l'horiſon, en entrant dans le Vaiſſeau, un angle de 45 dégrés : Si le cable au contraire eſt beaucoup plus long & plus couché, la force verticale qui dépend de l'autre, ſe trouvera beaucoup plus petite, elle ſera peut être trois ou quatre fois moins grande ; & alors il y aura beaucoup moins à craindre.

Il ne reſte plus qu'à dire un mot de la maniere dont le cable eſt arrêté dans le Navire. On pourroit penſer qu'il l'eſt principalement par un nœud fait avec beauconp de ſoin. Il eſt vrai que ſon extrémité eſt *amarée* en bas, crainte de tout évenement, dans l'endroit même du fond de cale où on le ſerre ; il eſt vrai encore qu'il eſt ſaiſi par diverſes

Digitized by Google

cordes d'une mediocre groſſeur qu'on nomme *boſſes* & qu'on *fouëte* deſſus, ou dont on l'entoure de diſtance en diſtance : mais il eſt principalement retenu par *les bittes* qui ſont deux pieces de bois verticales traverſées par une troiſiéme placée horiſontalement ; & il eſt arrêté par ſon frotement contre ces pieces de bois, ſur leſquelles il fait quelques tours en les entrelaſſant. Tel eſt l'effet de la roideur du cable qui ne ſe plie qu'avec une extrême difficulté, à cauſe de ſa groſſeur, & qui ne pourroit gliſſer qu'en ſe pliant davantage. On juge aſſez que *les bittes* doivent être arrêtées fortement ; & c'eſt pour cela qu'on les fait deſcendre juſqu'au fond du Vaiſſeau.

CHAPITRE IV.

De la maniere dont les Rames agiſſent.

QUELQUE ſimple que ſoit l'action des Rames, il il n'eſt pas aiſé de l'expliquer ; je ne ſache pas que depuis qu'Ariſtote s'y eſt trompé dans ſes Problêmes, on ait donné juſques à preſent une explication entierement exacte de la Mécanique de cet inſtrument. Le Lecteur ne ſe convaincra auſſi que trop que cette matiere contient des queſtions extrémement embarraſſantes, que perſonne n'a examinées juſques à preſent, & qu'on ne peut les accommoder à notre portée qu'en éludant une partie de leurs difficultés ; tant il eſt vrai qu'il ne faut pas toujours juger des choſes à la premiere vûe. On ne s'eſt point ſervi de rames dans les plus grands Navires ; on ne les a employées que dans les plus petits ; mais comme elles ſont tellement propres à la Navigation, qu'on ne les trouve nulle autre part, nous ne croyons pas devoir les obmettre dans l'énumération, quoique ſuccinte, que nous entreprenons de faire des Apparaux. On peut ſe diſpenſer d'en faire la deſcription, puiſque tout le monde en connoît la figure ; ainſi on

Digitized by Google

commencera par examiner à quelle espece de levier on doit les rapporter.

I.

C'est le Rameur qui fournit la force motrice ; l'endroit de la rame qui porte sur le bord du Navire, est immobile, & la pale en frapant l'eau, trouve une résistance que le Rameur ne sent que trop. Ainsi il paroît que dans la premiere action, ou que pour comparer l'effort du Rameur avec la résistance que trouve la pale, en choquant l'eau, il faut considerer la rame comme un levier de la premiere espece, ou comme un levier dont l'hypomoclion ou le point d'appui, est entre la puissance & le fardeau. La pale doit avancer contre l'eau, en la frapant avec plus de viteſſe, jusqu'à ce qu'il se trouve équilibre, entre la résistance qu'elle éprouve & l'effort du Rameur. Si les deux parties de la rame sont de même longueur, la partie qui est en dedans de la Galère & celle qui est en dehors ; la résistance ou l'impulsion de l'eau sera égale à l'effort du Rameur : Si la partie extérieure est deux fois plus grande, comme elle l'est souvent, il faudra en recompense que le Rameur fasse deux fois plus d'effort. Sachant par conséquent la longueur des deux parties de la rame, & l'effort que fait le Rameur, il est toujours facile de découvrir avec quelle force la pale rencontre l'eau.

Si le Rameur avoit un point fixe en l'air, s'il étoit possible qu'il se soutint au-dessus de la Galère sans y toucher, nous convenons bien qu'il faudroit alors considerer son action comme appliquée à un levier de la seconde espece ; ainsi que l'ont voulu le P. Fournier & plusieurs autres personnes. La résistance de l'eau contre la pale fourniroit le point d'apui, pendant que le fardeau seroit représenté par le bord du Navire qu'il s'agiroit de faire avancer ; de sorte que l'action du Rameur se trouveroit avoir d'autant plus d'énergie ou de moment que toute la rame seroit plus longue par rapport à sa partie extérieure. C'est ce qui arriveroit, nous le repetons, si le Rameur avoit une position

stable

ſtable en l'air : au lieu que l'explication n'eſt plus admiſſible auſſi-tôt que le Rameur eſt ſoutenu par la Galère & y tient ; on peut s'en convaincre aiſément en l'obligeant d'exercer toutes ſes forces ſur l'endroit même de la rame qui porte ſur le bord ou ſur *l'apoſtis*. Car bien loin que ſon action ait ſon effet entier comme dans le levier de la ſeconde eſpece, lorſque la puiſſance & le fardeau ſont à la même diſtance du point d'apui, elle n'en aura abſolument aucun, ou pour faire avancer le Navire ou pour faire remuer la rame. Démonſtration inconteſtable que le point d'apui ou l'hypomoclion, au lieu d'être à l'extrémité de la rame, eſt dans le point où elle porte ſur le flanc de la Galère, & que le levier eſt de la premiere eſpece.

Mais on ne fait agir la rame que pour faire avancer le Navire. Comment ce ſecond effet ſe produit-il ? il n'y a plus maintenant de levier à conſiderer. Le Rameur étant tourné vers la poupe, tire à lui le bout de la rame, en ſe renverſant & en ſe jettant vers la proüe ; & la pale avance en même tems vers l'arriere, en choquant l'eau avec force. Nous en ſommes reſtés à ce choc, qui eſt préciſement le même que ſi la pale étant immobile, l'eau venoit la rencontrer du côté de la poupe. Or toutes les impulſions que reçoivent en même tems les rames agiſſent dans le même ſens ; toutes les pales ſont pouſſées en même tems vers l'avant, & l'impulſion ſe communiquant à la Galère, elle doit avancer & accelerer ſa viteſſe, tant qu'elle eſt plus pouſſée par cette action de l'eau contre les rames, qu'elle n'eſt retardée par le choc de l'eau contre ſa proüe. Quand le mouvement eſt une fois uniforme, il y a équilibre ou égalité entre ces deux forces ; c'eſt-à-dire, que la réſiſtance de l'eau contre la proüe, ne retranche ni de plus grands ni de moindres degrés de la viteſſe du ſillage, que ceux que tend à y ajouter le choc de l'eau contre les rames qui ſe fait en ſens contraire. Il ſuit de tout cela qu'on peut diviſer toute la Mécanique de la rame en deux actions. La rame eſt un levier de la premiere eſpece, tant qu'il s'agit de comparer l'effort du Rameur avec la force

de l'impulsion de l'eau sur la pale, & c'est ce qu'avoit vû Aristote. Mais cette impulsion s'exerce ensuite toute entiere à faire avancer la Galère sans l'intervention d'aucune machine qui l'altere: c'est précisement la même chose que si l'eau venoit de vers la poupe, choquer les rames en les poussant de l'avant; & il est évident que cette impulsion doit avoir son effet.

Fig. 34. Dans la figure 34 le bord du Navire est représenté par AB. Le Rameur en tirant de F en *f* le bout de la rame FE; fait que la pale DE, en prenant la situation D*e*, est choquée par l'eau, comme si l'eau venoit la fraper selon la direction CG; & il y a équilibre de part & d'autre de *l'apostis* D, entre l'effort du Rameur & l'impulsion que reçoit la pale. Cependant il faut remarquer qu'il y a une partie de la force du Rameur perdue, & qui n'entre pas dans cet équilibre dont nous parlons. C'est la force qui est occupée à mouvoir la rame même. Ce retranchement étant fait, il n'y a qu'à multiplier l'effort du Rameur par la distance au point d'apui D, & on aura son moment qui sera parfaitement égal à celui de l'impulsion de l'eau sur la pale, ou au produit de cette impulsion par la distance du centre dans lequel elle se réunit à l'hypomoclion. D'un autre côté cette impulsion que souffre la rame est égale à la résistance de l'eau contre la proüe; mais il faut faire réflexion que la rame n'agit que par reprise, au lieu que la résistance que fait l'eau contre la proüe est continuelle. Le mouvement uniforme d'une Galère, est donc un mouvement qui s'accelere à chaque coup de rame, & qui se ralentit dans l'intervale suivant. Mais comme la somme des petites accelerations est égale à celle des petits retardemens, il se trouve toujours un parfait retour ou une parfaite égalité dans chaque acceleration successive, de même que dans chaque retardement.

L'action des Rameurs dans les Galères, peut se diviser à peu près en trois tems égaux, & il n'y en a qu'un qui est employé à traper l'eau avec la pale. C'est-à-dire, que l'intervale entre les *palades* ou les coups de rames, est à peu près dou-

Digitized by Google

ble de la durée de chaque *palade*. Or comme l'impulsion de l'eau sur les pales doit être égale à la somme de toutes les réſiſtances de l'eau contre la proüe, ou comme il faut que l'impulsion de l'eau sur les pales pendant une ſeconde, par exemple, réſtitue à la viteſſe de la Galère tout ce que lui a fait perdre la reſiſtance de l'eau contre la proüe pendant trois ſecondes, il s'enſuit qu'il n'y a pas d'équilibre entre les deux forces dans chaque inſtant; mais ſeulement lorſqu'on les conſidere chacune pendant la durée entiere de leur exercice. Il n'eſt pas difficile de s'aſſurer que l'action ſimultanée de tous les Rameurs eſt avantageuſe; & qu'on perdroit quelque choſe s'ils agiſſoient les uns après les autres, afin de pouſſer la Galère ſans aucune interruption. Cependant on peut toujours ſupoſer, à ce que je crois, pour rendre l'examen de ces choſes plus facile, que l'action eſt diſtribuée également dans toutes les parties du tems, afin d'avoir un équilibre actuel & continuel entre l'impulſion de l'eau ſur les pales & la réſiſtance de l'eau contre la proüe. De trois ſecondes il n'y en a effectivement qu'une d'employée utilement à procurer la viteſſe du ſillage; mais toute la Chiourme agit à la fois: au lieu de cela il n'y a qu'à feindre qu'elle eſt diviſée en trois claſſes, & qu'il y en a toujours une qui agit dans chaque ſeconde, ſans laiſſer aucune partie de tems oiſive. Fig. 34.

On peut par la force avec laquelle travaille le Rameur, juger de la grandeur de l'impulſion que reçoit la pale, comme nous l'avons déja dit: mais on peut auſſi déterminer la grandeur de cette impulſion d'une maniere immédiate, parce qu'on ſçait de quelle action eſt capable l'eau lorſqu'elle frape ou qu'elle eſt frapée avec une viteſſe connue. Il faut ſeulement faire attention que cette viteſſe n'eſt pas celle que le Rameur réuſſit à donner à la partie extérieure DG, & qu'il faut en retrancher la viteſſe du ſillage. Car pendant que la rame paſſe de la ſituation FE à la ſituation *fe*, la Galère avance peut être de la quantité D*d*; la rame au lieu de ſe trouver dans la ſituation *fe*, ſe trouve en $\phi\epsilon$, & au lieu de choquer l'eau avec la viteſſe G*g*, ne le fait qu'a-

Fig. 34. vec la partiale Gγ. Il ſe preſente enſuite une remarque extrémement importante : c'eſt que cette viteſſe partiale Gγ eſt toujours une partie déterminée de Gg ou de la viteſſe totale du centre G, de celle qui repond à la viteſſe Ff du Rameur ; & que le rapport de l'une à l'autre dépend de celui qu'il y a entre la ſurface de la prouë & l'étendue de toutes les pales. Si la Galère va deux ou trois fois plus vite, ſa prouë étant frapée par l'eau avec une viteſſe deux ou trois fois plus grande & qui ſera toujours repréſentée par Dd ou gγ recevra beaucoup plus d'impulſion, on trouvera beaucoup plus de réſiſtance : mais puiſque cette réſiſtance doit être égale au choc de l'eau contre les rames, il faudra que la viteſſe Gγ avec laquelle ſe fait ce choc, ſoit auſſi deux ou trois fois plus grande. Ainſi c'eſt un Théoreme ou un Lemme auquel on peut avoir recours & qui doit être ſouvent d'uſage ; que *quelque ſoit la viteſſe Gg que le Rameur imprime au centre d'effort G de la pale, la viteſſe γg que reçoit la Galère, & la viteſſe reſtante Gγ avec laquelle la rame frape l'eau, ont toujours entr'elles le même rapport.*

II.

On eſt en état de diſtinguer maintenant les attentions qu'on peut avoir, de celles qu'on peut négliger dans la réſolution de pluſieurs Problêmes qui ſe préſentent ſur ce ſujet, & qui n'ont point été aſſez examinés, quoiqu'ils ſoient auſſi curieux qu'utiles. Une rame étant donnée, on demande s'il faut l'appuyer par ſon point de milieu D, comme l'ont cru quelques perſonnes, pour que le Rameur produiſe le plus grand effet poſſible ? On a de fortes raiſons d'en douter ; car ſi on rend la partie extérieure DG plus longue, & ſuppoſé que le Rameur ne travaille toujours qu'à lui faire parcourir le même eſpace Gg qu'auparavant, il ne ſera point obligé d'en parcourir de ſon côté un ſi grand Ff : & ne ſe donnant pas de ſi grands mouvemens, il aura plus le tems d'inſiſter, & d'exercer toute ſa force, dont il faut effectivement qu'il déploye, pour ainſi dire, une plus grande partie dans chaque partie de l'eſpace, mais il en aura la facilité en agiſſant plus lentement. C'eſt ce

Digitized by Google

qui eſt auſſi en quelque façon juſtifié par l'expérience ; puiſque pendant que la partie intérieure de la rame eſt de 12 pieds de longueur, on fait ordinairement la partie extérieure de 24 dans les Galères. Après tout il faut avouer que nous ne pouvons pas réſoudre la queſtion d'une maniere utile pour la pratique, à cauſe de la trop grande généralité dans laquelle nous ſerions obligés de la laiſſer. Nous nous trouvons principalement arrêtés; parce que nous ne ſçavons pas la relation qu'il y a entre les diverſes viteſſes avec leſquelles le Rameur peut travailler, & la force qu'il peut employer. Il ſeroit de la derniere importance dans pluſieurs autres rencontres de connoître ce rapport, de connoître combien la force des hommes diminue, lorſqu'ils ſont obligés d'agir avec plus de promptitude ; & c'eſt ce que l'Anatomie, quoi qu'extrêmement aidée de la Géométrie dans ces derniers tems, ne nous a point encore apris. On peut exprimer cette relation par les co-ordonnées d'une ligne courbe dont quelques uns des ſymptomes ſe preſentent aiſément ; mais cela n'empêche pas qu'elle ne ſoit également inconnue. Fig. 34.

III.

Un autre Problême plus facile & qui a auſſi un rapport plus immediat à nos beſoins, c'eſt lorſque la force du Rameur & la viteſſe avec laquelle il peut agir, ſont *données* & qu'on demande les dimenſions les plus avantageuſes de la partie extérieure de la rame. La longueur de la partie intérieure doit être reglée ſur la largeur du bâtiment & ſur le plus grand eſpace que le Rameur peut parcourir en ſe renverſant après s'être panché en avant. Mais ce n'eſt plus le même cas que lorſque les dimenſions de la rame étoient données; car il eſt certain qu'il y a ici à gagner tant qu'on peut racourcir la partie extérieure. La pale étant plus voiſine du point d'appui, il faut qu'elle ſoit plus grande, & que ſon choc contre l'eau le ſoit auſſi, pour faire équilibre avec l'effort du Rameur qui eſt toujours le même ; or auſſitôt que la pale choque l'eau avec une force totale ou abſo-

Digitized by Google

lue plus grande, la Galère ne peut pas manquer d'aller
Fig. 35. plus vite. Supposé que Ff (Fig. 35.) soit le plus grand espace qu'on puisse faire parcourir à l'extrémité F, le centre d'effort G de la pale parcourra en même tems l'espace Gg : & il est clair que plus on racourcira DG, plus il faudra donner d'étendue à la pale ; autrement l'impulsion qu'elle recevroit en choquant l'eau avec moins de viteſſe & qui seroit appliqué outre cela à un bras de levier moins long, ne seroit pas capable d'épuiser l'effort des Rameurs qui est constant. Si la partie extérieure DG est trois ou quatre fois plus courte, il faut augmenter la pale dans un assez grand rapport pour qu'elle reçoive trois ou quatre fois plus de choc absolu. Mais les rames étant ainsi poussées par l'eau avec une force trois ou quatre fois plus grande, la Galère doit nécessairement aller plus vite ; elle doit accelerer sa rapidité jusqu'à éprouver aussi trois ou quatre fois plus de résistance du côté de la proüe. On seroit invité par conséquent à racourcir sans cesse la partie extérieure de la rame, afin de pouvoir augmenter l'étendue de sa pale, sans qu'il y a un terme qui arrête. Si pendant l'action des Rameurs, la Galère passe de D en ♪, en parcourant l'espace D♪ égal à Gg, la rame se trouvera dans la situation φ♪G, lorsque le Rameur ne croyoit l'avoir mise que dans la situation fDg ; & le centre d'effort G n'ayant réellement aucune viteſſe pour fraper l'eau, on ne pourroit supléer à ce défaut qu'en faisant la pale infiniment large. Alors la partie extérieure de la rame seroit donc parvenue au terme de sa moindre longueur & à la disposition la plus avantageuse, à laquelle il est vrai qu'on ne peut pas atteindre, puisqu'il n'est pas possible de donner à la pale une largeur infinie. Cependant comme il est toujours à propos d'avoir en vûe ce *minimum* de la longueur qui procureroit le *maximum* de la rapidité du sillage, nous allons tâcher de le déterminer.

Supposons que l'effort des Rameurs distribué dans toutes les parties du tems & appliqué immédiatement à la Galère sans le secours d'aucune machine, lui faſſe parcourir

l'espace D*d*; c'est-à-dire que les Rameurs étant à terre & tirant la Galère par une corde avec le même force qu'ils employent sur les rames, elle parcoure dans le tems déterminé cet espace D*d*. L'effort des Rameurs doit être exprimé par le quarré de cet espace: car la résistance que trouve un corps à fendre un milieu, est quatre fois ou neuf fois plus grande, lorsqu'il se meut deux ou trois fois plus vite. Cette résistance est proportionnelle au quarré de la viteſſe, comme on le montrera dans le troisiéme Livre; & la force destinée à vaincre cette résistance doit suivre le même rapport. On a donc $\overline{D\,d}^2$ pour l'effort absolu ou actuel des Rameurs, appliqué à l'extrémité F du bras FD de levier; & pour sçavoir l'impulsion de l'eau en G contre la rame qui est capable de faire équilibre avec cet effort actuel, on n'a qu'à faire cette analogie, DG est à DF, comme $\overline{D\,d}^2$ est à $\frac{DF \times \overline{D\,d}^2}{DG}$ pour l'action absolue de l'eau contre la pale. Mais on souhaite que cette impulsion soit telle, qu'elle imprime à la Galère une viteſſe D♪ qui soit égale à celle Gg du centre d'effort de la pale: car on veut que la Galère aille si vite, que la pale ne choque point l'eau & qu'elle ne faſſe que s'appuyer contre; puisqu'on se propose de déterminer la moindre longueur de la partie extérieure DG. Or la rame en s'appuyant contre l'eau en G avec la force absolue $\frac{DF \times \overline{D\,d}^2}{DG}$ doit donner à la Galère une viteſſe exprimée par la racine quarrée $D\,d\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cette force; par la même raison que l'effort absolu $\overline{D\,d}^2$ des Rameurs, apliqué immédiatement à la Galère, ne lui faisoit prendre que la viteſſe D*d*. Ainsi on a $D\,d\sqrt{\frac{DF}{DG}} = D♪$; & il ne resteroit donc plus qu'à connoître D♪ pour pouvoir obtenir le raport de DF à DG. Mais le triangle DG♪ étant semblable au triangle FDf, on a cette analogie; DF est à Ff comme DG est à D♪ ou à $D\,d\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ & l'équation D*d* Fig. 35.

Digitized by Google

Fig. 35. $\times DF \sqrt{\frac{DF}{DG}} = Ff \times DG$ qui élevée au quarré donne $\overline{Dd}^2 \times \frac{\overline{DF}^3}{DG} = \overline{Ff}^2 \times \overline{DG}^2$; & ſi on multiplie de part & d'autre par DG, & qu'on diviſe par $\overline{Ff}^2$, on aura $\overline{DG}^3 = \frac{\overline{Dd}^2 \times \overline{DF}^3}{\overline{Ff}^2}$, dont on tire $DG = DF \times \sqrt[3]{\frac{\overline{Dd}^2}{\overline{Ff}^2}}$; & c'eſt ce qu'on vouloit découvrir.

Plus on aprochera du terme indiqué par cette formule en racourciſſant la partie extérieure de la rame, plus il faudra élargir la pale ou augmenter ſa ſurface comme nous l'avons vû il n'y a qu'un moment, & plus la Galère ira vite, quoique les Rameurs n'employent que la même force & n'agiſſent qu'avec la même viteſſe. Ainſi c'eſt ſur la plus grande étendue qu'on peut donner commodement à la pale, qu'on doit tout regler. Au ſurplus la formule $DG = DF \times \sqrt[3]{\frac{\overline{Dd}^2}{\overline{Ff}^2}}$ nous fournit quelques remarques très-utiles que la pratique & le long uſage n'ont pas, à ce que je crois, encore ſuggerées, & qu'on peut regarder comme le principal fruit des recherches précédentes. On voit 1°. Que les longueurs de la partie extérieure DG, doivent être proportionnelles, lorſque toutes les autres conditions ſont les mêmes, aux longueurs de la partie intérieure DF. On voit 2°. Que plus la carène de la Galère eſt fine ou que lors qu'elle eſt mieux taillée & plus propre à recevoir une grande viteſſe Dd, on doit rendre la partie extérieure de la rame plus longue; & qu'au contraire dans les Bâtimens peſans, dans ceux qui ne doivent jamais ſingler que lentement, on doit racourcir cette partie. C'eſt ce qu'on doit faire dans ces derniers Navires; parce que leur viteſſe retranche une moindre portion de la viteſſe avec laquelle la pale choque l'eau; ce qui donnant la liberté de racourcir la partie extérieure de la rame, met en état de profiter de l'avantage qu'on trouve toujours à augmenter l'étendue de

la

Digitized by Google

la pale. Enfin 3°. Plus les Rameurs ſont robuſtes ou en état de donner de viteſſe à l'extrémité F, plus il faut, & preſque par la même raiſon, racourcir la partie extérieure DG.

Quoique ce ſujet ſi ſimple en aparence devienne plus compliqué, à meſure qu'on le conſidere avec plus d'attention, nous ne voulons pas, puiſque l'occaſion ne s'en preſenteroit plus dans la ſuite, nous diſpenſer de déterminer la longueur dont il eſt à propos de faire la partie extérieure de la rame, lorſque l'étendue de la pale ſera *donnée* & rendue la plus grande qu'on pourra. La longueur que nous venons de découvrir eſt une limite ; mais nous devons toujours faire la partie DG effectivement plus longue. Je nomme *a* la viteſſe que l'effort des Rameurs ſeroit capable d'imprimer à la Galère, s'il lui étoit immédiatement appliqué ſans l'intervention d'aucune machine. Cette viteſſe c'eſt celle qui étoit marquée par D*d* dans la figure 35, & nous pouvons donc, comme ci-devant exprimer par a^2 l'effort abſolu que font les Rameurs. Je nomme en même tems *b* la viteſſe avec laquelle il faudroit que le centre G des rames, ſe mût pour que leur choc contre l'eau, fût égal au même effort abſolu. Ainſi ſi *a* & *b* n'expriment pas dans la figure 34 la viteſſe actuelle même D*d* ou *gγ* de la Galère & la viteſſe reſpective G*γ* avec laquelle la rame choque actuellement l'eau, elles expriment au moins leur rapport, conformément au Théoreme ſpécifié dans l'art. 1. Ces viteſſes *a* & *b* dépendent de la ſurface de la prouë & de l'étendue des rames, ſans qu'elles ſuivent pour cela la raiſon réciproque de ces ſurfaces. Si, par exemple, la ſurface plane qu'on peut conſiderer à la place de la ſurface courbe de la prouë, parce qu'elle ſeroit ſujette à la même impulſion de la part de l'eau, étoit quadruple de l'étendue totale que forment enſemble toutes les pales des rames, il ne ſeroit pas néceſſaire que ces rames ſe meuſſent avec une viteſſe *b* quadruple de celle *a* de la Galère, pour que les chocs abſolus contre l'eau fuſſent égaux : il ſuffiroit Fig. 34.

Fig 34. qu'elles ſe meuſſent ſimplement deux fois plus vite ; & cela parce qu'une viteſſe double ſuffit pour rendre l'impulſion 4 fois plus grande, & pour ſupléer par conſéquent à la moindre étendue de la ſurface lorſqu'elle eſt quatre fois plus petite. Si la ſurface plane à laquelle ſe réduit la ſurface courbe de la proüe eſt neuf fois plus grande que celle de toutes les rames, il ſuffira par la même raiſon que les rames ſe meuvent trois fois plus vite. En général nommant P la ſurface plane équivalente à la ſurface convexe de la proüe en fait d'impulſion, & R l'étendue totale des pales des rames, les viteſſes a & b ſeront comme $\frac{1}{\sqrt{P}}$ eſt à $\frac{1}{\sqrt{R}}$, ou comme $\sqrt{R}$ à $\sqrt{P}$.

Tout cela ſupoſé, la reſſemblance des triangles FDf & GDg dans la figure 34, nous donnera $Gg = \frac{Ff \times DG}{FD}$; & puiſque les viteſſes γg & $G\gamma$ ſont comme a & b, nous pouvons faire (*componendo*) cette autre analogie ; $a+b \mid a \mid\mid Gg = \frac{Ff \times DG}{FD} \mid \gamma g = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ pour la viteſſe actuelle de la Galère. D'un autre côté nous avons vû que a^2 exprime l'effort des Rameurs, & il eſt évident que cet effort appliqué en F en doit produire un autre en G que nous trouverons par cette proportion ; $DG \mid DF \mid\mid a^2 \mid a^2 \times \frac{DF}{DG}$. Or c'eſt ce dernier effort qui ſe réuniſſant dans le centre G des pales, produit immédiatement la viteſſe actuelle Dd de la Galère, en s'exerçant contre la réſiſtance que trouve la proüe à fendre l'eau. Il faut par conſéquent prendre la racine quarrée $a\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cet effort $(a^2 \times \frac{DF}{DG})$ pour avoir toujours conformément à ce que nous avons dit, la viteſſe que nous ſçavons déja être égale à $\frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$. Ainſi nous avons $a\sqrt{\frac{DF}{DG}} = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ dont nous déduiſons $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{2}{3}}}{\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}} \times FD$, *formule* qui ſatisfait à la queſtion & qui

Digitized by Google

ne peut pas manquer de convenir auſſi au cas particulier que nous avions déja réſolu. Plus l'étendue R des pales ſera grande, ou ce qui revient au même, plus on multipliera le nombre des rames, plus la viteſſe *b* ſera petite & plus il faudra diminuer la longueur de la partie extérieure DG; & enfin ſi *b* pouvoit devenir nulle, alors DG deviendroit égale à $\overline{\frac{a}{Ff}}^{\frac{1}{3}} \times FD$, ainſi que nous l'avions trouvé. Fig. 34.

Il ne nous reſte plus qu'à faire remarquer qu'il ſuffit de ſupoſer que le long uſage a réuſſi à donner aux rames leurs vrayes longueurs dans les Galères ordinaires, pour que nous puiſſions découvrir le rapport des viteſſes *a* & *b* avec *Ff*, ſans être obligés de faire de nouvelles expériences; ce qui nous permettra de régler enſuite par comparaiſon la longueur des rames dans toutes les autres circonſtances. Nous avons dit que la viteſſe *a* que recevroit le ſillage ſi l'effort abſolu des Rameurs étoit immédiatement appliqué au Navire, peut s'exprimer par $\sqrt{\frac{1}{P}}$. C'eſt ce qui eſt vrai, ſi on ſuppoſe que le nombre des Rameurs eſt toujours le même: mais ſi *n* marque le nombre des hommes dont la Chiourme eſt formée, nous aurons $\sqrt{\frac{1}{P}n}$ ou $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ pour la viteſſe *a*, parce que vû la réſiſtance de l'eau qui change comme le quarré de la viteſſe du ſillage, le plus grand ou le moindre nombre des Rameurs ne doit imprimer à la Galère qu'une viteſſe qui eſt comme la racine quarrée de ce nombre ou de la force motrice: & nous n'employons que le tiers de *n*, parce que comme nous l'avons reconnu dans le premier article, l'action des Rameurs eſt à peu près la même que s'ils agiſſoient ſans interruption, mais qu'il n'y en eût que le tiers qui agit dans chaque inſtant. D'un autre côté la viteſſe *b* qu'il faudroit que reçût le centre des pales des rames pour qu'elles ſouffriſſent de la part de l'eau une auſſi grande impulſion, doit être $\sqrt{\frac{n}{3R}}$, puiſque cette viteſſe *b* eſt à la viteſſe *a*, comme $\sqrt{\frac{1}{R}}$ & à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.

Fig. 34. Nous pouvons donc mettre $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ & $\sqrt{\frac{n}{3R}}$ à la place de a & de b dans la formule $DG = \frac{\overline{a+b^{\frac{2}{3}}}}{\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}} \times FD$: nous la changerons en $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}^{\frac{2}{3}}}}{\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}} \times FD$; & il ne reste plus qu'à introduire dans cette derniere équation les valeurs de FD, de DG, de n, &c. telles que nous les fourniſſent les Galères ordinaires, pour pouvoir en déduire Ff.

Il y a ordinairement 52 rames en tout ſur chaque Galère, & on met 5 hommes ſur chaque rame. Les pales ont à peu près 5 pieds de longueur ſur $\frac{1}{4}$ de large; ce qui donne $2\frac{1}{2}$ pieds quarrés pour l'étendue de chacune & 130 pieds pour la ſurface des 52. Cela ſupoſé, nous avons 260, le nombre d'hommes de la Chiourme, pour la valeur de n, & 130 pieds quarrés pour celle de R. Nous avons déja averti que FD eſt de 12 pieds, & on peut ſupoſer que l'effort moyen des Rameurs eſt appliqué à 9 pieds de diſtance du point G: Ainſi FD doit être traité comme s'il étoit ſeulement de 9 pieds, pendant que DG eſt d'environ $21\frac{1}{2}$; ce qu'on trouve en retranchant de 24 pieds la demie longueur $2\frac{1}{2}$ pieds de la pale. A l'égard de la ſurface plane P à laquelle ſe réduit la proüe, elle eſt extrémement petite à cauſe de la grande ſaillie & du peu de profondeur de la carène, ce qui fait que la Galère gliſſe ſur l'eau avec une extrême facilité. Je crois qu'elle ne reçoit pas plus d'impulſion qu'une ſurface plane de 9 ou 10 pieds quarrés; je prends ce dernier nombre pour la valeur de P. Or l'introduction de toutes ces grandeurs dans la formule, donne $1.\frac{01}{100}$ pour la valeur aprochée de $\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}$. Ainſi ſupoſant que les Rameurs ſont toujours un égal effort & agiſſent préciſément avec la même viteſſe, nous n'avons qu'à employer continuellement cette valeur 1.01 de $\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}$ & nous

Digitized by Google

Fig. 34.

aurons $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{1}{2}}}{1.01} \times FD$ pour la longueur qu'il faut donner à la partie extérieure de la rame par rapport à la partie intérieure dans tous les différens cas ; c'eſt-à-dire quel que ſoit le nombre n d'hommes dont la Chiourme eſt formée, quelle que ſoit la grandeur R de la ſurface totale que font enſemble les pales des rames, & quelle que ſoit auſſi la ſurface plane P à laquelle on peut ſupoſer que ſe réduit la proüe.

Mais nous pouvons rendre cette ſolution encore plus générale : car au lieu de ſupoſer que l'interruption de l'action des rames fait perdre les $\frac{2}{3}$ du tems comme dans les Galères ordinaires, nous pouvons ſupoſer qu'il n'y a que le $\frac{1}{5}$ ou la cinquiéme partie du tems, &c. qui ſoit employée utilement, & déſigner généralement cette fraction par $\frac{1}{f}$; ce qui changera la formule $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{1}{2}}}{1.01} \times FD$ en cette autre $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{fP}} + \sqrt{\frac{n}{fR}}}^{\frac{1}{2}}}{1.01} \times FD$ qui eſt d'une aplication beaucoup plus étendue. Si l'on donne, par exemple, 120 Rameurs à un Navire de bas bord, & que diviſant le tems en 4 parties, il n'y en ait qu'une pour la durée des *palades :* ſupoſé de plus que toutes les rames forment enſemble une ſurface de 75 pieds quarrés, pendant que la ſurface de la proüe eſt équivalente quant à l'impulſion qu'elle reçoit, à un plan de 15 pieds quarrés, on aura $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{120}{4\times 15}} + \sqrt{\frac{120}{4\times 75}}}^{\frac{1}{2}}}{1.01} \times FD = \frac{1.61}{1.01} \times FD$; de ſorte ſi la partie FD eſt de 10 pieds, ou plutôt ſi l'effort des Rameurs eſt appliqué à 10 pieds de diſtance du point D, il faudra que le centre d'effort des pales ſoit environ 15 pieds $11\frac{2}{3}$ pouces en dehors du Navire, ou que DG ſoit de cette quantité.

Digitized by Google

IV.

Jusques à present on n'a appliqué les rames avec succès qu'aux Navires de bas bords, quoi qu'on ait senti combien il seroit important de pouvoir les appliquer aussi dans certains cas aux Vaisseaux proprement dits. La hauteur de ces derniers a rendu inutiles les différentes tentatives qu'on a faites de tems en tems pour tâcher de leur procurer ce secours. On a principalement insisté sur ce que les rames fussent tournantes comme les rames des moulins à eau: mais comme on n'a pas pû leur donner assez de viteſſe, elles n'ont point eu d'effet ou n'en ont eu que très-peu. Il semble qu'on ne peut corriger ce défaut qu'en donnant à
Fig. 36. la rame la forme représentée dans la figure 36 ou quelqu'autre équivalente. La pale ABCD auroit ses côtés de 5 à 6 pieds ou même de 8 ou de 10; & comme elle entreroit verticalement dans l'eau, elle offriroit au choc une surface dont l'étendue seroit depuis 25 ou 30 pieds quarrés jusqu'à 100; & un petit nombre de pareilles rames si elles étoient mûes avec promptitude, seroit très-capable de vaincre la réſiſtance de l'eau contre la proüe, qui à cause de sa convexité & de sa saillie, souffre beauconp moins d'impression qu'une surface plane de même hauteur & de même largeur.

Cette pale seroit formée d'especes de portes qui auroient la liberté de s'ouvrir en dehors d'environ 25 ou 30 degrés, comme des soupapes; mais qui ne pourroient pas passer en dedans, arrêtées qu'elles seroient par le chassi ABCD. Le levier de la rame seroit coudé & s'appuyeroit en F en quelquelqu'endroit du bord du Vaisseau; & comme on ne peut pas rendre son bras FG assez long & que cependant il est nécessaire de faire agir dessus 30 ou 40 Matelots, il n'y auroit qu'à mettre en travers *des barres* IH, LK, &c. à chacune desquelles on appliqueroit 8 ou 10 Rameurs; & de cette sorte la longueur qu'on donneroit à la partie intérieure FG ne seroit jamais assez grande, pour que l'espace parcouru par l'extrémité G, excedât la hauteur d'un

Digitized by Google

homme. Ces rames seroient situées à la poupe où on en pourroit mettre deux; & rien n'empêcheroit aussi d'en placer sur les flancs du Navire en les situant obliquement. Lorsqu'on éleveroit le levier FG, la pale s'aprocheroit de la carène, & ne fraperoit presque point l'eau; parce que les portes s'ouvriroient, & qu'on agiroit outre cela avec lenteur. Mais les Rameurs chargeant ensuite tout à coup le levier avec tout leur poids, les portes ou les soupapes se fermeroient, & la pale en s'éloignant, fraperoit l'eau avec une force qui ne manqueroit pas de faire avancer le Navire. Ce n'est, à ce que je crois, que par cette seule disposition qu'on peut procurer assez de viteſſe à la rame ou lui donner cette espece de *saccade* qui est nécessaire, pour qu'elle produise quelque effet. Fig. 36.

J'avoue qu'il faudroit dans les Navires, dont le bord est fort élevé, que le bras extérieur de la rame fût fort long, pour que la pale plongeât suffisamment dans la Mer, tant qu'on prend le point F pour point d'apui. Il vaudroit peut être mieux faire sortir alors du Navire, par les fenêtres de sa poupe, quelques pieces de bois sur l'extrémité desquelles on apuyeroit le point O de chaque rame. Alors les Rameurs au lieu de peser sur les barres HI, KL, &c. les pousseroient horisontalement en avant en se jettant vers la proüe: & il faudroit dans ce cas que l'angle E fût sujet à s'ouvrir un peu, par le moyen d'une espece de charniere. Je n'insiste point sur l'assemblage de ces diverses parties, ni sur la maniere de faire en sorte qu'elles se montent & se démontent aisément: Tout cela regarde les ouvriers. Les personnes expérimentées dans la Marine voyent aussi assez que comme ces rames ne peuvent guéres servir à faire gouverner le Navire, il faudroit ordinairement que la Chaloupe mise à la Mer, précédât le Vaisseau & le dirigeât en le tirant vers le côté où il s'agit d'aller.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Des Proportions qu'on ſuit ordinairement dans la mâture des Vaiſſeaux.

NOUS pouvons maintenant nous élever à la conſidération de la mâture, & expliquer les dimenſions de ſes principales parties. Tous les Vaiſſeaux, les Frégates, les Flutes, &c. ont quatre mâts principaux. *Le grand mât* qui ſe met au milieu du Navire eſt le premier. Le mât de *mizaine* qui ſe met vers la proüe très-près de l'extrémité de la quille, eſt le ſecond, & il ne différe qu'aſſez peu du grand mât par ſa hauteur; le troiſiéme eſt le *beaupré*, qui au lieu d'être vertical comme les autres, eſt incliné en avant & ſort du Navire par la proüe, en s'apuyant ſur l'étrave, & le quatriéme eſt l'*artimon* qui manque quelquefois dans les plus petits Navires & qui ſe place vers la poupe. Son nom eſt encore tout Grec; mais je crois que les Anciens nommoient artimon le mât que nous nommons maintenant de *mizaine*.

Au-deſſus de ces mâts on en met d'autres qu'on nomme ordinairement mâts de hune; c'eſt au moins le nom de ceux qu'on met au-deſſus des deux premiers; c'eſt-à-dire du grand, & du mât de mizaine; l'un eſt *le grand mât de hune* ou le mât *du grand hunier*, & l'autre eſt *le petit mât de hune* ou le *mât du petit hunier*. Mais le mât d'artimon étant conſidérablement plus petit, on nomme toujours celui qu'on éleve au-deſſus, le mât de *perroquet de fougue*; pendant qu'on ne donne le nom de *perroquet* qu'aux plus petits mâts qu'on éleve encore au-deſſus du grand mât & du mât de mizaine, & qu'on place au-deſſus des huniers. Ainſi l'artimon n'eſt ordinairement formé que de deux mâts, ſçavoir de celui d'en bas, qui eſt le mât d'artimon proprement dit, & du mât de perroquet de fougue qui s'ente au-deſſus;

Digitized by Google

deſſus ; au lieu que le grand mât & le mât de mizaine ſont formés de trois parties ; le mât d'en bas auquel appartient privativement le nom de grand mât ou de mât de mizaine ; les mâts de grand & petit Hunier qui ſont au deſſus, & les mâts de grand & petit perroquet qui ſont encore plus haut. Dans les petits Navires qui n'ont point d'Artimon, le mât de mizaine ſe trouve au milieu des deux autres ; & c'eſt de cette ſituation dont il a pris ſon nom, que nous avons emprunté des Italiens.

Tous ces mâts ont leurs voiles particulieres, & nous en avons dit le nom d'avance ; s'il s'agit du grand mât, *la grande voile* eſt la plus baſſe ; *le grand Hunier* eſt au deſſus, & *le grand perroquet* encore plus haut. Dans le ſecond mât *la mizaine* eſt la plus baſſe, au deſſus eſt le *petit hunier*, & plus haut *le petit perroquet*. La voile d'Artimon ſe nomme ſouvent *voile latine*, & on nomme ainſi toutes les voiles qui, au lieu d'être quadrangulaires, ne ſont que triangulaires, aparemment parce que nous en avons pris l'uſage des Italiens, ou Lévantins. La voile du beaupré prend auſſi un nom particulier, on la nomme *civadiere*, & ce nom eſt Eſpagnol (*cevadera*)*. Toutes ces voiles ſont ſoutenuës par les *vergues* qui ſont de longues piéces de bois placées horiſontalement, & qui traverſent les mâts ; chaque vergue prend le nom de la voile qu'elle ſoutient.

On voit toutes ces choſes dans la figure 37. qui repréſente toutes les voiles lorſqu'elles ſont *déférlées* ou expoſées au vent. Les trois du grand mât ſont marquées par A, B, C ; la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet. Le mât de mizaine a auſſi ſes trois voiles ; la mizaine proprement dite D ou *le bourcet*, ſon hunier E ou le petit hunier, & le petit perroquet F. La voile de beaupré eſt marquée par G, & c'eſt la civadiere. L'artimon n'eſt point *déférlé*, il eſt ſerré ; mais on voit au deſſus I le perroquet de fougue. Il y a encore quelques autres voiles que nous n'avons point repréſentées ici : comme ſont celles *d'étay* & *les focs*. On nomme *étay* tous les cordages qui partant de la tête des mâts, viennent ſe rendre au beaupré, & les

* La civadiere étant fort avancée hors du Vaiſſeau, & deſcendant preſque juſqu'à la ſurface de la Mer, ſa figure la fait comparer au ſac qu'on attache quelquefois à la tête des chevaux, dans lequel on met l'orge (*cevada*) dont on les nourrit en Eſpagne.

Fig. 37.

Digitized by Google

empêchent de tomber en arriere. Ces cordages soutiennent des voiles triangulaires, dont la plus grande qui est suspenduë au grand étay KL, se nomme la *voile d'étay*, & les autres de la même espéce se nomment *focs*. On voit dans la même figure les mâts & les vergues qui appartiennent à chaque voile. Vers le haut de chaque mât inférieur il y a *la hune* ou *la gabie* comme parlent les Lévantins, qui est comme une petite galerie ou tribune ronde; & toute la partie du même mât qui est au dessus de la hune, se nomme le *tenon*, à cause de son usage; elle sert à maintenir l'autre mât qui est au dessus. Cette partie est surmontée par un billot de bois nommé *chouquet*, qui a une échancrure en demi-cercle, pour recevoir le mât supérieur.

Proportions des mâts inférieurs, & de leur application.

Le grand mât se met au milieu de la longueur totale du Vaisseau prise du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou si on ne le place pas éxactement dans ce point, on fait ensorte que toute sa grosseur soit en arriere du milieu. Presque tous les constructeurs s'accordent en cela; mais ce n'est pas absolument la même chose à l'égard des autres mâts: quelques-uns mettent celui de mizaine précisément à l'extrêmité de la quille, au lieu que quelques autres le reculent un peu, comme d'une quarantiéme ou cinquantiéme partie de toute la longueur du Vaisseau, pendant que d'autres au contraire le font un peu avancer sur l'étrave. Le mât de beaupré, on l'incline ordinairement assez, pour qu'il fasse un angle d'environ 35 degrez avec l'horison. Enfin on place l'artimon à environ les trois seiziémes de la longueur totale du Navire de distance du haut de l'étambot. Si le Vaisseau a 160 pieds de longueur totale, on met l'artimon à 30 pieds de distance de l'étambot.

On donne ordinairement en France, de longueur au grand mât deux fois & demie la largeur du Navire; au lieu que les Anglois rendent ce mât un peu moins long, en ne le faisant que de deux largeurs du Vaisseau & deux cinquiémes. Ainsi supposé que le Navire ait 40 pieds de largeur,

Digitized by Google

nos conſtructeurs donneroient au grand mât 100 pieds de hauteur ; mais les Anglois ne lui en donneroient que 96. Les Hollandois ſont encore cette hauteur un peu plus grande que nous, quoiqu'ils conviennent auſſi avec toutes les autres Nations à la régler de même que la longueur de tous les autres mâts, ſur la ſeule largeur du Vaiſſeau. Le tenon, ou cette partie qui eſt au deſſus de la hune, a toujours de longueur la dixiéme partie de celle du mât.

Le diamétre du grand mât, au travers du premier pont, ou du pont inférieur, contient toujours autant de pouces que les trois quarts du maître bau contiennent de pieds; ou ce qui revient au même, ce diamétre eſt la quarantiéme partie de la longueur du mât. Dans la ſupoſition que nous venons de faire, le grand mât doit avoir 30 pouces de diamétre; & à ſon extrêmité d'en haut il doit en avoir 20: car c'eſt une régle générale que tous les grands mâts & mâts de mizaine n'ayent par leurs extrêmités ſupérieures que les deux tiers de leur plus grande groſſeur.

Je me fais violence, je l'avouë, pour raporter en détail toutes ces régles, qui ne ſont nullement fondées en raiſon, & qui ne ſont propres qu'à être refutées. Le mât de mizaine a ſa hauteur égale, à deux fois & un quart la longueur du bau, & ſon diamétre, au travers du premier pont qui eſt l'endroit où il eſt le plus gros, de même que les autres mâts inférieurs, eſt environ la trente-neuviéme partie de ſa longueur. D'autres conſtructeurs retranchent une dixiéme partie de la hauteur du grand mât, pour avoir celle du mât de mizaine.

Le mât de beaupré a de longueur une fois & demie le bau, & ſon diamétre vis-à-vis du haut de l'étrave, eſt la vingt-ſeptiéme partie de ſa longueur. Si la largeur du Navire eſt de 40 pieds, le beaupré aura donc 60 pieds de longueur, & $26\frac{1}{7}$ pouces de diamétre dans la plus grande groſſeur. Par en haut, on ne lui donne de diamétre que la moitié.

Enfin le mât d'artimon a ſa longueur égale à une fois le bau & trois quarts, pendant que ſon plus grand diamétre

eſt d'autant de pouces que les 7 ſeiziémes du bau contiennent de pieds; diſons mieux: ce mât a de plus grande groſſeur la quarante-huitiéme partie de ſa longueur, & il a par en haut la moitié de cette groſſeur.

Proportions des mâts ſupérieurs.

Il nous faut maintenant paſſer aux mâts ſupérieurs; le grand mât de hune qui ſe place au deſſus du grand mât, a ordinairement de longueur un bau & demi; de ſorte que ſa longueur eſt égale à celle du beaupré; mais il a moins de groſſeur: ſon plus grand diamétre n'eſt qu'environ la quarante-troiſiéme partie de ſa longueur.

Le mât de petit hunier qui ſe place au deſſus du mât de mizaine, a de longueur un bau & trois huitiémes; & ſon plus grand diamétre eſt environ la quarante-troiſiéme partie de ſa longueur.

Le mât de perroquet de fouge qui s'ente au deſſus de l'artimon, a la moitié de la longueur & de la groſſeur du grand mât de hune.

Le mât de grand perroquet a les cinq douziémes de la longueur du grand mât de hune au deſſus duquel on le met; & il a la moitié de ſa groſſeur: au lieu que le mât de petit perroquet a de longueur les quatre ſeptiémes du petit mât de hune, & la moitié de ſa groſſeur.

Le mât de perroquet de beaupré qui ſe place immédiatement & verticalement au deſſus du beaupré, a de longueur les deux cinquiémes du maître bau; & ſa groſſeur ſe fait ordinairement d'autant de pouces qu'il y a de pieds dans les ſept trente-ſixiémes du bau: c'eſt-à-dire qu'on la fait d'un peu moins que la vingt-cinquiéme partie de la longueur.

Proportions des Vergues.

Nous ne pouvons pas nous épargner le reſte du détail, puiſque nous l'avons commencé. La grande vergue qui ſoutient la grande voile, & qui eſt appliquée vers le haut du grand mât, a ordinairement de longueur deux fois

Digitized by Google

le bau & une ſixiéme partie. Sa plus grande groſſeur eſt au milieu; elle y a autant de pouces de diamétre que les deux tiers du bau contiennent de pieds, ou ce qui revient au même, elle a de diamétre la trente-neuviéme partie de ſa longueur. Les vergues ont une figure fort différente des mâts : elles ſe terminent preſque en pointes aux deux extrémités, où elles n'ont que le tiers de leur plus grande groſſeur.

La vergue du grand hunier a de longueur un bau & un quart, & a de groſſeur la moitié de celle de la grande vergue.

Encore plus haut eſt la troiſiéme vergue, pour ſoutenir la troiſiéme voile, celle de grand perroquet. Cette vergue a de longueur les trois quarts du bau, & de groſſeur la moitié de celle du grand hunier, ou le quart de celle de la grande vergue.

La vergue de mizaine a de longueur éxactement deux baux, & ſa plus grande groſſeur a autant de pouces de diamétre que les cinq huitiémes du bau contiennent de pieds.

La vergue du petit hunier qui eſt au deſſus de la mizaine, a de longueur un bau & un ſixiéme; & ſa groſſeur eſt le plus ſouvent les ſept quinziémes de celle de la vergue de mizaine.

La vergue de petit perroquet qui eſt plus haut, eſt longue des deux tiers du bau; & ſa groſſeur eſt la moitié de celle de la vergue du petit hunier.

La vergue de civadiere a ordinairement de longueur un bau & un quart, & ſa plus grande groſſeur qui eſt toujours au milieu, eſt d'autant de pouces que le tiers du bau contient de pieds; de ſorte qu'elle n'a de groſſeur que la moitié de celle de la grande vergue.

La vergue du perroquet de beaupré a de longueur les trois quarts du bau, & ſa groſſeur eſt les ſept ſeiziémes de celle de la vergue de civadiere.

La vergue d'artimon eſt inclinée à cauſe de la figure triangulaire de ſa voile, & elle eſt l'hypoteneuſe de ce

Digitized by Google

triangle qui eſt rectangle : ſa longueur eſt de deux baux. Sa plus grande groſſeur a autant de pouces de diamétre que le tiers du bau a de pieds. Le bout d'en bas a les deux tiers de cette groſſeur, & celui d'en haut le tiers.

La vergue du perroquet de fougue a de longueur les trois quarts du bau, & de groſſeur la moitié de celle de la vergue d'artimon.

Toutes les voiles ſont ſuſpenduës par leurs vergues, y étant fortement liées par des cordages qu'on nomme *rabans*, & leurs deux angles d'en bas au moins dans les voiles ſupérieures, s'appliquent vers les extrémités des vergues qui ſont au deſſous, & qui ſervent à ſoutenir les voiles inférieures. Cette diſpoſition ne peut pas avoir lieu à l'égard du perroquet de fougue, à cauſe de l'inclinaiſon de la voile d'artimon ; mais on met une autre vergue qu'on nomme *ſeche*, qui n'a d'autre uſage que de le retenir par en bas. Cette vergue que nous n'avons pas manqué de repréſenter dans la Fig. 37. a de longueur un bau & un quart, pendant que ſa groſſeur eſt la moitié de celle de la vergue d'artimon, ou eſt égale à celle de la vergue ſupérieure.

De la figure qu'on donne aux Mâts & aux Vergues.

Les Lecteurs ſçavent aſſez que les mâts, de même que les vergues ſont ronds, qu'ils ſont comme cylindriques ou coniques ; mais ils ne ſçavent peut-être pas tous que les côtés n'en ſont pas des lignes droites. Le plus ſouvent les Mâteurs donnent à ces côtés la courbure d'un arc d'Ellipſe. Voici la maniere dont ils tracent cet arc, en ſe conformant à leur méthode ordinaire des *réductions*.

Fig. 38. Ils forment le triangle équilateral ACB (Fig. 38.) dont les côtés ſont égaux au plus grand diamétre du mât, ou de la vergue qu'ils ſe propoſent de faire. Des points A & B comme centre, ils décrivent les deux arcs de cercle BC & AC, & ils portent enſuite en EF parallelement à AB, le plus petit diamétre du mât ou de la vergue. S'il s'agit d'un mât, EF eſt ordinairement les deux tiers de

Digitized by Google

AB, & n'en eſt que le tiers, s'il eſt queſtion d'une vergue. Après cela ils partagent la hauteur DG, en autant de parties égales qu'ils ſe propoſent de trouver le diamétre du mât en divers endroits de ſa longueur; & ils tirent par les points de diviſion des paralleles MN, OP, &c. aux deux premieres. Il ne leur reſte plus enſuite qu'à diviſer la longueur du mât en autant de parties égales qu'ils ont diviſé DG, & tranſportant ſucceſſivement toutes les largeurs EF, MN, &c. perpendiculairement à l'axe du mât vis-à-vis de ſes points de diviſions, ils ont les diamétres que doit avoir le mât en chaque endroit. Il eſt évident que les conſtructeurs donnent par cette opération aux côtés du mât la courbure d'un arc d'Ellipſe. Mais ont-ils quelque raiſon de préferer cette courbure ? On peut aſſurer qu'ils ſe ſont déterminés ici, comme on a vû qu'ils l'ont fait ſouvent ailleurs, par la plus grande facilité qu'ils ont trouvé à tracer certaines courbes. Nous dirons un mot dans la Section ſuivante de la vraye figure qu'il faudroit donner aux mâts & aux vergues.

CHAPITRE VI.

Remarques & Expériences ſur les Régles précedentes, avec le moyen de rendre ces Régles moins imparfaites.

I.

IL eſt aſſez facile de juger que les dimenſions des voiles ſont réglées ſur la hauteur des mâts, & ſur la longueur des vergues dont nous venons de parler. Leur largeur par en haut, ou leur *envergure*, eſt un peu moins grande que la longueur de la vergue à laquelle elles ſont ſuſpenduës; leur largeur par en bas, ou leur *bordure*, eſt de même un peu moins grande que la longueur de la vergue inférieure, à laquelle leurs deux angles ou leurs *deux*

Digitized by Google

points viennent se rendre, & leur hauteur qu'on nomme ordinairement *leur chute*, est à peu près égale à la hauteur de leur mât. Il n'y a que *la chute*, ou la hauteur des basses voiles qui en est fort différente, à cause de toute la partie de la hauteur des mâts que retranche le corps du Navire. Dans les Vaisseaux du premier rang qui ont 48 pieds de largeur, le grand mât a 120 pieds de hauteur, & on ne peut cependant donner au plus que 55 pieds de *chute* ou de hauteur à la grande voile.

Le grand mât ayant seul 120 pieds de hauteur, & étant encore surmonté du grand mât de hune qui a 72 pieds, & du mât de perroquet qui en a 30, on voit la grande élévation qu'a la mâture. C'est la même chose à proportion dans les plus petits Navires; & si les Marins faisoient attention à ce qui se passe de temps en temps sous leurs yeux, ils se convaincroient aisément qu'il n'y a que de l'avantage à diminuer cette hauteur prodigieuse, en gagnant, s'ils le vouloient, sur la largeur des voiles, ce qu'ils perdroient sur l'autre dimension. Une voile très-petite, mais placée à une très-grande hauteur, fait plus d'effort pour faire incliner le Navire que pour le faire singler; parce qu'appliquée à un long bras de lévier, elle a un grand moment par raport au centre de gravité du Vaisseau: au lieu qu'une voile plus grande, mais appliquée moins haut, travaille moins à produire l'inclinaison; & cela n'empêche pas qu'elle ne fasse tout son effet, par raport à la viteſſe du sillage qu'elle accelere. C'est ce que j'ai tâché de prouver dans un Traité exprès, où j'ai entrepris de substituer aux régles tâtonneuses & grossieres, exposées dans le Chapitre précédent, des maximes précises & exactes, tirées de la Mécanique même des mouvemens des Vaisseaux, & de l'examen particulier de leur figure. Tout ce que les Marins peuvent dire pour défendre leurs régles, c'est qu'elles sont authorisées de l'expérience & du consentement, pour ainsi dire, de toutes les Nations; mais on peut assurer malgré cela que l'expérience est plus contraire à ces mêmes régles, qu'elle ne leur est favorable. Il arrive tous les jours qu'un

qu'un Vaiſſeau étant démâté en Mer, on ne peut remplacer ſes voiles que par d'autres beaucoup plus petites; & que cependant ſon ſillage eſt auſſi rapide que lorſque ſa mâture avoit ces énormes dimenſions, que le mauvais uſage qui regne actuellement, lui fait donner. Lorſqu'on a voulu au contraire augmenter encore la mâture de quelques Navires, ils ont infailliblement perdu de leur marche. C'eſt ce qui arriva, par exemple, il y a quelques années, au Vaiſſeau du Roy *le Content*, ſur lequel on voulut outrer un peu les régles ordinaires, ou peut-être ſeulement les obſerver plus dans la rigueur, & qui perdit auſſi-tôt une partie de ſes avantages *. Marques certaines que la mâture eſt hors des meſures, & qu'elle eſt déja beaucoup trop grande.

* Voyez ce qu'en dit le P. Laval. Voyage de la Louiſiane, page 279.

II.

Mais les régles ordinaires ne péchent pas ſeulement parce qu'elles donnent trop d'élevation à la mâture, elles ont encore un vice intérieur & ſecret, parce qu'elles n'expriment pas même la loi que doivent ſuivre les dimenſions de la voilure dans les différens Navires. Si un Vaiſſeau eſt deux fois moins long, deux fois moins large, &c. on donne conſtamment à ſa voilure deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur; & cependant il eſt très-facile de reconnoître que le petit Navire, vû le ſyſtême ordinaire de la mâture, qui admet que les Vaiſſeaux s'inclinent, pourvû que l'inclinaiſon ne devienne pas exceſſive, doit en porter beaucoup moins à proportion que le grand. Le Navire, dont toutes les dimenſions ſimples ſont deux fois plus petites, à huit fois moins de ſolidité, ou peſe huit fois moins; & comme c'eſt ſa peſanteur qui s'oppoſe à l'effort que fait le vent pour le faire verſer, ou au moins pour le faire incliner dans les routes obliques, il doit avoir huit fois moins de force abſoluë pour ſoutenir la voile. Mais cette même force qui eſt huit fois plus petite, ſe réunit dans le centre de gravité, & eſt appliquée deux fois moins avantageuſement, puiſque toutes les dimenſions

Digitized by Google

ſimples du Navire étant deux fois plus petites, ſon centre de gravité eſt auſſi deux fois moins bas, ou par raport au pont, ou par raport à la ſurface de l'eau. Ainſi la force relative avec laquelle la peſanteur du Navire s'oppoſe à l'effort du vent, eſt ſeize fois moins grande. Pour juger par conſéquent de la bonté ou du défaut des régles ordinaires, il n'y a qu'à voir ſi elles font diminuer auſſi ſeize fois la force relative qu'a le vent pour renverſer dans les routes obliques, un Navire deux fois plus petit. Si elles produiſent préciſément la même diminution, elles ne détruiront point l'équilibre; ce ſera une marque qu'elles ſont parfaites, ou qu'il faut continuer à faire la mâture proportionnelle aux autres dimenſions des Vaiſſeaux. Mais lorſqu'on donne deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur aux voiles du Navire deux fois plus petit, l'étenduë de leur ſuperficie ne diminuë que quatre fois; ce qui ne rend l'effort abſolu que quatre fois moindre. Il eſt vrai que le centre de cet effort ſera auſſi deux fois moins élevé au deſſus du Vaiſſeau, & appliqué par conſéquent à un bras de levier deux fois moins long: Mais tout conſidéré, la force relative qui tend à faire renverſer le Navire, ne ſera diminuée que huit fois; pendant que la force contraire, la réſiſtance formée par la peſanteur du Vaiſſeau, ſera, comme nous l'avons vû, diminuée ſeize fois. Il eſt donc clair que la force du vent prévaudra, & qu'elle ſera deux fois trop grande: ainſi ſi la mâture du grand Vaiſſeau eſt bien diſpoſée, celle de l'autre ne le ſera pas; le petit Navire ſera expoſé à verſer.

Pour le dire d'une maniere plus générale, mais en négligeant toujours quelques conſidérations auſquelles nous aurons égard dans la ſuite, la force relative avec laquelle le Vaiſſeau s'oppoſe à l'effort du vent, diminuë comme le quarré quarré de ſa quille ou de la longueur de ſon bau; puiſque la peſanteur ou la force abſoluë diminuë comme le cube, & que cette force eſt appliquée à un bras de levier moins long. Mais tant qu'on s'aſſujettit aux régles vulgaires, l'effort relatif du vent ou le moment ne diminuë

Digitized by Google

que comme le cube de la quille, ou comme le cube de la largeur du Navire ; puiſque la force abſoluë du vent qui eſt proportionnelle à l'étenduë des voiles, ne diminuë que comme le quarré, & que la hauteur des mâts qui ſert de bras de levier à cette force, ou qui eſt au moins proportionnelle à la longueur de ce levier, ne diminuë que comme la quille ou comme le bau. Ainſi dans les petits Navires, la force qu'ils ont pour ſoutenir la voile, diminuë toujours en plus grand raport, que l'effort relatif que fait le vent pour les renverſer : s'il y avoit par conſéquent équilibre entre ces deux forces dans les plus grands Vaiſſeaux, l'équilibre ne doit plus ſubſiſter dans les moindres ; la premiere force ſe trouvant enſuite trop petite, & l'effort du vent trop grand. Il ſuit de-là que les régles ordinaires ſont tout-à-fait défectueuſes, & qu'elles doivent être au moins ſujettes à l'un ou à l'autre de ces deux inconvéniens ; ou d'être cauſe qu'on ne navige pas avec une entiere ſureté dans les petits Navires auſquels elles donnent trop de mâture ; ou qu'elles empêchent, en donnant au contraire une mâture trop peu étenduë aux grands Vaiſſeaux, de joüir de tout l'avantage que procureroit leur grandeur.

III.

Les régles vulgaires ſe trouvant défectueuſes, nous ne pouvons pas, & il s'en faut même beaucoup, leur en ſubſtituer d'autres qui ſoient auſſi ſimples : mais ſi cependant on a une fois un Navire, dont la mâture eſt bien diſpoſée, on pourra s'en ſervir pour régler la mâture des autres qui ſeront ſemblables, ou à peu près ſemblables. Les forces relatives qu'ont les Navires pour ſoutenir la voile, ſont comme les quarrés quarrés de leurs dimenſions ſimples ; & les forces relatives qu'a la mâture pour faire verſer le Navire, ſont comme les largeurs des voiles multipliées par le quarré de leur hauteur ; puiſque cette hauteur augmente l'étenduë des voiles, & fait en même tems que leur centre d'effort eſt plus élevé. D'un autre côté on ne peut gueres

ſe diſpenſer de régler les largeurs des voiles ſur la largeur du Vaiſſeau : on peut faire ces largeurs plus grandes ou plus petites ; mais elles doivent toujours dépendre de l'autre. Ainſi pendant que la force relative du Navire pour ſoutenir la voile, eſt comme le quarré quarré de ſa largeur, la force relative de la voile pour produire l'inclinaiſon, eſt comme le produit de cette même largeur par le quarré de la hauteur du mât. Mais s'il y a équilibre entre ces deux forces, il y aura égalité de raport entre les deux quantités qui les expriment, & cette égalité ſubſiſtera encore, ſi on diviſe les deux quantités également par la largeur. Or il ſuit de-là que pour que les Navires ſemblables ayent leur mâture également parfaite, il faut que les quarrés des hauteurs de leurs mâts, ſoient comme les cubes des largeurs de ces Navires, ou les cubes de leurs longueurs. Ce Théoreme peut ſervir de régle, & il ſera toujours facile par ſon moyen, de déterminer la mâture d'un Navire, auſſi-tôt qu'on en aura un autre, qu'on pourra prendre pour modéle.

Il ſemble qu'il n'y a point d'inconvénient à ſe régler toujours ſur les Vaiſſeaux du troiſiéme rang; parce que ce ſont ceux qui, comme nous l'avons déja dit, ſe comportent le mieux à la Mer. Dans un Vaiſſeau du troiſiéme rang, qui a 137 pieds de longueur, les voiles de ſon grand mât ont ordinairement enſemble 118 pieds de hauteur *. Si on veut maintenant trouver combien doit avoir de hauteur la voilure d'un Navire ſemblable, & qui n'a que 83 pieds de long, il n'y a qu'à faire cette ſimple analogie; le cube de 137 eſt au quarré de 118, comme le cube de 83 eſt au quarré de la hauteur des voiles du grand mât du ſecond Navire. Ce quarré eſt 3096, & par conſéquent la hauteur du mât requis eſt d'environ $55\frac{1}{7}$ pieds; au lieu que ſelon les proportions ordinaires, elle ſeroit d'environ $71\frac{1}{2}$ pieds. Quoique l'opération ne ſoit jamais fort longue, on peut cependant l'abreger conſidérablement par le moyen des logarithmes.

* On prend ici les hauteurs des voiles au deſſus du pont, quoique cela ne ſoit pas parfaitement exact.

Mais ſi le ſecond Navire n'eſt pas ſemblable au premier,

Digitized by Google

s'il eſt plus large ou plus étroit, en même tems qu'il eſt plus ou moins creux dans le même raport; il faudra faire à la mâture un ſecond changement proportionel à celui de la largeur. C'eſt-à-dire que ſi le Navire qui a 83 pieds de longueur, au lieu d'avoir 23 pieds de largeur ſelon les régles ordinaires, n'en a que $15\frac{1}{3}$, ou les deux tiers de 23, il ne faudra donner de hauteur à ſa mâture qu'environ $37\frac{1}{15}$ pieds, au lieu de $55\frac{1}{2}$. Il eſt facile de voir que la longueur du Navire étant la même, mais la largeur & le creux recevant un changement ſemblable, il faut en faire ſouffrir un proportionel à la hauteur des mâts. Car ſupoſant toujours que la largeur des voiles ſoit réglée ſur celle du Navire, & que la hauteur de la mâture ſoit auſſi changée dans le même raport, l'étenduë de la voile, & par conſéquent l'impulſion abſoluë du vent, ſera proportionelle au quarré de cette largeur, & la force relative ſera proportionelle à ſon cube; en même tems que la force relative avec laquelle la peſanteur du Navire réſiſtera à l'inclinaiſon, ſera proportionelle à ce même cube, & non pas au quarré quarré; puiſque la longueur du Vaiſſeau eſt cenſée ici ne pas varier. Or il ſuit de-là que les changemens faits à la voilure, répondront exactement à ceux qu'on aura fait à la groſſeur du Navire, & que l'équilibre entre les deux forces qui doivent ſe contrebalancer, ne ſe trouvera point alteré. Si le bau eſt deux fois plus long, la voile ſera deux fois plus large, & aura deux fois plus de hauteur; ainſi la ſurface ſera quatre fois plus grande; & comme ſon centre d'effort ſera auſſi deux fois plus élevé, ſon moment ſera huit fois plus grand. Mais ſi l'effort relatif du vent pour faire verſer le Navire, eſt huit fois plus grand; d'un autre côté la peſanteur du Navire qui s'y oppoſe, aura huit fois plus de moment; & il n'y aura donc rien à craindre. Le Navire en effet aura le même nombre de coupes verticales faites perpendiculairement à ſa longueur, & qui ſervent d'élement à ſa ſolidité; mais chacune ſera quatre fois plus grande; & la peſanteur quadruple du Navire étant ſituée deux fois plus bas ou deux fois plus avantageuſe-

ment, puiſque le Navire eſt deux fois plus creux, aura huit fois plus de force relative ou de moment; préciſément, comme il eſt néceſſaire pour entretenir toujours l'équilibre avec l'effort du vent. On voit aſſez qu'il ſuffit de joindre cette ſeconde régle avec la premiere; pour qu'on ſoit toujours en état, auſſi-tôt qu'on aura un Navire dont la mâture ſera parfaite, de déterminer la mâture de toutes les autres, & de ceux même qui ne ſont pas ſemblables, pourvû que les coupes verticales de la carène le ſoient. La premiere régle porte que *dans les Vaiſſeaux ſemblables, les quarrés de la hauteur de la mâture doivent être comme les cubes des dimenſions ſimples des Navires.* Selon la ſeconde régle, *les hauteurs des mâts doivent être proportionelles aux largeurs des Navires, dont les longueurs ſont les mêmes.* Ces deux régles étant admiſes, on peut ſe prévaloir de ce qu'il y a de meilleur dans les diſpoſitions ordinaires; on cherchera la hauteur de la mâture de chaque Navire, comme s'il étoit ſemblable à ceux du troiſiéme rang, tels qu'on les conſtruit aujourd'hui: & il n'y aura plus enſuite qu'à retrecir ou élargir les voiles, & diminuer ou augmenter la hauteur de la mâture déja trouvée, ſelon que le Navire ſera plus ou moins large.

On peut trouver encore quelqu'autres maximes qui tendront au même but que les précedentes; c'eſt-à-dire qu'elles ſerviront à diſpoſer la mâture d'un Navire auſſi-tôt qu'on en aura un autre bien mâté. En voici, par exemple, une troiſiéme. *Dans les Navires de même groſſeur, mais de différentes longueurs, les hauteurs de la mâture doivent être comme les racines quarrées des longueurs.* Car la force relative qu'ont ces Navires pour ſoutenir la voile, ou pour s'oppoſer à l'inclinaiſon, eſt proportionelle à leur longueur, puiſqu'elle ne change par aucun autre endroit. Le centre de gravité ne monte ni ne deſcend; c'eſt ſeulement la peſanteur totale qui eſt plus ou moins grande, ſelon la longueur; & le moment où la force relative doit donc ſuivre le même raport. Mais auſſi-tôt que la largeur du Vaiſ-

Digitized by Google

ſeau ne change pas, celle des voiles eſt auſſi toujours la même; & l'effort relatif qu'elles font pour faire incliner le Navire, ne dépend que de leur ſeule hauteur, mais en dépend deux fois; l'une, parce que cette hauteur fait croître la ſurface expoſée au vent; l'autre, parce que le centre d'effort ſe trouve plus élevé, ou le bras de levier plus long. Ainſi le moment où la force relative des voiles croît comme le quarré de leur hauteur; & il faut dans le cas de l'équilibre, que ce quarré ſoit proportionel à la longueur du Navire qui exprime l'autre moment: & par conſéquent les hauteurs même des mâts ou des voiles, doivent être comme les racines quarrées des longueurs des Navires. Supoſé qu'en laiſſant à un Vaiſſeau la même groſſeur, c'eſt-à-dire la même largeur & la même profondeur, on voulût le faire quatre fois ou neuf fois plus long, il faudroit, ſelon cela, faire ſeulement ſa mâture deux fois ou trois fois plus haute. Enfin ſi on réunit cette troiſiéme régle avec la ſeconde établie ci-deſſus (qu'il faut donner aux Navires de même longueur, mais de différentes groſſeurs, une mâture, dont la hauteur ſoit comme leur largeur,) on en concluëra ce quatriéme Théoreme; que *dans les Vaiſſeaux de differentes longueurs & de differentes groſſeurs, les hauteurs de la mâture doivent être en raiſon compoſée des largeurs des Navires, & des racines quarrées de leur longueur, ou qu'elles doivent être comme les produits des largeurs par les racines quarrées des longueurs.*

IV.

Toutes ces choſes deviendront ſans doute plus évidentes par les diverſes remarques que nous ferons dans la ſuite; principalement lorſque nous entreprendrons de parler de la Mâture d'une maniere plus exacte. Mais ceux des Lecteurs qui ne ſont point accoûtumés à ſuivre les raiſonnemens géométriques, peuvent par l'expérience, ſe convaincre aiſément de la vérité de la plûpart des choſes que nous avançons. Si la hauteur de la mâture doit être proportionelle dans tous les Navires, elle doit l'être auſſi-

Digitized by Google

bien dans les plus petits que dans les plus grands; & ſi au contraire cette régle eſt défectueuſe, le vrai moyen de manifeſter ſon défaut, & de le faire, pour ainſi dire, toucher au doigt, c'eſt de l'appliquer à un Vaiſſeau monſtrueux par ſa grandeur, ou à un Navire ſi petit, qu'il n'ait qu'un ou deux pieds de longueur. On peut de cette ſorte mettre aiſément la régle à une épreuve qui en doit être la vraye pierre de touche. Pendant que j'étois au Havre-de-Grace, & que toutes ces choſes me rouloient dans l'eſprit, je fis faire deux petits Navires parfaitement égaux, & ſur la même forme, qu'une Frégate nommée *la Gazelle*, que le Roy faiſoit alors conſtruire, & qui étoit encore ſur le chantier. Mes deux petits Navires avoient 15 ou 18 pouces de long; je ne me ſouviens pas bien de leur grandeur exacte; mais je ſçai qu'on eut toutes les attentions poſſibles pour les rendre ſemblables à la Frégate, & qu'on en mâta un préciſément de la même maniere qu'elle devoit l'être. Je me chargeai de la mâture de l'autre que je ne voulus pas rendre abſolument parfaite; afin de ne changer la diſpoſition ordinaire que le moins qu'il étoit poſſible. Enfin nous donnâmes préciſément la même charge ou le même leſt aux deux petits Navires: & nous les portâmes ſur une piece d'eau aſſez étenduë, & où le vent qui étoit très-violent, ſe faiſoit ſentir avec beaucoup de force. A peine l'expérience fut-elle commencée, que le petit Navire entierement diſpoſé comme la Gazelle, verſa cent fois, ou *fit capot*, au grand étonnement des ſpectateurs, qui ne conſideroient pas que ſi on avoit eu le ſoin de proportioner tout, de rendre toutes les parties du petit Navire 50 ou 60 fois plus petites que celle de la Frégate qui nous avoit ſervi de modéle, ou n'avoit pas pû rendre le vent moins rapide ou moins fort; & qu'on expoſoit donc ce petit Navire à une vraye tempête, à une tempête ſi furieuſe, que les grands Vaiſſeaux n'en avoient jamais éprouvé de telles. Il faut convenir que les voiles du petit Navire étant 60 fois moins hautes & moins larges, l'impulſion qu'elles recevoient, étoit 3600 fois moindre que celles qu'euſſent reçuës

reçuës du même vent les voiles de la Frégate, & leur moment pour faire verſer ce petit Navire, étoit 216000 fois plus foible. Mais la force qu'avoit la peſanteur du petit Navire pour le faire relever, étoit diminuée encore 60 fois davantage : car ſa peſanteur même étoit déja 216000 moindre, & appliquée qu'elle étoit à un bras de levier 60 fois moins long, elle devoit avoir 12960000 fois moins de force relative ou de moment. Après cela il n'étoit pas étonnant que le petit Navire qui avoit 60 fois moins de force à proportion que la Gazelle, pour ſoutenir la voile, ne réſiſtât pas un ſeul inſtant à l'effort du vent, & qu'il n'y réſiſtât pas même encore après qu'on eut ſerré une partie de ſes voiles, & que beaucoup de perſonnes qui ne s'intéreſſoient peut-être que trop à ſa conſervation, euſſent fait une infinité de divers changemens à ſa mâture, pour ſauver, s'il étoit poſſible, l'honneur des regles vulgaires.

Je ne ferai point difficulté d'avoüer que celui que j'avois pris ſoin de mâter, verſa auſſi pluſieurs fois ; & cela, comme je l'ai déja dit, parce que je m'étois contenté de donner à ſa mâture une diſpoſition plus approchante de la parfaite, en ne retranchant ſimplement que les principaux défauts de la diſpoſition ordinaire, & que le vent qui étoit très-impétueux, ſouffloit de tems en tems avec encore plus de violence. On dit ſouvent, lorſqu'il s'agit de machines, qu'elles ne réuſſiſſent pas toujours auſſi-bien lorſqu'elles ſont exécutées en grand, que lorſqu'elles ſont exécutées en petit : au lieu que c'eſt tout le contraire dans l'Architecture Navale. Les expériences faites en petit, ſont toujours très-peu favorables par les raiſons que j'ai expoſées. Mais l'autre petit Navire, après qu'on eût ſerré une partie de ſes voiles, verſoit encore 20 ou 30 fois contre le mien une, & s'obſtinoit, pour ainſi dire, à montrer toujours que la mâture ne doit pas être proportionelle aux autres parties du Vaiſſeau. Je ne me permis outre cela aucun changement ; j'avois établis les mâts dans d'autres places ; j'avois donné aux voiles des dimenſions différentes, & je n'avois été aidé à diſpoſer toutes ces

choſes par aucune tentative précedente, ni par aucun tâtonement. Je voulu que mon petit Navire portât toujours les voiles hautes ; quoiqu'elles fuſſent beaucoup plus grandes que toutes celles de l'autre, & je me fis une loi de n'y toucher pour les orienter, que lorſqu'il fut queſtion de l'eſſayer dans quelqu'autre route. Il affronta la tempête dans cet état; & parvenu à l'extrémité de la piece d'eau qui avoit 30 ou 40 toiſes de largeur, & qu'il franchiſſoit avec une viteſſe ignorée des Marins, ſon mouvement le portoit toujours à terre, en le faiſant s'élancer & ſauter ſur le bord.

CHAPITRE VII.

Des principaux Cordages qui ſoutiennent la Mâture, & qui ſervent à la manœuvre des voiles.

I.

IL ſeroit difficile de donner une explication complete de tous les cordages qui ſervent dans les Vaiſſeaux, à cauſe de l'imperfection des figures qu'il faudroit employer pour cela; ainſi c'eſt ici principalement où nous devons nous attacher à être court. Les *haubans* ſont ces eſpéces d'échelles de cordes qui ſont aux deux côtés de chaque mât ; ils ſervent à le ſoutenir, en même tems qu'ils ſervent aux Matelots à monter à la hune, par le moyen des *enflechures*, ou de ces cordes horiſontales qui ſont comme des échelons. Comme les haubans tirent le ſommet du mât d'un côté & d'autre fort obliquement, chacun ne travaille pas beaucoup à le ſoutenir ; & c'eſt pour cela qu'on eſt obligé d'en mettre pluſieurs, quelquefois dix de chaque côté, & de leur donner une groſſeur conſidérable. Cette groſſeur eſt ordinairement pour ceux du grand mât, égale au tiers de celle du maître cable. Les mâts ſupérieurs ont

Digitized by Google

auſſi leurs haubans : ceux, par exemple, du grand mât de hune viennent ſe rendre au bord de la circonference de la hune qui eſt au haut du grand mât. Mais ces haubans qui s'éloignent ſi peu du pied du mât qu'ils ſont deſtinés à ſoutenir, ne font preſque aucun effort : les mâts ſupérieurs ſont ſoutenus bien davantage par d'autres cordages qui deſcendent de leur ſommet juſqu'aux côtés même du Navire, & qu'on nomme *cale-haubans*.

Pendant que les mâts ſont ſoutenus à droit & à gauche par les *haubans* & les *cale-haubans*, & qu'ils ne peuvent pas tomber non plus vers la proüe ; parce que quelques-uns de ces cordages ſe trouvent beaucoup en arriere du mât; il y en a d'autres deſtinés à les empêcher de tomber vers la poupe, & on les nomme *étays*, comme je crois l'avoir deja dit. Ces étays ſervent principalement dans le tangage, ou lorſque le Navire ſouffre ces balancemens très-vifs, auſquels il eſt quelquefois expoſé dans le ſens de ſa longueur. La proüe tombant avec force par la propre peſanteur du Vaiſſeau, la mâture qui n'eſt pas déterminée par ſon poid à prendre le même mouvement, reſteroit en arriere, ce qui la feroit infailliblement rompre vers le pied, ſans que le haut de chaque mât étant comme lié à la proüe par le moyen des étays, eſt obligé de ſuivre le Navire, malgré ſa chute précipitée. On nomme *grand étay* celui KL (Fig. 37.) qui partant du haut du grand mât, Fig. 37. vient ſe rendre au beaupré proche de l'étrave ; & il a de groſſeur ordinairement les deux tiers de celle du maître cable. Les autres mâts ont auſſi leurs étays. L'explication que nous venons de faire de leur uſage, montre aſſez qu'ils ſont abſolument néceſſaires.

Outre ces cordages qui ſoutiennent les mâts, il y en a d'autres qui ſoutiennent les vergues; tels ſont *les itagues* & les *driſſes*. La vergue qui peut gliſſer le long du mât, ſans avoir la liberté de s'en éloigner, à cauſe d'une eſpece de colier ou de chapelet nommé *racage*, qui étant attaché à la vergue, fait le tour du mât, eſt ſuſpenduë par ſa *driſſe*, & ce cordage paſſe dans une poulie qui eſt ſoutenuë elle-

même par l'*itague*. On ſe ſert de la driſſe lorſqu'on veut *hiſſer* ou *caler* la vergue ; c'eſt-à-dire la faire monter ou deſcendre ; mais on ne touche à l'itague que lorſqu'on veut hauſſer ou baiſſer la poulie qui ſert comme de point d'apuy. Les vergues ſont encore ſoutenues par leurs deux extrémités par les *balancines*, qui ſervent en même tems à les élever, lorſqu'on le veut, par l'une ou l'autre extrémité. Ces balancines ne ſont jamais ſimples : pour diminuer le travail des Matelots, il y a toujours pluſieurs poulies ou pluſieurs mouffles qui multiplient la force, & la partie du cordage qui eſt *frapée* ou *amarée* à demeure, ſe nomme le *dormant*, & c'eſt la même choſe dans pluſieurs autres manœuvres. Nous avons repréſenté dans la Figure 37. les balancines de toutes les vergues : KM & KN ſont celles de la grande vergue ; mais nous n'avons pas pû marquer la partie de ces cordages qui deſcendant le long du mât, vient tomber dans le Vaiſſeau. Les extrémités des balancines de toutes les autres vergues, ont auſſi leur place aſſignée dans le Navire, & toujours la même : c'eſt la même choſe de tous les autres cordages, afin que les Matelots ſçachent de jour & de nuit où il faut les aller chercher.

La plûpart des autres manœuvres ſervent principalement à orienter les voiles. Les *bras* ſont des cordages appliqués aux extrémités des vergues, & qui ſont deſtinés à les mouvoir horiſontalement. Ces cordages vont vers la poupe, & c'eſt pour cela qu'on dit qu'on *braſſe* une vergue, lorſqu'on tire une de ſes extrémités vers l'arriere. A chaque des deux angles d'en bas de la voile, ou à *ſes points*, il y a d'autres cordages qui ne ſervent qu'à l'orienter. Il y a un de ces cordages par le moyen duquel on la tire de l'arriere, & c'eſt l'*écoute* QR ou OS ; & lorſque par le moyen de cette manœuvre on tire effectivement l'angle ou le *point* de la voile vers la poupe, on dit qu'on *la borde*. Un autre cordage appliqué auſſi à chaque coin d'en bas, ſert à la tirer en avant ; c'eſt ce qu'on nomme *amurer*, & le cordage QP qui ſert à ce mouvement, ſe nomme *le coüet*.

Digitized by Google

Ainſi *border* la voile, c'eſt tirer un de ſes angles vers l'arriere par le moyen de *l'écoute :* & *l'amurer*, c'eſt la tirer au contraire en avant par le moyen *du coüet*. Dans les routes obliques, la voile, au lieu d'être ſituée perpendiculairement à la quille, eſt ſituée obliquement; & il eſt clair qu'elle eſt alors *bordée* d'un côté, & *amurée* de l'autre. La grande voile (Fig. 37.) eſt amurée en P; elle eſt amurée du côté droit du Navire, ou du côté de *ſtribord*, pendant qu'elle eſt bordée de l'autre côté, du côté gauche, ou de *bas bord*. La droite & la gauche dans le Vaiſſeau ſe prennent toujours par raport au ſpectateur tourné vers l'avant ou vers la prouë. Fig. 37.

Lorſqu'on amure la grande voile, il y a un terme où l'on tâche ſouvent de parvenir. Le coüet paſſe dans le trou P, qu'on nommoit *dogue d'amure*, à cauſe ſans doute, du mufle dont on l'ornoit, & qu'on nomme à préſent *porte-amure ;* & on tâche d'en faire approcher le plus qu'on peut le coin de la voile. Pour déterminer la place du *porte-amure*, les conſtructeurs prennent ordinairement la longueur du maître bau, ou la largeur du Navire ; & ils la portent horiſontalement & obliquement ſur le pont, depuis le grand mât juſqu'à la rencontre du bord ou du flanc du Vaiſſeau du côté de l'avant, & ils ont l'endroit requis P. Comme le Navire conſerve à peu près la même largeur ſur une longueur aſſez conſidérable, l'opération précédente, pour déterminer la place du *porte-amure*, fait que la voile amurée, autant qu'il eſt poſſible, forme un angle d'environ 30 degrez avec la quille, & ne peut pas en faire un moindre. Cette opération oblige encore à ne donner par en bas à la grande voile qu'une largeur environ double du Vaiſſeau : mais par en haut rien n'empêche de rendre la voile plus large, en allongeant la vergue. Je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à rendre cette largeur égale à deux fois & demie celle du Vaiſſeau, comme je le dirai dans la ſuite.

Les voiles inférieures ſont amurées & bordées ſur le corps même du Navire ; au lieu que les ſupérieures ſont

Fig. 37. toujours bordées sur les vergues des voiles qui sont au-dessous. Le grand hunier, par exemple, est bordé sur la grande vergue MN. Cette disposition est cause que les voiles supérieures sont toujours mieux tenduës, & que non-seulement elles font plus d'effet, mais qu'elles ne rendent pas non plus le Navire sujet dans les routes obliques à une si grande *dérive* ou déviation : C'est-à-dire, qu'elles ne le font pas singler sur une ligne si differente de la direction de la quille. Les voiles basses sont au contraire extrémement courbées, & pendant qu'une partie de leur surface pousse dans le sens de la route, une autre pousse de côté, & quelquefois une troisiéme pousse de l'arriere, & nuit par conséquent à l'effet qu'on se propose. C'est ce qu'on doit tâcher d'éviter avec soin ; & c'est pourquoi il est avantageux, quand on le peut, de porter avec des *boutes-hors*, ou par quelques pieces de bois, les coins inférieurs des voiles basses considérablement au dehors du Navire, afin de les tendre plus parfaitement.

Les *boulines* servent aussi à procurer cette plus grande tension. Elles sont appliquées aux deux côtés de la voile, & on les tire vers l'avant, lorsqu'on veut empêcher la voile de se courber, & qu'on veut que le vent la frape mieux. Il seroit inutile de faire usage des boulines, lorsqu'on marche vent en poupe, ou lorsqu'on présente seulement un peu le côté au vent, ou qu'on va *vent largue*, pour parler comme les Marins. On ne s'en sert ordinairement que lorsqu'il s'agit *de pincer le vent*, ou de lui présenter la proüe ; ce qu'on nomme *singler au plus près*, ou *aller à la bouline*.

D'autres manœuvres ne servent qu'à serrer les voiles, ou à les plier avec facilité. Telles sont celles qu'on nomme les *cargues*, qui n'ont d'autre usage que d'élever la voile vers la vergue ; & comme les voiles sont souvent fort grandes & fort pesantes, chacune a plusieurs cargues. Il y en a deux, & ce sont celles *de fond*, pour élever le milieu du bas ou de *la bordure*. Deux autres, & ce sont les *cargues points*, sont appliquées aux coins inférieurs de la voile, &

Digitized by Google

enfin deux autres qui partent d'environ le milieu des deux côtés, ſe nomment *les cargues boulines*. Il ſuffit de peſer dans le Vaiſſeau ſur toutes ces manœuvres, pour élever dans un inſtant toutes les parties de la voile à la fois, & cette maniere de la plier, ſe nomme *la carguer*. Fig. 37.

On regarde ordinairement dans la Marine comme une choſe très-difficile, de régler la longueur de toutes ces manœuvres, & d'une prodigieuſe quantité d'autres que nous obmettons. On ne veut pas s'aſſujettir à monter au haut des mâts, & aller meſurer actuellement la longueur qu'il faut donner à chacune; & pour ſe diſpenſer de cette peine, il faut que les Marins ſe chargent la mémoire de je ne ſçai combien de petites régles. La longueur des haubans, par exemple, doit être plus grande que la hauteur des mâts au-deſſus du Navire, puiſque ces haubans ſont comme les hypothéneuſes d'un triangle rectangle, dont la hauteur du mât eſt un des côtés, & la demi-largeur du Navire l'autre. Un Géométre, en faiſant une figure en petit, pour repréſenter les contours & le chemin de chaque manœuvre, ne ſeroit jamais embarraſſé dans ces ſortes de déterminations; mais les Marins qui en ſont chargés, ne ſont ordinairement rien moins que Géométres. Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail de toutes ces choſes: tout ce que nous pouvons faire de plus, c'eſt d'expliquer le moyen dont on ſe ſert ſouvent pour trouver la longueur des manœuvres pour les Vaiſſeaux de toutes ſortes de grandeurs; auſſi-tôt qu'on a une figure qui marque ces longueurs, pour un Navire d'une grandeur déterminée, & qu'on ſupoſe que toutes ſes parties ſont proportionelles à celles des autres.

II.

Maniere de former une échelle pour trouver ſur la même figure, la longueur des manœuvres pour tous les Vaiſſeaux.

On fait une figure à peu près ſemblable à la trente-ſeptiéme, dans laquelle on marque la longueur exacte des mâts, des vergues & des principales manœuvres. La

Digitized by Google

perſpective ne doit rien alterer dans cette figure; ainſi au lieu de repréſenter les vergues dans leur ſituation naturelle, on eſt obligé de les étendre dans le ſens même de la longueur du Navire, ce qui n'empêche pas de les accompagner des balancines, des bras, &c. Cette figure étant faite avec ſoin, il eſt évident qu'il n'eſt plus néceſſaire que d'avoir une échelle, pour pouvoir meſurer les dimenſions de chaque partie, ſoit en pieds, ſoit en braſſes. Toute la difficulté conſiſte à faire enſorte que cette échelle puiſſe ſervir pour tous les Vaiſſeaux. *L'échelle compoſée* qu'il faut pour cela, ſe trouve entre les mains de pluſieurs Marins, & l'uſage s'en eſt introduit depuis aſſez long-tems, pour qu'on n'en connoiſſe pas l'Auteur: preſque toutes celles qu'on a, ne ſont plus auſſi que des copies les unes des autres, qui ſont continuellement devenuës plus imparfaites; & ſi la conſtruction en eſt ſouvent ignorée, la démonſtration l'eſt encore plus.

Supoſé que la droite AB (Fig. 39.) ſoit diviſée en parties égales, & puiſſe ſervir d'échelle, lorſqu'on veut meſurer toutes les parties du Navire de la Figure 37, que nous feindrons avoir 20 pieds de bau ou de largeur, il eſt évident que pour trouver ſur la même Figure 39, les dimenſions des parties ou des manœuvres d'un Navire qui a deux fois plus de bau; il n'y a qu'à les meſurer ſur une échelle DE, dont les parties égales ſoient deux fois plus petites. Car une vergue, par exemple, meſurée ſur cette ſeconde échelle, ſe trouvera contenir deux fois plus de pieds de longueur; & c'eſt ce qui doit arriver effectivement, ſi toutes les parties des Navires ſont proportionelles. Par la même raiſon ſi le Navire pour lequel on demande la longueur des manœuvres, a 30 pieds de bau, au lieu de 20, toutes les manœuvres ſeront plus grandes dans le même raport; & pour trouver ces longueurs en braſſes ou en pieds, ſur la même Figure 37, il faudra donc les meſurer ſur une droite LN (Fig. 39.) diviſée en parties égales; mais dont les parties ſoient plus petites que celles de AB, dans le raport de 20 à 30. *L'échelle compoſée* doit

Fig. 37. & 39.

être

être ainſi comme formée d'une infinité d'échelles particulieres. On prendra toujours la grandeur des parties ou des manœuvres ſur le Navire de la Figure 37, mais on les portera enſuite ſur differentes lignes de l'échelle compoſée (Fig. 39.). Pour chaque differente grandeur de bau, il y aura une échelle differente ; & on ſçaura toujours de laquelle on doit ſe ſervir, en jettant les yeux ſur les nombres marqués le long de la ligne droite ADC.

Cette ſimple expoſition nous fournit la maniere de conſtruire aiſément l'échelle dont il s'agit, laquelle peut avoir de grands uſages en pluſieurs autres rencontres, qui n'ont aucun raport à l'Architecture Navale. Toutes les parties correſpondantes des differentes échelles, doivent être interceptées entre des lignes droites ou tranſverſales qui concourent toutes dans un même point C, pris à volonté ſur AC. J'éleve à AC une perpendiculaire CF, il n'importe de quelle longueur, & par ſon extrémité F, je tire une parallele FG à CA, & ſa longueur FG eſt encore arbitraire. Enfin tirant par le point G une droite indéfinie GH parallele à FC, je la diviſe en parties égales d'une grandeur encore arbitraire, à commencer du point G ; & il ne reſte plus qu'à tirer du point F des droites FA, FL, FD, &c. par tous les points de diviſion de GH, & elles viendront indiquer ſur AC les points où on doit placer les échelles particulieres AB, LN, DE, &c.

Les parties GI, GK, &c. de GH, repréſentent les longueurs des baux, ou au moins leur ſont proportionelles : c'eſt pourquoi je tranſporte ſur AC les nombres qui ſont marqués ſur GH ; & ces nombres indiquent les longueurs des baux, ou indiquent les échelles dont il faut ſe ſervir pour chaque Navire. Chaque triangle, comme FGK étant ſemblable à ſon correſpondant LCF, on a cette proportion ; FG eſt à GK, comme CL eſt à FC, laquelle nous apprend que les rectangles des lignes comme GK par CL, ſont continuellement égaux à celui de FG par FC qui eſt conſtant. Ainſi les lignes GK & CL ſont en raiſon réciproque l'une de l'autre ; & par conſéquent GK & LN ſont

auſſi en raiſon réciproque, puiſque les lignes CL & LN ſont continuellement en même raport. C'eſt-à-dire donc que toutes les longueurs des diverſes échelles particulieres AB, LN, &c. ſont en raiſon inverſe des longueurs des baux qu'indiquent les parties de GH à commencer au point G, ou qu'indiquent les nombres marqués le long de AC. Si le bau d'un Navire eſt double de celui d'un autre, ſi l'un eſt de 40 pieds & l'autre de 20, l'eſpace GM ſera double de GI ; & par conſéquent CA ſera double de CD, de même que AB de DE, & ces deux dernieres lignes ſeront propres à former deux échelles, ſur leſquelles les mêmes parties du Vaiſſeau ſe trouveront avoir deux valeurs differentes, double l'une de l'autre. *L'échelle compoſée* étant achevée, on peut effacer toutes les lignes qui n'ont ſervi qu'à ſa conſtruction. La droite AC ſe trouve ici diviſée en progreſſion harmonique, parce que les tranſverſales ſont des lignes droites : mais on pourroit diviſer AC en parties égales, ou tirer toutes les paralleles à une égale diſtance les unes des autres ; & alors les tranſverſales deviendroient des arcs d'hyperboles.

Digitized by Google

TROIE'ME SECTION.

De la réſiſtance ou de la force dont les parties du Vaiſſeau doivent être capables.

CE n'eſt que depuis que nous connoiſſons l'uſage auquel ſont deſtinées les diverſes parties du Navire, que nous ſommes en état de ſçavoir la force qu'elles doivent avoir, & de régler la groſſeur qu'on doit leur donner. Le fameux Galilée eſt le premier qui en traitant de la réſiſtance des ſolides, a eu la gloire d'inventer une nouvelle ſcience; mais depuis lui pluſieurs Auteurs ont extrémement perfectionné ce ſujet. Tels ſont Meſſieurs Blondel, Marchetti, Mariote, Leibnitz, Varignon, Parent, &c. M. de Muſſchenbroek vient en dernier lieu de nous donner, ſous le nom d'introduction à cette matiere, une Diſſertation quon peut auſſi regarder comme un Traité. Nous nous contenterons, ſans nous trop étendre, & en éloignant le plus que nous pourrons, les difficultés d'une ſpéculation qui a été pouſſée fort loin, d'inſiſter ici ſur les choſes de pratique, que les Conſtructeurs & les Marins ſont principalement intéreſſés de ſçavoir.

CHAPITRE PREMIER.

De la réſiſtance abſolue des matériaux qui entrent dans la Conſtruction.

I.

NOus n'avons que peu de choſes à dire ſur la force abſoluë des bois; c'eſt-à-dire ſur celle dont ils ſont

capables lorſqu'ils travaillent dans le ſens de leur longueur. On voit aſſez évidemment que dans les bois de même eſpéce, cette force doit être proportionelle à peu près à la groſſeur abſoluë de la piece, ou à l'étenduë de ſa coupe perpendiculaire, puiſque c'eſt de cette étenduë que dépend le nombre des fibres qui réſiſtent. Ainſi on peut juger, en cas de beſoin, de la force qu'a une groſſe piece de bois, comme une poutre, par celle qu'ont des bâtons du même bois, ſur leſquels il eſt facile de faire des eſſais. On peut regarder, par exemple, comme un principe d'expérience, qu'une régle de chêne qui eſt quarrée, & qui a un quart de pouce pour chaque côté de ſon épaiſſeur, ne ſe rompt, lorſqu'on la tire dans le ſens de ſa longueur, que lorſqu'elle eſt chargée d'environ 1000 livres. Il ſeroit peut-être à propos de répéter cette expérience; mais ſupoſé qu'elle ſoit bien faite, une régle du même bois qui a de groſſeur un pouce en quarré, doit ſoutenir 16 fois plus, & ne doit ſe rompre que par 16000 livres ou 8 tonneaux; & une poutre qui a un pied en quarré d'épaiſſeur, par 2304000 livres ou 1152 tonneaux.

Il s'en faut beaucoup que le bois de ſapin qui entre auſſi très-ſouvent dans la conſtruction des Vaiſſeaux, ait autant de force; il n'a gueres que les $\frac{1}{7}$ de celle du chêne, lorſque l'un & l'autre ſont tirés ſelon leur longueur. Mais ce raport peut varier ſelon la maniere dont le bois eſt nourri. Il y a une très-grande difference entre les peſanteurs ſpécifiques des divers bois de ſapin dans le tems même qu'ils ſont également ſecs; & je ne doute pas qu'il ne ſe trouve à peu près la même varieté ſur leur force C'eſt ce que je ne faiſois que ſoupçonner lorſque j'étois au Pérou, & que je travaillois à ce Traité: mais j'aprends à mon retour en France, que M. de Buffon a fait pluſieurs épreuves ſur le chêne, qui prouvent au moins que ce dernier bois eſt effectivement plus fort dans le même raport qu'il eſt plus peſant. Lorſqu'on ſera des eſſais ſur la réſiſtance des bois, il eſt à propos de les faire ſur des pieces priſes à peu près au milieu du rayon de l'arbre. Si on prenoit un morceau

Digitized by Google

de bois vers le centre, on le trouveroit beaucoup plus fort; & ſi on le prenoit au contraire vers l'écorce, on le trouveroit plus foible. C'eſt ce qui eſt vrai à l'égard de tous les arbres, ſi l'on excepte les palmiers, & encore quelques autres eſpeces de bois, dont on ne ſe ſert gueres, & qu'il eſt facile de diſtinguer. Dans les ouvrages de charpente, on rejette toujours l'aubier, c'eſt-à-dire l'accroiſſement qu'a reçu l'arbre ſur toute ſa circonference, pendant le cours de la derniere année. Mais ce qui étoit aubier une année, devient bois parfait la ſuivante; & cependant il n'eſt pas encore d'une ſi forte conſiſtance que le bois qui eſt plus voiſin du centre. Cette différence eſt cauſe que généralement parlant, une poutre quarrée n'eſt pas ſi forte à proportion qu'une piece de bois ronde, priſe au-dedans de la quarrée, parce que tous les angles de cette derniere ſont formés de bois qui n'a pas encore acquis la compacité de l'autre. Selon toutes les apparences, c'eſt de la force même du bois qui eſt vers le centre de l'arbre, que naît la facilité qu'il a à ſe gâter. Les canaux, à force de recevoir de nouvelle matiere, ſe rétréciſſent, & ne permettent plus également la circulation: le ſuc ſe corrompant par ſon ſéjour, l'arbre s'altere, & il commence toujours à le faire par le milieu. C'eſt aux Charpentiers à ſaiſir l'arbre avant cet accident. L'arbre ſe perfectionne juſqu'à un certain terme, dans lequel il ne perſiſte pas toujours aſſez; & enſuite il déperit.

II.

De tous les métaux celui qu'on employe pour la force le plus ordinairement, eſt le fer, parce qu'il eſt le plus commun. Il ne s'en faut gueres auſſi qu'il ne réſiſte le plus de tous. L'or ſeul eſt plus fort d'environ une neuviéme partie, & on peut prendre pour principe d'expérience, lorſqu'il ne s'agit de comparer que des barres qui ont peu de groſſeur, qu'un fil de fer d'une ligne de diamétre ne ſe rompt que lorſqu'il eſt chargé d'environ 650 livres. Ainſi une barre de fer cylindrique d'un demi-pouce de diamétre, ne

ſeroit expoſée à ſe rompre que lorſqu'elle eſt chargée de 23400 livres ; ou d'environ 12 tonneaux. Le cuivre rouge n'a qu'environ les $\frac{2}{3}$ de la force du fer : au lieu que le laiton réſiſte davantage que le cuivre rouge ; il a environ les $\frac{4}{5}$ de la force du fer. Il eſt à propos auſſi de répéter les expériences, lorſqu'on veut employer ces métaux : car l'hétérogenéité à laquelle ils ſont ſujets, peut apporter beaucoup de difference dans leur force, principalement dans celle du fer. La maniere de forger ce dernier métail, doit auſſi y cauſer du changement. On juge aſſez qu'on ne peut pas forger, quelque ſoin qu'on y mette, une barre de fer qui a pluſieurs pouces de diamétre, comme la verge d'une ancre, avec le même ſuccès qu'on forge une verge moins groſſe. On ne réuſſit pas également par le marteau à obliger les parties les plus intimes à s'aranger toutes dans le même ſens & dans celui de la longueur. Lorſqu'il s'agit au contraire d'un ſimple fil de fer, le paſſage par la filiere le rend plus ſerré, en même tems qu'il contribue à lui procurer cet arrangement de parties qui doit tant augmenter ſa force. Il eſt fâcheux qu'en raportant les régles que nous ont données differens Auteurs ſur la réſiſtance des corps ſolides, on ne puiſſe jamais ſe diſpenſer d'avertir qu'il ne faut pas trop s'y fier, & qu'il ſeroit à propos de ſoumettre toute cette matiere à de nouvelles épreuves.

III.

Il eſt encore une autre eſpéce de force abſoluë des corps ſolides, qu'il ſeroit à propos d'examiner. C'eſt celle qui empêche, par exemple, deux planches chevillées ou clouées enſemble, de gliſſer l'une ſur l'autre, lorſqu'on les pouſſe de côté. Il n'intervient aucune eſpéce de levier dans cette action, auſſi-tôt que les chevilles & les cloux n'ont aucun jeu, & que les deux parties doivent ſe détacher l'une de l'autre par la rupture, en conſervant toujours un parfait paralleliſme. Ce ſont toutes les fibres des chevilles ou des cloux qui réſiſtent à l'effort latéral ; mais com-

Digitized by Google

me elles ſont obligées de ſe coucher les unes ſur les autres, je ne doute pas, quoique je ne l'aye pas expérimenté, qu'elles ne faſſent moins de réſiſtance, que lorſque l'effort ſe fait ſelon leur longueur.

CHAPITRE II.

Des divers moyens qu'on peut employer, pour empêcher les Vaiſſeaux de s'arquer.

TOUS ces eſſais ſerviront non-ſeulement à juger de la force de l'aſſemblage de toutes les parties du Navire, mais auſſi à donner à chaque piéce la groſſeur qu'elle doit avoir, pour rendre le Vaiſſeau durable, & pour l'empêcher de *s'arquer*. On a déja parlé de cet accident, dont les ſuites ne ſont que trop fâcheuſes: On propoſera maintenant quelques expédiens pour tâcher de le prévenir. Il eſt difficile que le Vaiſſeau s'arque en préſentant ſa concavité en bas, ſans que ſa largeur ne diminuë, & ſans que ſes ponts ne s'allongent en même tems. C'eſt ce qu'on voit évidemment lorſqu'on prend une taſſe en gondole, & qu'en la faiſiſſant par les deux extrémités, on tâche de la courber en deſſous: On la rétrecit en même tems qu'on l'allonge par en haut. La même choſe doit arriver aux Navires qui s'arquent: Ainſi pour les rendre plus ſolides, on doit ſe propoſer d'empêcher ces deux effets.

Si les baux au lieu d'être courbes, étoient parfaitement droits, il me paroît qu'ils auroient beaucoup plus de force pour empêcher le Navire de ſe retrecir. On aſſure qu'il eſt indiſpenſable que les ponts ayent de la pente des deux côtés; je m'en raporte: Mais on pourroit mettre au-deſſus des baux une ſeconde piéce qui donnât cette convexité ou cette *tonture* qu'on juge néceſſaire; & on ſe diſpenſeroit enſuite de donner cette extréme courbure au maître bau, qui eſt cauſe que preſque toutes les lignes droites

Digitized by Google

qu'on peut concevoir tirées d'une extrémité à l'autre, sortent de la piéce en dessous vers le milieu. Il n'y a pas de doute qu'une courbure si considérable, lorsque le poids de l'artillerie qui est au-dessus, ne tend point à la détruire & à redresser la piéce, n'ôte au bau la plus grande partie de la force qu'il auroit pour s'opposer au rétrecissement du Navire. Mais ce qui paroîtroit encore beaucoup plus important, c'est que les baux vinssent se terminer aux membres mêmes, & non pas aux bordages: c'est-à-dire qu'au lieu de les placer à côté des membres, on les mît en dedans en les faisant plus courts. Dans la premiere disposition les cloux & les chevilles peuvent ceder un peu, peuvent même avoir quelque jeu, ce qui doit permettre aux deux flancs de s'approcher; au lieu que si le bau étoit renfermé dans la couple même, les deux flancs seroient maintenus, malgré les plus grands efforts, à la même distance l'un de l'autre.

Lorsque le Navire s'arque, les ponts en second lieu se ralongent. Mais il semble aussi qu'on fait dans la Marine tout ce qui est nécessaire pour faciliter ce ralongement. Les ponts, au lieu d'être droits de la poupe à la proüe, sont considérablement courbes, ayant leurs deux extrémités plus hautes que le milieu. Ainsi sans se ralonger réellement, ils n'ont qu'à se redresser, ils deviendront comme plus longs, & ils permettront aux deux extrémités du Navire de tomber un peu. Qu'on fasse au contraire tous les ponts parfaitement droits, qu'on les forme de bordages de chêne suffisamment épais & bien endentés les uns avec les autres; alors ils seront par raport à l'assemblage de la quille, de l'étrave & de l'étambot, ce qu'est une corde roidie par raport à l'arc qu'elle bande: au lieu qu'en rendant les ponts courbes, comme on le fait mal-à-propos, c'est précisément la même chose que si on prétendoit qu'un arc ne se débandât pas, lorsque sa corde est lâche. Si l'on craignoit que les bordages des ponts, quoique forts & quoique parfaitement tendus, ne résistassent pas assez, il y a les illoires qui vont d'une extrêmité du

Navire

Navire à l'autre, en passant par les deux côtés des écoutilles; on pourroit les rendre plus épaisses, & ménager encore moins le fer, pour les lier plus solidement avec les baux.

Il faut remarquer qu'il n'y a point d'autres piéces de bois situées si avantageusement, pour s'opposer à l'accident qu'il s'agit de prévenir. La plus grande partie des bordages qui revêtissent la Carène, bien loin de s'y opposer, contribuent plutôt à le faire augmenter. Tous ceux de dessous n'ayant été assujétis que par force à la figure du Vaisseau, font toujours quelque effort pour se redresser, & si cet effort étoit considérable, il est évident qu'il seroit nuisible. Les bordages plus hauts, & même les preſceintes, qui sont des bordages beaucoup plus épais, qui servent comme de ceintures par en haut au Navire, font peu d'effet, vû leur courbure. Mais rien ne se perd de la force des illoires & des bordages du pont : elle s'oppose toute entiere à la chute de la proüe & de la poupe, pourvû qu'on la mette en action; & pour cela il suffit que les ponts ayent assez de force, & soient parfaitement droits; sans qu'il importe d'ailleurs qu'ils soient parallèles à la quille, ou qu'ils soient moins élevés vers l'avant que vers l'arriere, comme ils l'ont été jusqu'à présent.

Si cette précaution ne suffit pas, on pourroit avoir recours à l'expédient suivant, qui paroît d'une application assez facile. On soutiendroit les baux de distance en distance par le milieu par plusieurs piéces de bois verticales, qui s'appuyeroient sur la carlingue, à peu près comme le représente la figure 40. Ces piéces de bois ou fortes épontilles, sont marquées par ON, ML, &c. il n'en faudroit, à ce que je crois, que 7 ou 8 dans les plus grands Vaisseaux; & on mettroit ensuite des barres de fer qui descendissent de la tête de ces épontilles au pied de l'autre, comme FH, GD; FM, LO, &c. en même tems que d'autres barres de fer lieroient toutes les têtes N, L, F, &c. les unes aux autres. Deux des barres de fer obliques descendroient de la tête de l'épontille FE du milieu : car

il faudroit donner à ces barres obliques une disposition contraire dans la partie de la proüe & dans celle de la poupe. Il suffiroit, à ce que je crois, qu'elles eussent toutes environ deux pouces de diamétre dans les plus grands Vaisseaux ; ce qui les rendroit capables d'un effort absolu de plus de 180 tonneaux. Elles saisiroient par de bons cercles le haut des piéces de bois; & celles qui descendent obliquement, embrasseroient en forme d'étriers non-seulement la carlingue, mais même la contre-quille. Les dernieres barres de fer IK & NP, viendroient se rendre à l'étrave & à l'étambot qu'elles embrasseroient aussi par de forts étriers. Mais il faudroit que la longueur de toutes ces barres de fer se pût racourcir un peu ou par des clavettes, ou par des coins, à cause de la difficulté qu'il y auroit en les mettant en place, de leur donner d'abord la juste longueur qu'elles doivent avoir. La quantité de fer qu'il faudroit pour tout cela ne seroit pas considérable; elle ne seroit gueres que la moitié de celle qui est nécessaire pour les ancres: mais on n'auroit point à se plaindre, s'il falloit en employer une quantité deux ou trois fois plus grande.

Notre attention à proposer ces expédiens, ne doit pas nous faire en oublier un autre qui est déja en usage, & que nous devons à feu M. Gobert, Sous-Inspecteur de Construction. Il consiste à poser les bordages qu'on nomme végres, & qu'on applique sur les membres dans le Vaisseau, non pas parallelement à ceux de dehors, mais obliquement. Cette pratique ne peut avoir que d'excellens effets: car lorsque les bordages tant intérieurs qu'extérieurs, étoient étendus dans le sens de la quille, il arrivoit lorsque le Navire s'arquoit, que les espéces de rectangles que forme l'assemblage des membres & des bordages, ne faisoient simplement que changer un peu de figure, en devenant des lozanges; & il suffisoit pour cela que deux angles s'ouvrissent un peu, pendant que les deux autres se fermoient. Mais lorsque le végrage est posé obliquement, il sert comme de diagonale à ces rectangles, un &

ſimple changement d'angles ou de diſpoſitions dans les côtés, ne ſuffit plus, pour que le Navire s'arque : il faut que ces bordages qui ſervent de diagonales, s'allongent ou ſe racourciſſent ; & ceſt ce qui eſt incomparablement plus difficile. Il ſuit de-là que l'obliquité des végres eſt inutile dans le fond du Navire, ou dans la partie qui eſt preſque horiſontale ; mais qu'il faut l'employer principalement ſur les parties des deux flancs qui ſont à peu près verticales ; parce que c'eſt dans ces endroits où les rectangles formés par les membres & par les bordages extérieurs, changent le plus de figure dans l'accident qu'on veut éviter. Je ne ſçaurois non plus approuver le végrage dont on fait des compartimens, ou comme un parquet. Toute interruption dans les ouvrages de charpente, qui doivent être ſolides, eſt dangereuſe. Il vaut mieux que les végres ſoient de longues piéces ; & pour ne pas diminuer de leur longueur, je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à les rendre toutes paralleles les unes aux autres dans leur obliquité, depuis l'avant juſqu'à l'arriere.

CHAPITRE III.

Où l'on examine ſi les moyens indiqués dans le Chapitre précédent, ſont ſuffiſans pour empêcher les Navires de s'arquer.

IL n'eſt pas difficile de s'aſſurer de la validité des expédiens qu'on vient d'indiquer, pourvû qu'on ſupoſe néanmoins differentes choſes que nous ne pouvons expliquer que dans la ſuite. Pour une plus grande ſimplicité, nous conſidererons le Navire comme s'il étoit formé de deux cônes, & de deux cônes égaux joints par leurs baſes. La coupe verticale de ces deux cônes, ſelon leur longueur, eſt repréſentée par le triangle ABC (Fig. 41.) ou ce qui revient au même, les deux cônes qui forment la carène Fig. 41.

Fig 41. du Navire, ſont produits par une demi-révolution du triangle ACB autour du côté AB qui ſert d'axe. Toutes les coupes de la carène, faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des demi-cercles, & on peut leur attribuer une épaiſſeur infiniment petite par tout égale, pour pouvoir les traiter comme des élemens des deux cônes. Le Navire eſt ſoutenu en chaque endroit par l'eau à proportion du volume qu'occupe ſa carène; ainſi il ſera effectivement ſoutenu en chaque point de ſa longueur, par une force proportionelle à chaque de ces coupes ou tranches verticales élementaires. Il ſera ſoutenu au milieu par un volume d'eau égal à la tranche verticale qui a DC pour rayon; de la même maniere qu'il ſera ſoutenu en I & en L par des volumes d'eau qui ſeront égaux aux tranches qui ont IO & LP pour ſemi-diamétre: c'eſt ce qu'on verra dans le Livre ſuivant. Mais puiſque l'étenduë des tranches eſt proportionelle au quarré de leurs rayons, & que ces rayons ſont proportionels aux diſtances AD, AI, BL à l'une ou à l'autre extrémité de la carène, la force avec laquelle l'eau ſoutient chaque point de la longueur du Navire, & qui eſt proportionelle aux quarrés de DC, de IO, de LP, &c. l'eſt donc auſſi aux quarrés des diſtances AD, AI, LB de ces endroits à l'extrémité de la proüe ou de la poupe; & par conſéquent ces differentes forces peuvent être exprimées par les ordonnées de deux complémens paraboliques AHE & BKE, compris entre les paraboles AHE, BKE, & la droite ADB, qui eſt tangente à leur ſommet A & B.

Telle eſt la diſtribution de la force qui ſoutient le Navire; mais malheureuſement le poids du Vaiſſeau n'eſt pas diſtribué de la même maniere. Son milieu eſt ſoutenu avec plus de force, & c'eſt ce même milieu qui eſt quelquefois moins peſant, parce que les extrémités ſont chargées de gaillards, de dunettes, ou de quelques autres choſes équivalentes. Je ſupoſe que la peſanteur du Navire eſt la même dans toute ſa longueur, ou qu'elle eſt exprimée par les ordonnées du rectangle ABGF, qui doit

Digitized by Google

être par conséquent de même grandeur que les deux complémens paraboliques joints ensemble ; puisque, comme nous le montrerons, la pesanteur du Navire est exactement égale à la force qui le soutient. Le rectangle n'est égal aux deux complémens, que lorsque sa hauteur DC est le tiers de la plus grande ordonnée DE des espaces paraboliques. Ainsi le triangle mixtiligne HKE exprime combien le Navire est trop pouſſé en haut par le milieu de sa carène ; & les deux espaces paraboliques AFH & BGK, marquent au contraire combien il s'en faut que les deux extrémités soient assez soutenuës. Vers le milieu du Navire, la force ED ou RS, avec laquelle l'eau le pousse en haut en chaque point de sa longueur, est plus grande que la pesanteur DC ou ST avec laquelle il tend à descendre ; & l'excès est exprimé par EC ou RT. Vis-à-vis des points H & K où les paraboles coupent le côté FG du rectangle AG, les forces HI & KL de l'eau, sont précisément égales aux pesanteurs IH & LK, qu'a le Navire dans cet endroit ; & au-delà des points H & K, les pesanteurs du Navire sont plus grandes que les forces verticales de l'eau. Or l'espace parabolique HEK qui est formé de tous les excès CE, RT, qu'a la force de l'eau sur la pesanteur du Navire, exprime donc combien la carène est trop poussée en haut vers le milieu ; & par la même raison les deux segmens AFH & BGK, expriment combien la pesanteur des deux extrémités est plus grande que la force de l'eau qui les pousse en haut : D'où il suit qu'ils expriment la force qui tend à faire arquer le Navire, en faisant tomber la proüe & la poupe. Fig. 41.

Puisque HI est le tiers de ED, il faut que AI soit à AD, comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1, & soit à AB comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 2, à cause de la proprieté de la parabole ; & le segment AFH qui est les deux tiers du rectangle AFHI, sera par conséquent au rectangle entier ABGF, qui exprime la pesanteur totale du Navire, comme $\frac{4}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1. C'est-à-dire donc que la force avec laquelle la proüe ou la poupe tend à tomber, est le $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ de toute la pesanteur du Vaisseau, ou environ les $\frac{10}{173}$.

Une remarque qui se présente, & qui est trop importante pour qu'on l'obmette, c'est que si le Navire, au lieu d'être entierement chargé, ou lesté, est presque vuide, comme ce sera de son milieu qu'on aura ôté le plus grand poids, ses diverses pesanteurs en chaque point de sa longueur ne seront plus exprimées par des lignes égales, ou par les ordonnées d'un rectangle, mais par celles d'une ligne courbe FTG (Fig. 42.) Alors DT marquera la pesanteur du Navire au milieu, & AF & BG aux deux extrémités, &c. Mais le Vaisseau étant moins pesant, enfoncera moins dans la Mer: il ne se plongera peut-être plus que jusqu'à la droite VZ, & les forces qu'aura l'eau pour le soutenir, seront exprimées par les ordonnées d'une ligne courbe IEL. Or l'étenduë, ou l'aire de cette courbe qui est la somme de toutes ses ordonnées, sera bien encore égale à l'étenduë AFTGB, qui représente la somme des pesanteurs du Navire: Mais on voit que toutes les pesanteurs & que toutes les forces qui les soutiennent, seront encore distribuées plus differemment, & que l'espace AFHI ou BGKL, qui marque alors combien la proüe ou la poupe tend plus à descendre qu'elle n'est soutenuë, deviendra ordinairement plus grand. Ainsi il est à propos que les Navires dans le Port même, ne soient jamais sans quelque charge ou sans quelque lest: & on voit également que ce lest doit être principalement appliqué vers le milieu de la cale.

Fig. 42.

Je reviens donc au cas que nous examinions, & je supose que le Navire étant entierement chargé ou lesté, enfonce dans l'eau jusqu'à l'axe AB des deux cônes (Fig. 42.), ce qui est cause que la force avec laquelle la proüe ou la poupe tend à tomber, malgré l'effort contraire de l'eau, est représentée par l'espace parabolique AFH, qui n'est égal qu'aux $\frac{1}{2}\frac{6}{5}$ du rectangle entier AG, qui exprime la pesanteur totale du Navire. Si nous voulons avoir maintenant l'énergie ou le moment de cette force, nous considererons que plus elle est éloignée du milieu du Navire, plus elle agit, & qu'il faut donc la multiplier par la distan-

Fig. 42.

Digitized by Google

ce du centre de gravité M ou N de chaque eſpace parabolique à la verticale DC : car c'eſt cette diſtance qui ſert de bras de lévier. Le centre de gravité M répond aux $\frac{1}{4}$ de AI; & par conſéquent ſa diſtance au milieu du Navire eſt à AD comme $1 - \frac{1}{4}\sqrt{\frac{1}{3}}$ eſt à 1, ou en eſt environ les $\frac{78}{100}$: d'où il ſuit que le moment de la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à deſcendre, eſt égal à $\frac{10}{13}$ de la peſanteur du Navire, multipliée par les $\frac{39}{100}$ de la longueur totale, ou à toute la peſanteur multipliée par $\frac{39}{130}$ de la longueur. Il ne reſte plus après cela qu'à attribuer les dimenſions qu'on voudra au Navire, pour avoir la quantité effective de la force dont il s'agit. Si le Navire a 100 pieds de long & 30 de large, ſa peſanteur ſera d'environ 450 tonneaux; & ſi on la multiplie par les $\frac{39}{130}$ de ſa longueur, il viendra environ 3712 pour le moment ou pour la force relative qui tend à faire deſcendre chaque extrémité du Navire, & à ouvrir par conſéquent l'angle ACB. Fig. 42.

Rien ne doit s'oppoſer avec plus d'efficacité à cet effet, que les ponts que nous ſupoſons étendus en ligne droite depuis A juſqu'au B. La poupe & la prouë ne peuvent pas tomber ſans que le pont ne s'allonge; & pour y mettre obſtacle, il n'y a qu'à rendre ſes bordages aſſez forts. Le pont eſt élevé de 15 pieds au-deſſus du point C, qui ſert d'hypomoclion, & le moment de ſa force, ou le produit de cette force par 15 pieds, doit être égal à 3712, moment de la force contraire. C'eſt pourquoi je diviſe ce nombre par 15, & il me vient 247 tonneaux pour la réſiſtance dont doit être capable le pont ſelon ſa longueur. Or cette force n'eſt que très-peu de choſe, en comparaiſon de celle dont il ſera toujours effectivement capable, quand on le voudra. Je ne dis pas les illoires, mais deux de ſes bordages doivent fournir autant de force qu'il en faut; puiſqu'une planche de chêne qui a un pied de largeur, & un pouce & demi d'épaiſſeur, a une forme de 144 tonneaux, à proportion d'une poutre groſſe d'un pied en quarré, qui ne ſe doit rompre, comme nous l'avons vû, que par un poids de 1152 tonneaux : Outre cela nous

Digitized by Google

avons fait toutes les ſuppoſitions les moins favorables que nous avons pû. Car quoique nous ſoyons d'avis qu'on diminuë le renflement de la prouë & de la poupe, nous ne prétendons pas qu'on les rende côniques; ainſi l'une & l'autre ſera plus ſoutenuë par l'eau que nous ne l'avons ſupoſé. Il eſt auſſi très-difficile que dans un Navire chargé ou leſté, chaque coupe verticale des extrémités, peſe autant que celle du milieu.

Ainſi il n'y a point de doute que ſi les Vaiſſeaux s'arquent, ou que ſi leurs extrémités tombent, c'eſt parce qu'on n'a pas ſçu tirer tout le parti qu'on pouvoit, de la force du pont; & on y a manqué principalement, parce qu'on l'a rendu courbe dans ſa longueur, & qu'on a obmis en même tems de le lier aſſez fortement avec les deux extrémités du Navire, ou avec l'étambot & l'étrave. Comme pluſieurs raiſons de convenance empêchent de l'étendre juſqu'à cette derniere piéce, il faut au moins le lier avec le bau le plus voiſin avec de fortes barres de fer. Il ne faut pas non plus que le pont qui doit être formé par des bordages bien continus, vienne ſe terminer ſimplement à l'arriere ſur la barre d'arcaſſe qui ſoutient ſon extrémité : il faut qu'il y ſoit arrêté & fixé avec des bandes de fer cloüées ſur l'un & ſur l'autre, & que cette barre d'arcaſſe ſoit aſſez forte pour ne pas plier, de même que toutes les autres qui ſont en deſſus & en deſſous. Le même motif engage à fortifier la prouë encore plus qu'on ne le fait, par ces piéces de bois courbes & placées horiſontalement en dedans, qu'on nomme guirlandes. On peut, pour les mieux maintenir dans le même état, & les empêcher de céder en ſe courbant davantage, les ſoutenir par pluſieurs faux baux. On doit avoir enfin toujours en vûe dans l'aſſemblage des parties d'un Navire, de mettre toutes ſortes d'obſtacles à ſon rétreciſſement & à ſon ralongement par en haut.

CHAP.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

De la réſiſtance relative des Corps ſolides, & de la force qu'il faut donner à diverſes parties du Navire.

I.

LORSQU'ON veut comparer la réſiſtance abſoluë des corps ſolides à leur réſiſtance relative, c'eſt-à-dire à la réſiſtance qu'ils font lorſqu'on travaille à les rompre, en les tirant de côté ou perpendiculairement à leur longueur, on trouve dans cette comparaiſon des difficultés qui ont arrêté juſqu'à préſent les plus grands Géométres. Galilée avoit conſidéré les fibres des corps comme parfaitement rigides, ou comme incapables d'extenſion; on a vû depuis, & on doit cette attention à M. Mariote, que les fibres qui étoient obligés de s'allonger davantage, réſiſtoient auſſi plus; au lieu que celles qui étoient plus voiſines du point ſur lequel ſe faiſoit la rupture, & qui n'étoient ſujettes à aucun allongement, n'étoient preſque point miſes en action. A la fin on a reconnu que pendant qu'une partie des fibres s'allongeoient, les autres ſe comprimoient: & on eût pû ajouter encore une derniere conſidération, qui a échapé, à ce que je crois, que les fibres changent de direction, & ceſſent pendant l'effort de la rupture, d'être paralleles les unes aux autres. Si pendant qu'une piéce de bois eſt engagée dans un mur par une de ſes extrémités, on la charge d'un grand poids par l'autre bout; à meſure qu'on raprochera le poids, on pourra le rendre plus grand, ſans craindre que la poutre ſe rompe. En raprochant dix fois plus le poids, on pourroit l'augmenter dix fois plus; mais ſi on l'appliquoit donc tout-à-fait proche du mur, ou qu'on rendît nulle ſa diſtance au point d'apui, on pourroit, ce ſemble, le rendre infini: ce

Digitized by Google

qui eſt fort éloigné d'être vrai, à cauſe de la conſidération que nous venons de faire, ou parce que les fibres ſe couchant les unes ſur les autres, leur direction ſe trouve extrémement raprochée du point qu'on peut conſidérer comme hypomoclion pendant la rupture. C'eſt auſſi ce qu'on reconnoît tous les jours par l'expérience, qui montre que la ſeconde eſpéce de réſiſtance abſoluë, dont nous avons parlé dans le premier Chapitre, eſt très-limitée; bien loin d'être infinie, comme on l'a ſupoſé juſqu'à préſent dans tous les ſyſtêmes qu'on a fait ſur la réſiſtance des corps ſolides. Nous croyons qu'on néglige encore outre cela quelques autres attentions qui ne ſont pas moins importantes.

Ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer dans une diſcuſſion ſi difficile : il vaut mieux trouver le moyen de s'en diſculper; & on y réuſſira auſſi-tôt qu'on n'entreprendra point de déduire de la force abſoluë, la force relative, & qu'on évitera auſſi certains cas extrémes qui ne ſont pas ordinaires dans la pratique. Lorſqu'on fait effort pour rompre de côté une piéce de bois (Fig. 43.), en la tirant ſelon une direction AG, elle réſiſte à proportion de la groſſeur ou de la multitude des fibres qui ſont renfermées dans chaque coupe perpendiculaire CD. Mais outre cela ces fibres réſiſtent encore plus ou moins, ſelon qu'elles ſont plus ou moins éloignées du point C, qui ſert d'hypomoclion, & ſur lequel doit ſe faire la rupture : car elles ſont appliquées comme à un bras de lévier plus long. Le lévier entier eſt angulaire, c'eſt ACD; la puiſſance qui l'exerce ſelon la direction AG, eſt appliquée au bras CA, en même tems que les fibres qui réſiſtent, ſont appliquées à diverſes diſtances de l'hypomoclion C, le long de l'autre bras CD. Il ſeroit difficile de déterminer le centre précis dans lequel il faudroit conſidérer toutes ces fibres, pour avoir leur effort moyen; mais tant qu'on ne comparera les uns aux autres que des corps, dont les coupes ſont des figures ſemblables, il n'y aura qu'à prendre le centre de gravité de ces coupes pour centre d'effort, & il s'en-

Fig. 43.

ſuivra que les réſiſtances relatives des corps ſolides de differentes groſſeurs, ſeront comme les cubes des dimenſions ſimples de ces groſſeurs. Il n'importe auſſi que ce ne ſoit par le point d'en bas de la piéce qui ſerve d'hypomoclion, mais que ce ſoit le centre de toute la partie inférieure comprimée, puiſque ce centre doit ſe trouver toujours à peu près placé proportionellement au même endroit. Si une poutre eſt donc trois fois plus groſſe qu'une autre, c'eſt-à-dire qu'elle ait trois fois plus de largeur & trois fois plus d'épaiſſeur, elle rejettera 27 fois davantage, ou ſoutiendra un poids 27 fois plus grand, appliqué à la même diſtance. La ſeule groſſeur de la poutre fait qu'elle a 9 fois plus de fibres qui réſiſtent dans chaque coupe CD; mais outre cela ces fibres ſont ſituées trois fois plus avantageuſement: car la poutre étant trois fois plus épaiſſe, les fibres ſont appliquées à trois fois plus de diſtance du point C, ou de tout autre point. Une partie de ces fibres ſont plus éloignées, & les autres plus voiſines; mais toutes conſidérées comme réunies dans un certain centre, afin de faire une compenſation, ſont trois fois plus éloignées du point d'apui dans la groſſe poutre que dans l'autre. En un mot, indépendamment de la force qui naît de la plus grande multitude des fibres, la groſſeur contribuë encore à la force; & c'eſt par cette raiſon qu'une piéce de bois qui ne réſiſte pas plus qu'une barre de fer, lorſqu'on la tire dans le ſens de ſa longueur, réſiſte cependant beaucoup davantage lorſqu'on la tire de côté, ou qu'on fait effort pour la plier.

Quoiqu'il en ſoit, il ſuffit de faire des expériences ſur des corps de peu de groſſeur, pour pouvoir juger à peu près de la force des corps les plus gros de même matiere, pourvû que les coupes des uns & des autres faites perpendiculairement à leur longueur, ſoient des figures ſemblables. C'eſt-à-dire qu'on ne peut pas juger dans la rigueur, de la force d'une poutre quarrée, par l'examen qu'on fera de la force d'un bâton parfaitement rond; quoiqu'on ſoit attentif, comme nous l'avons déja recommandé, de choiſir ce

bâton vers le milieu du rayon de l'arbre, ou à peu près à égale distance du centre & de la circonference. Cependant, comme il n'eſt queſtion le plus ſouvent dans l'uſage ordinaire, que de ſçavoir ſi on peut compter aſſez ſur la force d'un corps, ſans qu'il ſoit néceſſaire de ſçavoir la quantité préciſe de cette force, on peut preſque toujours prendre pour régle, que la réſiſtance relative des corps de même matiere, eſt proportionelle au produit de l'étendue des coupes faites perpendiculairement à la longueur, multipliée par la diſtance du centre de gravité des mêmes coupes au point ſur lequel ſe fait la rupture. Il ſuit de-là qu'une poutre horiſontale placée de champ, & chargée d'un fardeau, doit réſiſter davantage, que ſituée de plat. Si la poutre a trois fois plus d'épaiſſeur ou de hauteur que de largeur, elle réſiſtera environ trois fois plus dans la premiere ſituation. La difference, comme il eſt évident, ne vient que de ce que le total des fibres dans le premier cas eſt trois fois plus éloigné du point qui ſert d'apui.

Pour éclaircir ce qu'on vient de dire par un exemple, nous prendrons pour principe d'expérience, qu'une régle de chêne de l'eſpece qu'on nomme verd, qui a le plus de force, d'un pouce en quarré de groſſeur, & placée horiſontalement, peut ſoutenir à un pied de diſtance, un effort un peu moindre que 130 livres. C'eſt ce que nous ſupoſons qu'on a vérifié, & nous cherchons combien doit ſoutenir à proportion une poutre ſcellée dans un mur par une de ſes extrémités, & qui a 14 pouces d'épaiſſeur ſur 10 de largeur. Les forces relatives étant proportionnelles à l'étendue des coupes multipliées par la hauteur de leur centre de gravité au-deſſus du point ſur lequel ſe fait la rupture; nous aurons $1x1x\frac{1}{2}$ pour *l'expoſant* de la force relative de la régle, puiſque 1x1 exprime l'étendue de la coupe, & que ſon centre de gravité étant au milieu de l'épaiſſeur, eſt à $\frac{1}{2}$ pouce au-deſſus de la baſe. D'un autre côté, & par la même raiſon, 10x14x7 eſt *l'expoſant* de la force relative de la poutre. Ainſi nous aurons cette analogie $1x1x\frac{1}{2} = \frac{1}{2} : 130$ livres :: $10x14x7 = 980 : 254800$ livres; &

ce quatriéme terme 254800 livres indiquera la puiſſance qui étant appliquée à 1 pied de diſtance, peut encore être ſoutenue par la poutre propoſée. Il eſt évident qu'il faudra diminuer cette puiſſance à meſure qu'on l'apliquera à une plus grande diſtance du point d'apui : ſupoſé qu'on l'éloignât de 30 pieds, il faudroit la rendre 30 fois moindre ; ce ſeroit aſſez qu'elle fût de 8493 livres. Nous ſuivons dans cette diminution la régle générale, qui eſt fondée ſur les principes les plus certains de la Mecanique : mais le Phyſique qui s'y mêle ſouvent, eſt quelquefois cauſe que cette derniere régle ſouffre ici quelque exception, comme je le dirai dans le Chapitre ſuivant.

II.

On pourra eſtimer auſſi à peu près par le même moyen, la force d'un aſſemblage de charpente ; nous avons le ſoin de dire qu'on l'eſtimera à peu près ; & on doit même étendre beaucoup le ſens de cette reſtriction néceſſaire. Car on court riſque lorſqu'on examine un aſſemblage de charpente de tomber dans un inconvénient encore plus grand, que ſi l'on comparoit la force de deux pieces de bois qui euſſent differentes figures. Propoſons-nous *les bittes* qui ſont formées de deux poutres verticales AB, CE (Fig. 44) & d'une troiſiéme qui eſt horiſontale. La premiere réſiſtera d'autant plus à un effort fait de côté, & horiſontalement de droit à gauche, que l'intervalle EF ſera plus grand, parce que ſes fibres qu'on peut conſidérer comme réunies en F, ſeront ſitués plus avantageuſement par raport au point d'apui H. Ainſi la force des bittes dans le ſens ſpécifié, eſt proportionelle à la ſomme des deux produits de l'étendue de la coupe BD par la diſtance FH, & de l'étendue de la coupe HG par la diſtance HE. Si chacune des poutres verticales eſt de chêne d'un pied quarré de groſſeur, elle pourra ſoutenir à un pied de diſtance, un peu moins de 224640 livres ; de ſorte qu'il ſemble que les deux poutres ne devroient réſiſter qu'à un effort de 449280 livres. Mais ſi l'intervalle qu'on met entr'elles, Fig. 44.

Digitized by Google

Fig. 44. rend la distance FH de quatre pieds, la premiere qui ne pouvoit soutenir en particulier que 224640 livres, en soutiendra huit fois davantage, parce que toutes les fibres dont le centre de réunion est en F, seront aidées par un bras de lévier FH huit fois plus long. Ainsi les deux poutres soutiendront ensemble un effort horisontal de 2021760 livres qui s'exerceroit sur une direction élevée d'un pied au-dessus du point B.

Lorsque deux poutres AD & CH sont à quelque distance l'une de l'autre, & cependant fortement liées ensemble, l'une des deux ne s'oppose nullement par sa force à la rupture, elle ne fait que servir d'apuy; c'est à quoi il faudroit faire attention, si l'on entreprenoit de rendre le calcul précedent tout-à-fait exact. La poutre CH ne peut pas s'opposer à la rupture par la force de ses fibres, parce qu'elle se trouve comprimée dans toute l'étendue de sa coupe HG, & qu'avant que ses fibres qui sont vers G, puissent commencer à s'étendre & à agir, il faudroit presque toujours que l'autre poutre AD fût déja rompue. Mais en récompense, cette autre poutre est capable d'une plus grande résistance: car nulle de ses fibres vers D, n'est occupée à soutenir l'effort de la compression; toutes sont en action; & celles qui sont vers D, presque aussi tendues que celles qui sont vers B, agissent aussi presque autant: De sorte que cette seconde poutre résiste non-seulement davantage, parce qu'elle est plus éloignée de l'autre, mais encore parce que toutes ses fibres font un effort plus égal, & qui a plus de conformité à l'effort absolu, ou à cet effort que fait une piéce de bois, lorsqu'on la tire exactement selon sa longueur.

C'est par le concours de toutes ces raisons que les tuyaux de quelque matiere un peu forte, résistent si puissamment aux efforts qu'on fait pour les rompre de côté; & c'est ce qui se raporte à ce que nous avons dit plus haut de l'effort que produit la grosseur seule. Si toute la matiére qui forme un tuyau, étoit rassemblée ou resserrée dans un seul corps, & que le vuide du milieu fût suprimé, elle ne résisteroit presque point, parce que toutes les fibres

Digitized by Google

ſeroient trop voiſines du point qui ſert d'hypomoclion, pendant la rupture. Mais qu'on étende la même quantité de matiére, qu'on la dilate en forme de tuyau, il n'y aura toujours que le même nombre de parties qui réſiſteront; mais elles le feront davantage, à meſure que le rayon du tuyau ſera plus grand. Si nos lumieres ſont ſi foibles que les traits de la Sageſſe infinie qui a tout fait, nous échapent preſque ſans ceſſe, nous ſommes au moins à portée de reconnoître celui-ci, par lequel diverſes plantes, les plumes des oiſeaux, la plûpart des os des animaux, ont reçu une force ſuffiſante; & cela, pour ainſi dire, avec le moins de frais qu'il s'eſt pû, en épargnant avec art la matiére, afin de diminuer le poids.

III.

Il faut auſſi ſouvent, pour juger de la bonté d'un aſſemblage de charpente, faire attention à cette ſeconde eſpéce de force abſoluë, dont nous avons déja parlé, laquelle peut devenir relative ſelon les circonſtances. Supoſons, pour en donner un exemple, que ne trouvant pas de bois propre à faire *une courbe*, ABC (Fig. 45.) dont on a expliqué l'uſage dans le Chapitre II. de la premiere Section, ou la forme de deux parties ABD & CDEF, & qu'on les cheville fortement enſemble. Lorſque la courbe eſt d'une ſeule piéce, il faut qu'elle ſe rompe dans ſa plus grande épaiſſeur BF, pour que l'angle que forment les deux jambes ſe ferme ou s'ouvre: mais la courbe étant compoſée de deux piéces, il n'y a que les ſeules chevilles qui s'oppoſent à la rupture, & il ſuffit qu'elles caſſent, pour que tout l'aſſemblage manque. Il eſt vrai qu'elles feront une réſiſtance relative plus ou moins grande, ſelon qu'elles ſeront plus ou moins éloignées du point F, qui ſert d'hypomoclion. Mais cette réſiſtance, comme il eſt évident, ne doit jamais être comparable à celle que feroient toutes les fibres contenuës dans la coupe faite ſelon BE, qui réſiſteroient auſſi à proportion de leur diſtance au point F. D'un autre côté ſi on mettoit des chevilles de fer, elles ne ſe rompe- Fig. 45.

Digitized by Google

Fig. 45. roient peut-être pas ; mais comme tout l'effort qu'elles soutiendroient, retomberoit sur les seules parties de bois qui sont en arriere, & non pas sur toute la piéce ; ces parties se détacheroient d'autant plus aisément, qu'elles le pourroient faire en se rompant, selon même le fil du bois, ou selon la longueur des fibres. Il suit de-là qu'il est très-difficile de rendre suffisamment solide une courbe formée de deux piéces. On peut y réussir en la chargeant de bandes de fer par dehors l'angle & par dedans ; & en liant outre cela ces bandes l'une à l'autre par d'autres barres ; si ce n'est qu'il vaudroit sans doute beaucoup mieux la faire alors entierement de fer.

La remarque que nous faisons sur l'inconvénient qui se trouve dans l'usage des chevilles ou des cloux, doit avoir lieu dans plusieurs autres rencontres, & principalement lorsqu'il s'agit d'arrêter les bordages. Comme ils ne sont jamais assez longs pour aller d'une extrémité du Navire à l'autre, on se contente de clouer les deux extrémités des deux bordages sur le même bois. Mais au lieu que dans un bordage continu, c'est la totalité de ses fibres qui forme la force ou la résistance, ce n'est que la petite partie de bois qui est derriere le clou, qui soutient tout l'effort dans les bordages mis les uns au bout des autres.

IV.

On peut souvent s'épargner la peine d'examiner en détail la force particuliere des parties du Navire, en se contentant de chercher la loi que doivent suivre leurs grosseurs dans differens Vaisseaux. Il n'y a pour cela qu'à supposer que le nombre des piéces est toujours le même ; mais qu'on les a rendu plus larges à proportion que le Navire est plus long ; & il ne s'agira plus que de déterminer leur épaisseur. Proposons-nous la quille, & supposons donc que sa largeur est proportionelle à sa longueur. Dans les Navires semblables, les solidités ou les pesanteurs sont comme les cubes des longueurs ; & outre cela cette pesanteur, selon que le Navire est plus grand, agit encore davantage,

Digitized by Google

davantage, soit dans les abordages, soit lorsque le Navire *touche*, parce qu'elle est aidée par un bras de levier plus long. Ainsi les forces relatives qu'a le Navire pour se briser dans un certain point, sont comme les quarrés quarrés de sa longueur. D'un autre côté la quille est plus large dans le même raport que la longueur; & sa force relative dépend deux fois de sa hauteur, puisque la coupe ou la tranche qui représente la multitude des fibres est plus grande, selon qu'on augmente cette hauteur, & qu'en même tems les fibres sont appliquées à un bras de levier plus long. C'est-à-dire que les résistances relatives de la quille, sont comme ses largeurs multipliées par les quarrés de ses épaisseurs, ou ce qui revient au même, à cause de la supposition que nous avons faite touchant la largeur, les résistances relatives de la quille sont comme les longueurs du Navire, multipliées par les quarrés des épaisseurs de cette piéce de bois. Mais ces résistances doivent être égales ou proportionelles aux efforts relatifs que fait le Vaisseau pour se briser, efforts qui sont exprimés par les quarrés quarrés de ses longueurs, il s'ensuit donc (en divisant de part & d'autre par la longueur) que les quarrés des épaisseurs de la quille doivent être comme les cubes des longueurs du Navire. Supposé que le Vaisseau soit 4 fois plus long, sa pesanteur seroit 64 fois plus grande, & sa force relative ou son énergie pour se briser, augmenteroit encore 4 fois, & seroit exprimée par 256. Mais la quille étant plus large dans le même raport que le Navire est plus long, & le quarré de son épaisseur étant comme le cube de la même longueur, sa force relative sera aussi 256 fois plus grande. Car la quille sera 4 fois plus large & 8 fois plus épaisse; ce qui fait augmenter sa résistance relative précisément dans ce raport. Fig. 45.

Ce sera la même chose pour tous les membres : les quarrés de leurs épaisseurs doivent être comme les cubes des longueurs des Navires. Cependant cette régle n'a lieu que pour prévenir la rupture, ou plutôt l'enfoncement qui se peut faire dans l'endroit même qui reçoit l'abordage, ou

Fig. 45. qui eſt expoſé immédiatement à un certain effort. Car ſi on cherche l'épaiſſeur qu'il faut donner, par exemple, aux bordages, pour qu'ils puiſſent maintenir le Vaiſſeau dans le même état, ou l'empêcher de ſe rompre vers le milieu, lorſqu'il touche ſur un terrein inégal, & qu'il ne porte que par les deux extrémités, on trouvera que les épaiſſeurs ne doivent pas ſuivre la loi que nous venons de dire; mais qu'elles doivent être encore plus grandes à proportion dans les plus grands Navires. L'effort relatif que produit la peſanteur du Vaiſſeau, pour cauſer la rupture, eſt toujours comme le quarré quarré de ſa longueur; & les bordages réſiſtent d'autant plus à cet effort, qu'il y en a un plus grand nombre, ou qu'ils forment enſemble une largeur plus grande ſur la ſuperficie de la carène. Leur réſiſtance relative augmente encore par un autre endroit: ſi on prend leur diſtance moyenne au point ſur lequel ſe peut faire la rupture, il ſe trouvera toujours qu'ils ſont ſitués plus avantageuſement, ou appliqués à un bras de levier plus long, lorſque le Navire eſt plus grand. Ainſi leur réſiſtance relative augmente comme le quarré de la longueur ſeulement, parce que le Navire eſt plus grand: mais cet accroiſſement ne ſuffiſant pas, puiſqu'il faudroit qu'il ſe fît ſelon le quarré quarré, pour entretenir l'équilibre avec l'effort contraire, il eſt néceſſaire d'y ſuppléer par la plus grande épaiſſeur qu'on donnera aux bordages; & il faut par conſéquent la rendre proportionelle au quarré de la longueur. Si le Vaiſſeau eſt deux fois plus long, deux fois plus large, deux fois plus profond, il faut donc que les bordages, tant ceux que revêtiſſent la carène, que ceux qui couvrent les ponts, ſoient quatre fois plus épais; & ſi un Navire avoit toutes ſes dimenſions ſimples quatre fois plus grandes, il faudroit que les bordages euſſent 16 fois plus d'épaiſſeur. C'eſt ce qu'on a été fort éloigné d'obſerver juſqu'à préſent dans la Marine.

Comme on ne ſçait pas à quelle eſpéce d'accident le Navire ſera expoſé, il eſt toujours de la prudence de donner à ſes parties la plus grande épaiſſeur que preſcrit l'une

Digitized by Google

ou l'autre régle. Dans les Vaiſſeaux du troiſiéme rang, la quille a vers le milieu 19 ou 20 pouces de largeur & autant d'épaiſſeur, & quelques pouces de moins vers les deux extrémités ; les varangues ont ſouvent un pied en quarré de groſſeur ; les baux du premier pont qu'on met ordinairement à trois pieds de diſtance l'un de l'autre, ont 16 pouces en quarré, & les bordages ont 4 pouces d'épaiſſeur. On peut ſur cela ſe régler pour les autres Vaiſſeaux ; & ſuposé qu'on ne trouvât pas d'aſſez gros arbres pour former les piéces, il n'y auroit qu'à en mettre un plus grand nombre.

CHAPITRE V.

De la figure & de la groſſeur que doivent avoir les máts & les vergues.

I.

AUSSI-TÔT qu'on ſçait que dans les corps dont les tranches ſont des figures ſemblables, les réſiſtances relatives ſont comme les cubes des diamétres des groſſeurs, ainſi qu'on l'a vû vers le commencement du Chapitre précédent, on eſt en état de détermiuer la figure des ſolides *d'égale réſiſtance*, ou qui réſiſtent également à la rupture dans tous les points de leur longueur. Une puiſſance eſt appliquée au ſommet A (Fig. 43.) d'un corps AB, & agit deſſus ſelon une direction AG perpendiculaire à l'axe de ce ſolide, dont toutes les tranches ſont des quarrés ou des cercles ; cette puiſſance tendra à rompre le corps avec plus ou moins de force relative ou de moment, ſelon qu'elle ſera plus ou moins éloignée de chaque endroit où ſe peut faire la rupture. Proche du ſommet l'effort relatif de la puiſſance ſera foible ; mais à une plus grande diſtance il ſera plus grand, & il ſera toujours proportionel à la Fig. 43.

Fig. 43. longueur des parties AC de l'axe qui servent de levier à la puissance. Or les résistances relatives du solide, qui sont comme les cubes de ses diamétres, doivent être égales à ces efforts relatifs de la puissance, puisqu'on veut qu'il y ait un continuel équilibre. Ainsi les cubes des diamétres des grosseurs doivent être comme les longueurs des parties de l'axe, & par conséquent le solide qui résiste par tout également, doit être un conoïde formé par la premiere parabole cubique. A huit fois plus de distance du sommet, la puissance fait huit fois plus d'effort pour rompre le solide; mais dans cet endroit la grosseur aura un diamétre double, ce qui fera que le solide pourra résister huit fois plus. A 27 fois plus de distance du sommet, le solide aura un effort 27 fois plus grand à soutenir de la part de la puissance; mais il sera encore capable de le soutenir, puisqu'en cet endroit son diamétre sera trois fois plus grand; ce qui lui donnera 27 fois plus de force.

Il n'est pas nécessaire d'avertir que c'est cette figure que devroient avoir les mâts, pour n'être pas plus sujets à se rompre dans un point que dans un autre: Il est sans doute plus à propos d'insister un peu sur la maniere de tracer la parabole cubique dans l'usage ordinaire. Si on divise toute la longueur du mât en 64 parties égales, & son diamétre par le pied en 4 parties aussi égales entr'elles, il n'y aura qu'à donner au mât 3 de ces dernieres parties de diamétre vis-à-vis du point où finissent 27 parties de la longueur, à commencer du sommet. On donnera 2 parties de diamétre vis-à-vis de la fin de 8 parties de la longueur, & une partie de diamétre à la fin de la premiere de la longueur. Pour obtenir un plus grand nombre de points, il n'y a qu'à vis-à-vis de 60 parties, de 55, de 50, de 45, de 40, de 35, de 30, de 25, de 20, de 15, de 10, & de 5 de la longueur, donner de diamétre au mât $3\frac{91}{100}$; $3\frac{80}{100}$; $3\frac{68}{100}$; $3\frac{56}{100}$; $3\frac{43}{100}$; $3\frac{27}{100}$; $3\frac{11}{100}$; $2\frac{92}{100}$; $2\frac{71}{100}$; $2\frac{47}{100}$; $2\frac{15}{100}$ & $1\frac{71}{100}$ des mêmes parties, dont le diamétre du pied en contient quatre.

A l'égard des vergues, elles ne doivent pas avoir la

Digitized by Google

même figure ; elles doivent se terminer en pointe par les deux extrémités, & chaque moitié doit être formée par la révolution d'une seconde parabole cubique. La raison de cette difference est facile à voir : la puissance qui tend à rompre les vergues, est non-seulement appliquée à moins de distance vers les extrémités ; mais elle est aussi plus petite, parce que l'effort de la voile étant distribué tout le long de la vergue, il n'y en a qu'une partie qui tend à la rompre en chaque point. Tout l'effort que le mât doit soutenir, est appliqué à son sommet ; ainsi c'est toujours la même force absoluë qui travaille à le rompre ; au lieu que par raport à la vergue, l'effort absolu se trouve plus grand à mesure qu'on considere des points plus vers le milieu. Dans ce dernier point la vergue a de toutes manieres le plus grand effort à soutenir ; cet effort est non-seulement le plus grand, il est appliqué à la plus grande distance : mais si on examine la vergue en un point qui soit au quart de sa longueur, on verra que la partie de la voile qui travaille à la rompre, sera deux fois plus petite, & que son centre d'effort sera appliqué outre cela à deux fois moins de distance. En un mot, les forces relatives qui tendent à rompre la vergue, sont comme le quarré des distances à son extrémité voisine ; & puisque les résistances doivent faire équilibre avec ces forces, il faut que les cubes des diamétres des grosseurs soient comme les quarrés des distances à l'extrémité de la vergue. Il suit de-là que si on divise la moitié de la longueur en 64 parties égales, & le diamétre de la grosseur au milieu en 16, il faudra lui donner 9 de ces dernieres parties à la fin de 27 parties de longueur comptées depuis l'extrémité ; 4 parties de diamétre vis-à-vis de 8 de longueur, & une partie à la fin d'une. Fig. 43.

II.

Les deux figures que nous venons d'indiquer, sont vraisemblablement celles qu'il faut donner dans les plus grands Vaisseaux aux mâts & aux vergues. Comme il n'est pas pos-

Digitized by Google

Fig. 43. sible de trouver d'arbres assez hauts & assez gros, on forme le milieu du mât par une longue piéce qu'on nomme *méche*, & on la revêtit de quatre ou cinq autres qu'on aplique dessus, & qu'on serre avec de gros cercles de fer, mis de distance en distance. On trouve des arbres assez gros pour servir de mâts aux moindres Navires : les mâts formés d'une seule piéce, sont beaucoup plus forts ; il n'est pas néceſſaire de les rendre si gros à proportion, & il s'en faut même beaucoup. Mais il faut aussi, à ce que je crois, leur donner une autre figure, parce que la réſiſtance qu'ils font, est à peu près la même que si l'action de la puiſſance qui tend à les faire rompre, croiſſoit en plus grande raiſon que la longueur du levier auquel elle est apliquée. Comparons, pour nous mieux expliquer, deux piéces de bois scellées dans un mur par une de leurs extrémités, & chargées par l'autre d'un grand poids qui les faſſe rompre ; & supoſons que ces deux piéces soient exactement de la même groſſeur, mais que l'une soit deux fois plus longue que l'autre. Il est évident qu'à l'égard de la seconde, le levier étant deux fois plus long, il ne faudra mettre à son extrémité qu'un poids qui sera la moitié du premier. C'est ce qui est vrai, supoſé qu'on faſſe abſtraction de la peſanteur des deux piéces. Car cette peſanteur est non-ſeulement deux fois plus grande dans le second cas, elle est encore apliquée à un levier deux fois plus long. Ainſi elle a beaucoup plus de part à la rupture, elle y contribuë quatre fois plus ; & par cette raiſon le poids qu'on met à l'extrémité de la piéce, doit être beaucoup plus petit que la moitié.

Mais supoſons que les piéces soient sans peſanteur, ou ce qui vaut mieux, joignons leur peſanteur à l'effort de la puiſſance qui est apliquée à l'extrémité, & conſiderons le tout comme un seul poids. Lorſque la piéce sera deux fois plus longue, il faudra d'abord diminuer le poids de moitié, conformément au grand principe de Mécanique. Mais ce poids étant moindre, les fibres dans le point de la rupture, seront moins tirées verticalement de haut en bas,

Digitized by Google

elles seront moins obligées de se coucher les unes sur les autres; l'effort absolu qu'aura l'hypomoclion à soutenir, sera moins grand, & les fibres tendues seulement dans le sens horisontal par l'effet du levier angulaire, seront plus capables de résister; ce qui prouve qu'elles pourroient soutenir un poids qui seroit un peu plus grand que la moitié, si ce n'est qu'il y a encore une ou deux considérations à ajouter. C'est que la piéce de bois dans toute la partie qui la rend plus longue, n'est pas exempte de se courber: cette nouvelle fléxion allonge nécessairement les fibres, & cet allongement ne laisse pas de contribuer à les roidir dans l'endroit même de la rupture, ce qui fait que la piéce de bois y est plus exposée à se rompre. Outre cela, comme le poids est fort éloigné, il se trouve un grand espace où la piéce a sensiblement le même effort à soutenir: ce n'est pas seulement un espace de 2 ou trois pieds, mais c'en est un peut-être de 10 ou 15: au lieu que lorsque la piéce est moins longue, ou que le poids est apliqué à très-peu de distance, l'effort n'est grand que dans un seul point, & il diminue subitement à cause du voisinage de la puissance. Cette difference d'action est si grande que lorsque les piéces de bois sont très-courtes, leur rupture est ordinairement beaucoup plus nette, & la section se fait presque perpendiculairement à la longueur: au lieu que lorsque la piéce est très-longue, la rupture se fait presque toujours très-obliquement, en commençant très-loin en dessus, & en se terminant en dessous vers le point d'apui. Fig. 43.

Il y a de cette sorte bien à distinguer entre les differens cas. Si une piéce de bois est prolongée par une barre de fer, ou même par une autre piéce de bois simplement entée à la premiere, & qu'on aplique un grand poids à l'extrémité, on peut alors avec beaucoup plus de fondement, ne considérer que la seule longueur du levier. Mais si c'est une seule piéce de bois beaucoup plus longue, il faut non-seulement avoir égard au plus long bras de levier, mais encore faire attention, comme nous l'avons dit, à la fléxion que souffre cette plus longue piéce dans son excès

Digitized by Google

Fig. 43. de longueur; fléxion qui occaſionnant un plus grand allongement de fibres dans tous les points, accelere infailliblement la rupture. Il faut conſidérer encore que quoique dans la rigueur l'effort ne ſoit le plus grand que dans un ſeul endroit, il eſt ſenſiblement le même dans un aſſez grand eſpace lorſque la piéce eſt plus longue, ce qui fait qu'elle ſe trouve comme ſurchargée, & qu'elle travaille davantage. Il eſt vrai que cette ſeconde conſidération a toujours lieu, & que s'il eſt permis de la négliger, c'eſt en ſupoſant qu'elle eſt peu de conſéquence par raport à la premiere.

Tout ceci demanderoit à être diſcuté par de nouvelles expériences, qu'il faudroit faire avec d'autant plus d'art, qu'il s'agit de ſéparer les differens cas les uns des autres, & de démêler les effets partiaux qu'on doit attribuer à chaque cauſe. Il faudroit auſſi faire des épreuves ſur les differentes matiéres; car ſans doute que le verre & les méraux ne ſont pas ſujets à la même loi lorſqu'ils ſe rompent. Nous pouvons, je crois, en attendant, ſupoſer à l'égard du bois, que l'énergie ou le moment de l'effort qui travaille à le rompre, dépend de la longueur du bras de lévier élevée à une certaine puiſſance imparfaite, comme à celle dont $\frac{4}{3}$ ou $\frac{4}{7}$ eſt l'expoſant. Il me paroit que juſqu'à ce que nous acquierions de nouvelles lumieres, on peut employer avec ſuccès la derniere de ces puiſſances; car on viendra à bout par ſon moyen de repréſenter aſſez exactement les réſultats des expériences de M. de Buffon, leſquelles méritent d'autant plus de ſervir de régle, qu'elles ont été faites avec ſoin, & qu'elles ont l'avantage d'avoir été executées en grand. Ainſi ſupoſé qu'une piéce de bois ait ſoutenu à ſon extrémité un poids de 20000 livres, une autre de la même groſſeur, mais qui ſera 4 fois plus longue, ne ſera pas capable de ſoutenir 5000 livres: le poids doit être diminué dans le raport de $4\frac{4}{7}$ à $1\frac{4}{7}$; de ſorte que la ſeconde piéce ne ſoutiendra gueres que 3550 livres.

Il ſuit clairement de-là qu'on doit donner une autre figure

gure aux mâts qui ne ſont formés que d'un *ſeul brin*. Nommant x les longueurs de leurs differentes parties, à commencer à leur ſommet, & y le diamétre de leur groſſeur, on aura $x^{\frac{1}{4}}$ pour les divers efforts relatifs que chaque point doit ſoutenir, & comme y^3 repréſentera toujours la réſiſtance en chaque endroit, on aura $x^{\frac{1}{4}} = y^3$ & $x^5 = y^{12}$: ce qui nous aprend que la figure que doit avoir le mât, differe alors beaucoup moins du conoïde formé par la parabole ordinaire. On peut ſuivre de plus près l'explication phyſique, & venir au même réſultat. L'effort que fait la puiſſance pour rompre le ſolide, eſt proportionel à la longueur x du bras de levier; mais la réſiſtance du mât n'eſt pas y^3, parce qu'elle eſt d'autant moindre que le ſolide eſt plus long. Cette réſiſtance n'eſt pas préciſément moindre dans le même raport, que x eſt plus grande; mais elle eſt à peu près $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$ pour le bois. Elle ſera ſans doutee differente dans toutes les autres matiéres; & il y a bien lieu de croire que le numérateur y^3 de l'expreſſion doit auſſi un peu changer; ou qu'au moins la puiſſance imparfaite à laquelle on doit élever x, dépend un peu de la grandeur du diamétre y du ſolide. Enfin on a $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x$, & le reſte comme ci-deſſus. Fig. 43.

Quant aux vergues, elles doivent toujours être plus aiguës par leurs deux extrêmités. L'effort abſolu qui travaille à les rompre, eſt déſigné par x, qui marque la largeur des differentes parties de la voile, à commencer depuis l'extrémité voiſine. Cet effort eſt outre cela apliqué à un levier dont la longueur eſt proportionelle à x. Ainſi on a x^2 pour l'énergie ou pour la force relative qui doit être égale à la réſiſtance $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$. On a donc $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x^2$ ou $y^4 = x^3$ pour les vergues; ce qui rend leur forme encore plus conique.

III.

On n'a pas dans la Marine donné aux mâts & aux ver-

gues les figures qu'on vient d'indiquer : on ne s'y eſt pas moins trompé ſur la figure que ſur la hauteur de la mâture, quoiqu'on ait ſenti quelque choſe de la diverſité de forme que doivent avoir les mâts & les vergues ; mais les Conſtructeurs ont néanmoins rencontré auſſi parfaitement qu'il étoit poſſible, les groſſeurs qu'il falloit leur donner par raport aux autres dimenſions. Lorſqu'ils ont éprouvé que certains mâts étoient plus ſujets à ſe rompre que d'autres, ils les ont rendus plus gros ; & à force de tentatives, ils les ont mis à peu près dans le même état à cet égard, que ſi la Géométrie aidée de l'expérience, s'en étoit mêlée.

Nous ne nous arrêterons pas, afin d'être plus courts, à prouver ce que nous avançons ici en faveur de cette partie des régles vulgaires ; le Lecteur, s'il le juge à propos, pourra s'en convaincre aiſément, en ſuivant à peu près le même chemin qui va nous conduire à la détermination des groſſeurs qu'il faudra donner à la mâture, auſſi-tôt qu'on la réformera ſur les vûës que nous avons commencé d'expoſer dans la ſection précedente, & que nous tâcherons dans la ſuite de porter à une plus grande perfection. Propoſons-nous un Vaiſſeau du premier rang, & ſuprimons les voiles de perroquet, en nous contentant de la baſſe voile, & de celle de hunier qui eſt au-deſſus, leſquelles forment enſemble un exagone irrégulier, comme le re-
Fig. 46. préſente la figure 46. Les deux voiles qui ſeront égales, mais dans une ſituation contraire, auront chacune en particulier environ 48 pieds de hauteur ou de chute ; leur plus grande largeur CD ſera de 120 pieds, & leur moindre de 96. Ces dimenſions donnent à chaque voile 5184 pieds quarrés de ſurface ; & ſi nous ſuppoſons que le vent eſt aſſez violent pour faire un effort de 5 livres ſur chaque pied quarré de ſurface, l'impulſion entiere que recevra la voile de hunier ABDC, ſera de 25920 livres. Mais cet effort entier ne travaille pas à rompre le mât de hune GI ; il ſe diſtribuë en haut & en bas ; & il n'y a que la partie qui agit en haut, qui puiſſe avoir part à la rupture dont il eſt queſtion, puiſque l'autre par

tie s'exerce ſur la vergue CD, & ne peut ſe tranſmettre qu'au mât qui eſt plus bas. Pour faire le partage de l'effort total, il n'y a qu'à le diviſer en raiſon réciproque des deux diſtances du centre de gravité K au haut & au bas de la ſurface ABDC. L'erreur qu'on commettra à cauſe de la courbure de la voile qu'on néglige, ſera toujours comme inſenſible; notre attention à éviter les diſcuſſions trop délicates de Géométrie, lorſqu'elles ne ſont pas abſolument néceſſaires, nous fera paſſer encore ſur quelques autres conſidérations, parce qu'elles ne tirent pas à conſéquence. Le centre de gravité ou d'effort K de la voile, eſt environ 23 pieds au-deſſus du point I, & 25 au-deſſous du point G; & on trouve par le partage que nous venons d'indiquer, que la partie de l'effort qui s'éxerce dans le dernier point G, eſt de 12420 livres. Or le mât de hune GI n'eſt chargé d'aucun autre effort que de celui-ci qui agit en G perpendiculairement à ſa longueur. Fig. 46.

Le conoïde qui forme le mât, doit donc avoir ſon ſommet en G, & il n'eſt plus queſtion que de déterminer la groſſeur qu'il faut lui donner, pour qu'il puiſſe réſiſter à un effort de 12420 livres apliqué à un bras de levier GI, long de 48 pieds Le mât qui eſt en état de ſoutenir cet effort, doit être capable d'en ſoutenir un 48 fois plus grand qui ſeroit apliqué à 1 pied de diſtance. C'eſt-à-dire que le mât doit avoir aſſez de groſſeur par le bas pour ſoutenir un effort de 596160 livres, qui ne ſeroit éloigné que d'un pied. On fait ordinairement toute la mâture de ſapin, à cauſe de la légereté & de la fléxibilité de ce bois, ce qui le rend très propres à réſiſter à un effort latéral; & on peut prendre pour principe qu'un bâton cylindrique de ſapin d'un pouce de diamétre, ne ſe romp que par un poids de 122 livres apliqué à un pied de diſtance. J'ai trouvé de ce bois qui ſe rompoit par un poids qui étoit ſeulement de 98 livres; ainſi il ne faut pas ſe fier à une ſeule expérience: mais ſi nous nous arrêtons au poids de 122 livres, nous conclurons que le mât doit être environ 4886 fois plus fort que les bâtons qui ont ſervi à nos

Digitized by Google

Fig. 46. épreuves : & puiſque les forces relatives ſont comme les cubes des diamétres, il n'y a qu'à extraire la racine cubique de 4886 pour ſçavoir combien le mât doit avoir de pouces de diamétre, ou doit être plus gros que le bâton. En faiſant l'opération, on trouve environ 17; ce qui montre qu'il ſuffit de donner au mât de hune un peu plus de 17 pouces de diamétre par ſon pied, pour qu'il ſoutienne l'effort d'un vent aſſez impetueux, pour faire une impreſſion de 5 livres ſur chaque pied quarré de ſurface. Il eſt vrai qu'il faut rendre ce mât beaucoup plus gros, ſupoſé qu'on doive avoir égard aux conſidérations phyſiques ſur leſquelles nous avons inſiſté dans l'article précédent. Pour que le mât puiſſe ſoutenir à 48 pieds de diſtance un effort de 12420 livres, il faut qu'il puiſſe en ſoutenir un d'environ 15669000 à 1 pied, ou qu'il ſoit environ 12860 fois plus fort que le bâton d'expérience; & il ne peut réſiſter à un ſi grand effort que lorſqu'il a un diamétre d'environ 23 pouces, comme on le voit en extrayant la racine cubique de 12860.

Si du mât de hune nous deſcendons au grand mât, nous verrons qu'il doit ſoutenir tout l'effort que fait le vent ſur le hunier, & de plus la partie de l'effort de la voile baſſe qui tombe ſur le point I. L'autre partie de l'effort de cette derniere voile n'eſt pas perduë, elle contribuë, comme la premiere, à la promptitude du ſillage; mais comme elle tranſmet ſon action au Navire même, elle ne travaille en aucune maniere à rompre la mâture. L'effort que fait le hunier entier eſt de 25920 livres, & il réſide dans le point K, qui eſt le centre de gravité de la ſurface de la voile. D'un autre côté c'eſt la plus grande partie de l'effort de la voile inférieure qui agit en I; & cet effort partial eſt de 13500 livres. Cela ſupoſé, il ſuffit de partager la diſtance IK en raiſon réciproque de 25920 & de 13500; pour avoir le centre d'effort commun L, dans lequel les deux efforts ſe réuniſſent; ce point eſt environ 8 pieds au-deſſus de I, & 56 au-deſſus de H; & c'eſt donc à cette hauteur qu'il faut conſidérer la puiſſance totale de 39420 livres qui

agit sur le mât inférieur perpendiculairement à sa longueur. Tout l'effort se réunissant ainsi dans un seul point, le mât est dans le même cas qu'un solide exposé à l'action d'une seule puissance appliquée à son sommet. Il doit avoir aussi par conséquent la forme d'un conoïde produit par la révolution d'une premiere parabole cubique, & le point L est naturellement son sommet ou la tête de son tenon. Fig. 46.

Mais puisque le mât inférieur doit être assez gros pour soutenir un effort de 39420 livres appliqué à 56 pieds de distance de son pied, il doit l'être aussi assez pour soutenir nn effort 56 fois plus grand, ou un effort de 2207520 livres qui ne seroit qu'à un pied de distance. Ainsi il doit être environ 18094 fois plus fort que le bâton d'expérience dont nous avons parlé ci-devant, qui ne soutient que 122 livres. Pour donner effectivement cette force au mât, il faut qu'il ait environ $26\frac{3}{10}$ fois plus de grosseur; car $26\frac{3}{10}$ est à peu près la racine cubique de 18094. C'est-à-dire donc que le grand mât doit avoir dans les Vaisseaux du premier rang, un peu plus de $26\frac{3}{10}$ pouces de diamétre, pour pouvoir résister à l'impulsion du vent violent que nous avons supposé.

IV.

Il est un peu plus difficile de régler la grosseur des vergues, parce que l'effort qu'elles ont à soutenir, dépend non-seulement de l'impulsion du vent, mais aussi du plus ou du moins de force que les Marins employent pour tendre les voiles. Supposé que ITH (Fig. 47.) représente la courbure de la voile inférieure depuis le haut jusqu'en bas, & GVI la courbure de la supérieure; il est évident que la voile inférieure transmettra son action aux deux points I & & H, selon la direction même qu'elle a dans ces deux points, ou selon ses tangentes IL & HL. Ainsi son effort absolu qui est représenté par OL, se décomposera dans les deux partiaux ML & NL; & par-là même raison l'effort total SP, que fait le vent sur toute l'étenduë de la voile supérieure GVI, se décomposera dans les deux partiaux Fig. 47.

Fig. 47. RP & QP qui s'exerceront ſelon les deux tangentes GP & IP. La premiere RP de ces deux dernieres forces tend à rompre le mât de hune, en agiſſant ſur ſon ſommet, ſelon GP; cependant comme elle agit obliquement, elle ſe décompoſe encore : une de ſes parties s'épuiſe en tirant le mât de haut en bas ſelon ſa longueur, & l'autre qui agit perpendiculairement, eſt à peu près la moitié de SP, & c'eſt elle que nous avons déja conſidérée & que nous avons trouvée, en diviſant l'effort total SP réciproquement aux deux diſtances du centre de gravité de la voile à ſon ſommet & à ſa baſe. Mais la force même RP agit perpendiculairement contre la vergue ſupérieure, & on peut remarquer qu'à meſure qu'on tend la voile davantage, l'angle en P que forment les deux tangentes GP & IP, ſe trouve plus ouvert, & que les forces réſultantes RP & QP deviennent plus grandes par raport à l'effort primitif SP. Les forces RP & QP deviendroient même infinies, ſi on pouvoit tendre aſſez la voile, pour que toute ſa courbure GVI diſparût; & alors l'effort RP romperoit infailliblement la vergue, quelque groſſeur qu'elle eût.

Il eſt donc à propos de ne pas trop tendre les voiles, & il paroît qu'on doit ſe contenter que l'effort RP ſoit égal à l'effort SP; ce qui arrive à peu près lorſque l'angle formé par les deux tangentes en P, ſera d'environ 120 degrez, ou que la voile ſera en haut & en bas en G & en I avec le mât, des angles d'environ 30 degrez. Alors l'effort RP ſera de 25920 livres; mais il ſuffit que la vergue puiſſe en ſoutenir ſeulement la moitié 12960 livres : car pendant qu'une moitié, comme GBDI de la voile ABDG (Fig. 46) travaille à rompre la vergue au milieu en G, l'autre moitié AGIC ne fait qu'entretenir l'équilibre, ou que maintenir la vergue dans la même ſituation, à peu près de la même maniere que le mur dans lequel eſt ſcellé l'extrémité d'une piéce de bois, ſert à rendre fixe cette extrémité, pendant que le poids qu'on met à l'autre bout, cauſe la rupture. En un mot, ce n'eſt qu'un effort de 12960 livres, qui travaille à rompre la vergue ſupérieure en G, & cet effort eſt

Digitized by Google

apliqué en M au milieu de GB à 24 pieds de distance. Or ce seroit la même chose si cet effort étoit 24 fois plus grand, ou de 311040 livres, & qu'il ne fût apliqué qu'à un pied de distance. Ainsi la vergue supérieure doit être environ 2600 fois plus forte que le bâton d'un pouce de diamétre, qui soutient 122 livres; & il suit de-là qu'elle doit avoir dans son milieu environ $13\frac{4}{7}$ pouces de diamétre.

La vergue du milieu aura à peu près le même effort à soutenir: car de l'effort ML (Fig. 47.) que fait la voile inférieure sur le point I, selon la tangente IL, & de l'effort QP que fait la voile supérieure sur le même point selon la tangente IP, il doit résulter un effort composé, ou commun, qui s'exercera horisontalement, & qui sera à peu près égal à chacun des deux premiers. C'est-à-dire que la vergue intermédiaire aura aussi un effort de 12960 livres à soutenir, comme la supérieure; & cependant elle doit être plus grosse, parce que cet effort est apliqué à une plus grande distance. Cet effort s'éxerce dans le point N (Fig. 46.) qui est à 30 pieds du point I, puisque la vergue entiere a 120 pieds de longueur; & comme il agit de la même maniere qu'un autre effort qui seroit 30 fois plus grand, ou qui étant de 388800 livres, seroit apliqué à un pied de distance; il s'ensuit que la vergue intermédiaire doit être environ 3186 fois plus forte que le bâton de sapin qui nous a toujours servi de terme de comparaison, & qu'elle doit avoir par conséquent environ $14\frac{1}{5}$ pouces de diamétre en son milieu. Au surplus, on ne doit pas s'étonner si nous donnons beaucoup moins de grosseur à nos mâts & à nos vergues qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Nos voiles n'ont pas moins d'étenduë ni moins de force absoluë pour faire singler le Navire, que les voiles ordinaires: mais comme elles ont beaucoup moins de hauteur, elles doivent avoir moins de moment ou de force relative pour produire les mauvais effets. Fig. 47.

Digitized by Google

V.

Fig. 47. Lorſque les Navires ſeront parfaitement ſemblables, & qu'on obſervera les régles de mâture que nous avons établies dans la Section précédente *, il ne ſera pas néceſſaire de recommencer les calculs pour déterminer la groſſeur de la mâture de chaque Vaiſſeau. La force relative qu'ont les voiles pour faire rompre leurs mâts, eſt à peu près la même que celle qu'elles ont pour faire incliner le Navire ; & cette ſeconde force étant en équilibre avec celle qu'a le Vaiſſeau pour ſe ſoutenir, laquelle eſt proportionelle au quarré quarré de ſa longueur ; il s'enſuit que dans les Navires dont la mâture eſt également bien diſpoſée, la force relative qu'ont les voiles pour faire rompre les mâts, eſt comme le quarré quarré de la longueur du Navire : ainſi pour que les mâts ſoutiennent cette effort, il faut que les cubes de leur diamétre ſoient comme les quarrés quarrés des longueurs des Vaiſſeaux ; & que par conſéquent leurs diamétres ſoient comme les racines cubiques des quarrés quarrés de ces longueurs, ou qu'ils ſoient comme les mêmes longueurs élevées à la puiſſance qui a $\frac{4}{3}$ pour expoſant.

* CHAP. VI.

Cela ſupoſé, il n'y aura qu'à faire par les logarithmes l'analogie ſuivante, pour trouver la groſſeur des mâts de tous les Navires qui ſeront ſemblables aux Vaiſſeaux du premier rang, dont nous venons d'examiner les dimenſions de la mâture. On mettra au premier terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur du Vaiſſeau du premier rang ; au ſecond terme le logarithme du diamétre de ſes mâts ; au troiſiéme terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur des autres Navires dont il ſera queſtion ; & on aura au quatriéme terme le logarithme du diamétre de leur mât. Le Vaiſſeau du premier rang a 172 pieds de long, & ſon mât de hune doit avoir 17 pouces de diamétre : ſi on veut donc avoir le diamétre du mât de hune pour un Navire ſemblable qui n'a que 150 pieds de long, on aura cette proportion Arithmétique : 2.7944105|1.2304489||2.7201141|1.1561525 ;

Digitized by Google

1.1561525 ; & le quatriéme terme qui répond à environ 14 $\frac{1}{10}$, aprendra qu'il faut donner 14 $\frac{1}{10}$ pouces de diamétre au mât de hune dans le vaiſſeau dont il s'agit. Au lieu de comparer les groſſeurs des mâts aux dimenſions des Navires, on peut les comparer immédiatement aux longueurs même des mâts. Les quarrés des hauteurs de la mâture ſont comme les cubes des longueurs des Navires. Or il ſuit de-là que les longueurs des mâts élevées à la puiſſance $\frac{2}{3}$, ſont comme les longueurs des Navires élevées à laiſſance $\frac{2}{7}$; & qu'elles ſont donc comme les diamétres des mâts. Fig. 47.

On trouvera auſſi à-peu près de la même maniere, & dans les mêmes circonſtances, les groſſeurs des vergues: on reconnoitra aiſément que leurs diamétres ſont ſenſiblement comme les racines ſixiémes des ſeptiémes puiſſances des longueurs des Vaiſſeaux. Nous avons vû dans le Chapitre que nous venons de citer, que les quarrés des hauteurs des mâts ſont comme les cubes des longueurs des Navires: d où il ſuit que les hauteurs de la mâture ſont comme les racines quarrées des cubes des longueurs des Navires, ou comme ces longueurs élevées à la puiſſance dont $\frac{1}{2}$ eſt l'expoſant. Si on multiplie donc les hauteurs par les largeurs des voiles qui ſont en même raport que les largeurs ou les longueurs du Navire, on aura l'étenduë des voiles en même raiſon que les longueurs des Navires élevées à la puiſſance $\frac{5}{2}$; & ſi on multiplie cette étenduë encore par la largeur pour avoir le moment ou la force relative qui tend à rompre la vergue, on aura ce moment en même raiſon que les longueurs du Navire élevées à la puiſſance $\frac{7}{2}$. Ainſi les réſiſtances relatives des vergues, ou ce qui revient au même, les cubes de leurs diamétres doivent être comme les longueurs des Navires élevées à la puiſſance dont $\frac{7}{3}$ eſt l'expoſant: & par conſéquent les diamétres mêmes des vergues ſont comme les longueurs élevées à la puiſſance $\frac{7}{6}$. Il ſuit de-là qu'on peut faire cette analogie ou proportion arithmétique: mettre au premier terme les $\frac{7}{6}$ du logarithme de la longueur du

Fig. 47. Vaiſſeau du premier rang; au ſecond terme le logarithme du diamétre de ſes vergues; au troiſiéme terme les $\frac{7}{8}$ du logarithme de la longueur de tout autre Navire propoſé, & qu'on aura au quatriéme le logarithme du diamétre des vergues de ce dernier Navire. Comme on peut mettre dans la proportion précédente les longueurs des vergues à la place des longueurs des Navires, puiſqu'elles ſont en même raport; il s'enſuit que les diamétres des vergues ſont comme les puiſſances $\frac{7}{8}$ de leurs longueurs dans les Navires de differentes grandeurs.

CHAPITRE VI.

De la réſiſtance des Cordages, & de la maniere de les rendre plus forts.

IL ne nous reſte plus qu'à examiner la force abſoluë des cordages, ou la force dont ils ſont capables, lorſqu'on les tire ſelon le ſens de leur longueur. Il ſemble que lorſqu'il ſont formés de chanvre de la même qualité, leur force doit être proportionelle à leur groſſeur abſoluë, ou à l'étenduë de leur coupe faite perpendiculairement à leur longueur, puiſque cette étenduë répond à la quantité de matiére qu'ils contiennent. Si un cordage a trois fois plus de circonference, l'étenduë de ſa coupe ſera 9 fois plus grande; il ſera formé de 9 fois plus de parties qui réſiſteront; & il devroit avoir par conſéquent 9 fois plus de force. Mais la difficulté de bien filer les cordages, fait que les gros ne réſiſtent pas autant qu'ils le devroient ſelon cette régle, & il s'en faut même beaucoup. *En cablant* un cordage, pluſieurs des fils ſe rompent ou s'alterent extrémement; pluſieurs outre cela ſe trouvent lâches, pendant que d'autres ſont très-tendus & déja chargés d'un grand effort par la torſion; & il arrive que ces derniers ont à ſoutenir tout le fardeau auquel on expoſe le corda-

Digitized by Google

ge, avant que les autres agiſſent en rien. Les premiers fils doivent donc ſe rompre, ſi l'effort qu'ils ſuportent, eſt trop grand; & les ſeconds fils chargés à leur tour, céderont auſſi: au lieu que ſi tous avoient réſiſté enſemble, ils euſſent pû, en s'aidant mutuellement les uns les autres, montrer une force beaucoup plus grande. Ce défaut doit avoir principalement lieu dans les plus gros cordages & dans les cables. Car outre qu'on n'apporte pas toujours le même ſoin en faiſant les gros cordages, qu'une corde menuë dans laquelle l'ouvrier ſçait qu'on reconnoîtroit plus aiſément ſa négligence, la torſion qui eſt plus grande, altere un plus grand nombre de fils: de ſorte qu'il s'en trouve toujours davantage, ou qui ſont trop tendus, ou qui ne le ſont pas aſſez; ou qui ſont déja rompus.

Chaque fil ſimple ou chaque brin de chanvre eſt capable d'un grand effort à proportion de ſa groſſeur; il eſt beaucoup plus fort qu'un égal fil de lin. C'eſt ce qu'il eſt facile d'expérimenter, & ce que l'expérience a déja appris d'avance par l'uſage des differentes toiles. Mais ſi avec pluſieurs brins on fait une ficelle, il ne faut plus compter ſur la ſeule force abſoluë de chaque brin; car comme ils ne ſont pas aſſez longs, & qu'ils ſont ſimplement engagés les uns avec les autres par la maniere dont ils ſont filés, la ficelle pourroit ſe rompre, ſans que chaque brin en particulier ſe caſſât. C'eſt pourquoi l'âpreté de chaque fil ſimple qui contribuë à l'empêcher de gliſſer entre les autres, aide beaucoup à la force du tout, & le chanvre a encore de ce côté un grand avantage ſur le lin. Il en a auſſi à peu près par la même raiſon ſur *la pite*, une eſpéce d'aloés, dont on fait des cordages dans pluſieurs endroits de l'Amérique. La pite a de longues feüilles fort épaiſſes qui ſe terminent en pointe, & on tire, en ſubdiviſant cette feüille ſelon ſa longueur, & celle de ſes fibres, des fils ſimples qui ſont aſſez longs & aſſez forts; mais faute d'être ſouples, ils ne ſe joignent jamais bien enſemble, & ne forment pas un corps aſſez ſerré. Ainſi on

voit que pluſieurs circonſtances ſont néceſſaires, pour qu'une matiére ſoit propre à faire de bons cordages; il faut que chaque de ſes parties ou de ſes brins ait beaucoup de force, qu'en même tems ils ſoient ſouples, & qu'outre cela leur ſurface ne ſoit pas polie ou lice, mais qu'elle ſoit rude. On peut encore ajouter une quatriéme condition qui aide beaucoup aux autres, & qui peut même y ſuppléer, aux moins aux dernieres : c'eſt que les fils ſimples ſoient fort longs. Cette quatriéme condition diſpenſe, lorſqu'on file le cordage, de le trop tourner, ce qu'on a été obligé de faire, lorſqu'on a voulu, par exemple, ſe ſervir de coton. La longueur des fils eſt cauſe qu'ils ſe trouvent ſuffiſamment engagés les uns & les autres par la moindre torſion; & chaque fil ayant enſuite moins ſouffert d'altération, & étant outre cela moins oblique par raport à la longueur de la corde, tout le cordage doit réſiſter beaucoup davantage.

Il eſt facile de voir que ſi on pouvoit engager les fils les uns avec les autres ſans les tordre, les cordages ſeroient beaucoup plus forts. Indépendamment de l'effort dont ſont déja chargés les fils tordus, leur obliquité par raport à la longueur de la corde, doit ſeule en diminuer la force d'un tiers : puiſque c'eſt l'uſage en France, comme nous l'avons déja dit, & apparemment que ce ſera à peu près la même choſe ailleurs, de tourner les gros cordages juſqu'à ce que leur longueur ſoit réduite aux deux tiers. Nos cables ont 120 braſſes de longueur ou 600 pieds; & pour les faire, on ſe ſert de fils qui ont 180 braſſes ou 900 pieds. Or ſi AB (Fig. 48.) eſt un de ces premiers fils qu'on nomme *fil de carret*; & qu'il ait par raport à la longueur des cordages qu'il contribuë à former, la ſituation qu'a AB par raport à BC ou à AD, la force ſelon ſa propre longueur AB, ſe décompoſera & en fournira une moindre ſelon la direction BC ou DA du cordage; dans le même raport que AB eſt plus grand que BC ou DA; c'eſt-à-dire dans le raport de 3 à 2. D'un autre côté la force abſoluë *des fils de carret* eſt très-variable; il s'en

Fig. 48.

Digitized by Google

trouve qui ſont deux fois plus foibles les uns que les autres, quoiqu'on ſe ſoit propoſé de les rendre égaux, & de leur donner à peu près la même groſſeur (environ une ligne & demie de circonference.) J'en ai vû qui ſoutenoient juſqu'à 120 livres, & d'autres qui ſe rompoient, lorſqu'on les chargeoit ſeulement de 50; indépendamment de ce qu'ils ſont toujours plus foibles, lorſqu'ils ſont plus longs, parce qu'ils ont plus d'endroits défectueux. Il eſt de cette ſorte extrémement difficile d'eſtimer leur force moyenne: cependant je crois qu'on peut la mettre à 80 livres; & il faut donc en rabatre un tiers, puiſque cette force de 80 livres ne peut s'exercer que ſelon la propre longueur du fil, & non pas ſelon celle du cable qui eſt fort differente, & ſelon laquelle, comme nous venons de le voir, il n'y a que les deux tiers de la force totale qui agiſſe. Ainſi on ne doit guéres évaluer qu'à 53 ou 54 livres, l'effort que peut ſoutenir chaque fil de carret dans le cable ou le cordage qu'il forme. Fig. 48.

Ces fils peuvent être plus ou moins gros dans differentes Corderies; mais auſſi-tôt qu'on a compté une fois combien il en entre dans un cordage d'une certaine groſſeur, après qu'on aura expérimenté leur force, on pourra ſçavoir à peu près la force totale du cordage, & juger de celle de tous les autres. Il n'importe enſuite que quelques autres cordages ſoient faits avec du fil de carret plus ou moins gros; car ſi ce fil eſt, par exemple, plus gros, il ſera plus fort; mais il en entrera moins dans le cordage qui eſt d'une circonference déterminée, & la force totale ſera toujours ſenſiblement la même, pourvû que le chanvre ſoit de la même qualité. J'ai ajouté qu'on ne ſçaura qu'à peu près la force totale, cette reſtriction eſt néceſſaire: car il peut arriver qu'il n'y ait que les trois quarts, ou les quatre cinquiémes du nombre des fils qui ſoutiennent le premier effort, les autres n'étant pas aſſez tendus; & dans ce cas le cordage n'auroit que les trois quarts ou les quatre cinquiémes de la force qu'il devroit avoir. On peut malgré tout cela prendre pour régle pour

Fig. 48. les cordages qu'on fait ordinairement en France, que le nombre des tonneaux qu'ils peuvent soutenir sans risque, est exprimé par le quart du quarré de leur grosseur en pouces. Si un cordage a 10 pouces de grosseur, c'est-à-dire de circonference, le quarré sera 100, dont le quart 25 marque que le cordage peut soutenir au moins 25 tonneaux ou 50000 livres, sans qu'on ait à craindre qu'il se rompe. Par la même raison un cordage de 8 pouces de circonference doit soutenir 16 tonneaux ou 32000 livres: un cable de 24 pouces de grosseur doit porter 144 tonneaux ou 288000 livres.

Au lieu de tourner ou de *cabler* les fils, comme on le fait toujours pour former les cordes, il vaudroit quelquefois mieux, ainsi que l'a proposé M. de Musschenbroek, en faire des faisceaux, qu'on lieroit fortement par dehors par d'autres fils mis en spirales; & avec ces faisceaux on en formeroit d'autres plus gros. Il n'y a point de doute que chaque fil étant ensuite situé parallelement à l'axe de la corde, & n'ayant outre cela été sujet à aucune torsion considérable, ne résistât beaucoup davantage. Nous n'oserions cependant assurer que cette maniére de former les cordages, fût bonne pour les manœuvres courantes, qui passent continuellement dans des poulies, & qui sont exposées à des frotemens qui feroient rompre en peu de jours, les fils extérieurs. Peut-être seroit-il plus à propos de se servir pour ces manœuvres d'un autre expédient que nous offre le même Auteur, d'entrelacer les fils les uns dans les autres, à peu près comme ils le sont dans les *garcettes*, ou dans les tresses rondes; mais il n'y auroit, à ce que je crois, aucun inconvénient à former des faisceaux, les étais, les haubans & toutes les autres manœuvres *dormantes*. L'avantage qu'on y trouveroit, seroit très-considérable : car il résulte des expériences de M. de Musschenbroek qu'on pourroit ensuite donner beaucoup moins de grosseur absoluë aux cordages, ou y faire entrer moins de chanvre, ce qui les rendroit en même tems moins pesants & moins chers. M. du Hamel a trouvé la même chose, comme

Digitized by Google

on le verra dans un excellent Traité qu'il nous prépare Fig. 48.
ſur la Corderie. Lorſque ce Traité ſera public, la petite régle que nous venons de donner, ne ſera plus d'uſage : il faudra en former quelqu'autre ſur le même modéle.

Après tout, ſoit qu'on adopte cette propoſition, ou qu'on ſuive l'ancienne pratique, il eſt toujours eſſentiel de prendre de grandes précautions pour faire enſorte que les fils de carret qui ſervent comme d'élemens aux cordes, ſoient tendus également. Cette condition me paroît auſſi néceſſaire dans le cordage fait en faiſſeau ou en treſſe, que dans l'autre, & je perſiſte à croire que c'eſt principalement par le défaut de cette attention, qu'il s'en manque ſi conſidérablement que les gros cordages ne ſoient auſſi forts à proportion que les petits. Il y a cependant tout lieu de croire qu'il ne ſeroit pas abſolument impoſſible de trouver quelque remede à cet inconvenient.

CHAPITRE VII.

De la force que doivent avoir différentes manœuvres.

I.

AUSSI-TÔT qu'on réuſſira à rendre les cordages parfaits, ils ne pourront guére manquer d'avoir des forces proportionelles au quarré de leur circonférence ; & il arrivera enſuite qu'on aura bien réglé dans la Marine la groſſeur de la plûpart des manœuvres. Lorſqu'un Vaiſſeau eſt deux fois plus long, deux fois plus large, &c. on donne deux fois plus de groſſeur à ſes manœuvres ; c'eſt la ſeule régle qu'on a ſuivie juſqu'à preſent pour proportionner tout, parce qu'elle s'eſt préſentée la premiere, comme la plus ſimple ; & il eſt facile de s'aſſurer qu'elle eſt bonne dans un très-grand nombre de cas.

Cette régle eſt bonne à l'égard des haubans, des cales-haubans, des écoutes, des bras, &c. Les haubans ſou-

Digitized by Google

tiennent principalement les mâts contre l'effort du vent, & cet effort ſuit le raport de la ſurface des voiles, qui eſt proportionelle au quarré de leurs dimenſions ſimples. Ainſi il ſuffit d'augmenter la circonférence des haubans dans le même raport que ces dimenſions ſimples, pour que la force du cordage ſoit proportionelle à l'effort du vent, & puiſſe continuellement le contrebalancer. Supoſé que le Navire ſoit deux fois plus long & deux fois plus large, ſes voiles auront quatre fois plus de ſurface: l'effort qu'il s'agira de ſoutenir ſera donc quatre fois plus grand; mais il eſt certain auſſi que les haubans qui auront deux fois plus de groſſeur, ſeront capables de quatre fois plus de réſiſtance. Il ne faut pas avoir ici égard à la hauteur du centre d'effort des voiles qui eſt cauſe que l'effort s'exerce, comme s'il étoit apliqué à un bras de levier plus long pour rompre les mâts: car les haubans exercent leur force de la même maniere; ils ſont apliqués d'une maniere plus ou moins avantageuſe, ſelon que le Navire eſt plus ou moins grand.

On n'eſt diſpenſé d'avoir égard au bras de levier, auquel l'effort eſt apliqué, que lorſqu'il s'agit de comparer les manœuvres d'un Vaiſſeau à celles d'un autre, & que les deux diſpoſitions de la mâture ſont ſemblables. S'il étoit queſtion de déterminer la quantité préciſe de la force abſoluë, il faudroit, comme il eſt évident, conſiderer non-ſeulement cette force en elle-même, mais auſſi la maniere dont elle agit. Nous allons, pour en donner un exemple, tacher de découvrir ſi les haubans ont effectivement aſſez de groſſeur dans les Vaiſſeaux du troiſiéme rang, que nous ſupoſerons mâtés ſelon les régles vulgaires. Les trois voiles du grand mât, la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet ont environ 7000 pieds quarrés de ſurface, & ſi chaque pied eſt expoſé de la part du vent à un effort de 6 liv. l'impulſion totale ſera de 42000 livres, & elle s'exercera ſur une direction qui ſera élevée d'environ 60 pieds au-deſſus du pont. D'un autre côté les haubans qui ſont *frapés* à la tête du grand mât & qui vien-

nen

ſeroit trop foible pour les grands Vaiſſeaux. Car un Navire deux fois plus long, ayant huit fois plus de ſolidité, & ſon mouvement étant proportionel à ſa maſſe, parce que la viteſſe eſt ſupoſée la même, il a huit fois plus de force pour continuer à ſe mouvoir; pendant que le cable qui n'auroit ſeulement que quatre fois plus de force, ne ſeroit donc pas capable de le retenir. Mais le cable n'eſt pas deſtiné à cet uſage: Le Navire eſt actuellement en repos; la Mer eſt ſeulement agitée, pendant que le vent frape avec violence ſur les manœuvres & ſur les *œuvres mortes*. Or ces efforts ſont ſimplement plus ou moins grands, tout le reſte étant égal, ſelon que la ſurface du Navire eſt plus ou moins grande; & la force du cable eſt exactement proportionelle à cette ſurface.

C'eſt la même choſe des haubans, des cales-haubans, des écoutes, des bras & de la plûpart des autres manœuvres. Les haubans ſoutiennent principalement les mâts contre l'effort du vent, & cet effort eſt proportionel à la ſurface des voiles, à laquelle eſt auſſi proportionelle la force des haubans. Il ne faut pas compter ici la hauteur du centre d'effort des voiles, qui eſt cauſe que l'effort agit, comme s'il étoit apliqué à un bras de levier plus long, pour rompre les mâts: car les haubans agiſſent auſſi de la même maniere; ils ſont appliqués plus ou moins avantageuſement, ſelon que le Navire eſt plus ou moins grand, puiſqu'ils ſont arrêtés ſur le bord qui eſt à differentes diſtances du pied du mât, ſelon les diverſes grandeurs du Navire.

Mais il faut remarquer qu'on n'eſt diſpenſé d'avoir égard au bras de levier auquel l'effort eſt apliqué, que lorſqu'il s'agit de comparer les manœuvres d'un Vaiſſeau à celles d'un autre, & que les deux diſpoſitions de la mâture ſont ſemblables. S'il étoit queſtion de juger de la force abſoluë ou de l'effet des haubans, il faudroit, comme il eſt évident, conſidérer non-ſeulement les forces en elles-mêmes, mais auſſi la maniere dont elles ſont ſituées. Pour reconnoître ſi ces cordages ont effectivement aſſez de force;

nous établirons notre calcul sur les dimensions des Vaisseaux du troisiéme rang que nous supoſerons mâtés selon les régles vulgaires. Les trois voiles du grand mât, la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet, ont environ 7000 pieds quarrés de surface, & si chaque pied est sujet à un effort de 6 livres, ce qui ne peut arriver que lorsque le vent a trop de violence, pour que les Marins se hasardent à porter leurs voiles hautes, l'impulsion totale sera de 42000 livres, & elle s'exercera sur une direction qui sera environ 60 pieds au-dessus de l'endroit du mât auprès du pont, où il est le plus sujet à se rompre, & qui sert d'hypomoclion. C'est ce qu'on peut sçavoir aussi exactement qu'on voudra, en cherchant le centre de gravité de la surface des voiles; mais nous nous arrêterons à 60 pieds. D'un autre côté les haubans qui sont *frapés* à la tête du grand mât, & qui viennent se rendre au bord du Navire, peuvent être éloignés du pied du mât, en mesurant la distance perpendiculairement, & en prenant la distance moyenne, d'environ 20 pieds. Ainsi ils sont apliqués à un bras de levier moins long; & il faut donc les rendre capables d'une plus grande force à proportion, conformément à cette analogie; 20 pieds sont à 60, comme 42000 livres sont à 126000 livres, pour l'effort absolu qu'ont à soutenir les haubans. Or chaque hauban du grand mât dans les Vaisseaux du troisiéme rang, a 7 pouces à peu près de circonference, ce qui les doit rendre capables, pour le moins, d'un effort de 12 $\frac{1}{4}$ tonneaux, ou de 24500, & comme il y en a huit de chaque côté, ils peuvent soutenir ensemble 196000 livres. On voit donc clairement qu'ils sont plus qu'en état de soutenir la mâture, quand même il n'y auroit point d'autres manœuvres qui contribuassent au même effet, & que le mât n'eût d'ailleurs aucune force pour résister latéralement.

II.

Mais lorsque la grosseur ou la circonference des manœuvres, n'a pas dû être proportionelle aux dimensions

Digitized by Google

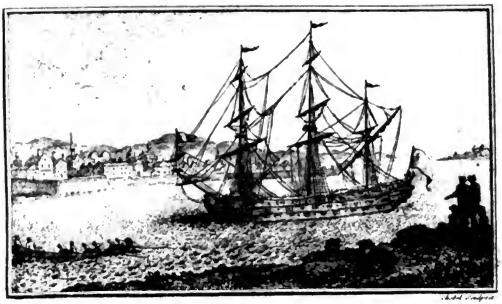
ſimples des Navires, les Marins ne pouvoient pas manquer de s'y tromper; & c'eſt ce qui eſt arrivé au ſujet des étays, & de tous les cordages deſtinés à ſoutenir quelques poids. On ſe ſouvient que les étays, comme KL (Fig. 37.), ſervent dans le tangage ou dans les balancemens du Vaiſſeau, qui ſe font dans le ſens de ſa longueur, à obliger les mâts à prendre toute la rapidité du mouvement avec lequel la proüe ſe précipite quelquesfois dans l'eau. Il ſuit de-là que l'étay doit avoir une force non pas proportionelle au quarré des dimenſions ſimples des Navires, mais à leur quarré quarré. Car la réſiſtance abſoluë que font les mâts, les vergues, &c. à recevoir le mouvement qu'ils doivent prendre, dépend de leur ſolidité ou de leur maſſe, & de la viteſſe qu'ils reçoivent dans chaque point, laquelle eſt à peu près proportionelle à leur hauteur. Ainſi cette réſiſtance abſoluë eſt comme la ſolidité des mâts multipliée par leur hauteur, ou comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du Navire; & puiſque la force des étays doit y être égale, les quarrés des groſſeurs de ces manœuvres doivent être comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du Vaiſſeau, ou ce qui revient au même, les circonferences des étays doivent être comme les quarrés de ces mêmes dimenſions. On voit par-là que nos Manœuvriers ſe ſont extrémement trompés dans cette rencontre; puiſque dans un Navire deux fois plus long, ils ſe contentent de donner aux étays deux fois plus de circonference, au lieu qu'ils en devroient donner quatre fois plus. Dans un Vaiſſeau du troiſiéme rang, le grand étay a 13 pouces de groſſeur, le maître bau étant long de 39 pieds: ſi on veut chercher à proportion la groſſeur que doit avoir cette manœuvre dans un Vaiſſeau du premier rang, qui a 48 pieds de bau, il n'y a qu'à faire cette analogie; le quarré 1521 du bau du premier Navire, eſt à la groſſeur 13 pouces de ſon étay, comme le quarré 2304 du bau du ſecond eſt à un peu plus de 19 pouces pour la groſſeur de ſon étay; au lieu que ſelon les régles ordinaires, on ne lui en donne que 16. On ne peut pas aſſurer qu'il Fig. 37.

ſoit abſolument néceſſaire de rendre ces manœuvres ſi groſſes dans les Vaiſſeaux du premier rang : mais alors ce ſeroit une marque qu'elles ont trop de groſſeur dans les Vaiſſeaux du troiſiéme.

Fig. 37. Enfin, ſi on ſe détermine à ne pas rendre les dimenſions de la mâture proportionelles à celles du Vaiſſeau, il ne faudra plus que la force des étays, ou que le quarré de leur groſſeur ſoit proportionel à la ſolidité de la mâture multipliée par la hauteur, mais à cette ſolidité multipliée par le quarré de la hauteur, & diviſée par la longueur de la perpendiculaire TV, abaiſſée du pied T du mât ſur l'étay KL. La difficulté que fait la mâture à prendre du mouvement, eſt toujours comme la ſolidité de cette mâture multipliée par ſa hauteur ; mais il faut encore multiplier ce produit par la hauteur pour en avoir le moment ou la force relative. car la même réſiſtance fait relativement plus ou moins d'effet, ſelon qu'elle eſt apliquée plus ou moins haut. Or ce moment doit être égal à celui de la force de l'étay, qui eſt le produit de cette force multipliée par la diſtance TV de ſa direction au pied du mât qui ſert d'hypomoclion. Ainſi la force abſolue de l'étay doit être égale, ou plutôt proportionelle à la ſolidité de la mâture multipliée par le quarré de ſa hauteur, & le produit diviſé par la perpendiculaire TV. Dans les cas où la mâture eſt proportionelle aux autres parties du Vaiſſeau, il y a un raport conſtant entre la perpendiculaire TV & la hauteur du mât. C'eſt pourquoi on peut négliger une fois la hauteur de la mâture d'un côté, & de l'autre la perpendiculaire TV ; & dans ce cas particulier la force de l'étay, ou le quarré de ſa groſſeur, eſt ſimplement proportionel à la ſolidité de la mâture multipliée par ſa hauteur, ou au quarré quarré de cette même hauteur.

Fin du premier Livre.

Digitized by Google



TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE SECOND.

Du Vaiſſeau conſideré à flot, mais lorſqu'il ne ſingle pas.

Tranquillis primùm trepidus ſe credidit undis.
Claud.

SOIT qu'on ſe propoſe de former un projet de Vaiſſeau ſur les Maximes que nous venons d'expliquer dans le premier Livre, ou qu'il s'agiſſe d'en examiner un déja formé, il eſt évident qu'on doit d'abord, pour ne rien abandonner au hazard, s'aſſurer ſi le Navire ne ſera pas trop peſant, & n'enfoncera dans l'eau que juſqu'à l'endroit

Digitized by Google

convenable, lorſqu'il ſera chargé de ſa mâture, de ſes agrêils, & muni de toutes les autres choſes néceſſaires. Nous ne pouvons pas nous diſpenſer de nous occuper de cette conſidération, & de commencer par elle; puiſque le Vaiſſeau couleroit à fond dans le Port même, ſi l'on manquoit de l'obſerver. Il eſt vrai que n'augmentant la charge que peu à peu, & qu'autant qu'on le peut faire ſans riſque, on n'a guere dans l'uſage ordinaire ce fâcheux accident à craindre, quoiqu'il ſoit quelquefois arrivé: mais outre que c'eſt un grand défaut qu'un Navire deſtiné à tranſporter un grand poids, ne porte pas tout ce qu'il eût été capable de recevoir, s'il eût été mieux conſtruit; l'inconvénient eſt infiniment conſidérable dans les Vaiſſeaux de guerre, qui malgré les frais immenſes qu'ils ont coûté, ſont condamnés à ne ſervir que de triſte ſpectacle dans le Port, s'ils ne joignent pas à l'avantage de ſe bien comporter en Mer, celui de pouvoir être armés d'une forte artillerie.

Mais ce n'eſt pas aſſez que la peſanteur de tout ce qui entre dans le Navire, ſoit proportionnée à ſa grandeur & à l'uſage auquel il eſt deſtiné, il faut encore que cette peſanteur ſoit diſtribuée d'une maniere particuliere, & que le point dans lequel on peut ſupoſer qu'elle ſe réunit, ne ſoit pas trop élevé. Ainſi il nous faudra examiner auſſi cette diſtribution avec ſoin: il faudra rechercher les conditions du bon *arrimage* *; non-ſeulement afin que le Vaiſſeau ſe ſoutienne d'une façon ſtable, mais afin que les balancemens *du roulis* auſquels il eſt toujours ſujet en mer, n'apportent aucun préjudice à ſa Navigation.

* C'eſt l'arrangement de la charge. Ce mot eſt tiré de l'Eſpagnol.

PREMIERE SECTION.

De la peſanteur du Vaiſſeau, & de la force qu'a l'eau pour le ſoutenir.

CHAPITRE PREMIER.

De la force qu'a l'eau pour ſoutenir le Navire en le pouſſant en haut ſelon une direction exactement verticale.

I.

LE Principe d'Hydroſtatique qui doit ſervir de régle dans toute cette matiere, & qu'on doit avoir continuellement préſent à l'eſprit, c'eſt qu'un corps qui flote ſur une liqueur, eſt pouſſé en haut avec une force égale au poids de l'eau, ou de la liqueur dont il occupe la place. Si un Navire peſe 400000 ou 500000 livres, il enfonce juſqu'à ce qu'il occupe la place de 400000 ou 500000 livres d'eau : ſupoſé qu'on le rende plus peſant, il enfonce encore davantage; mais il ne le fait toujours que juſqu'à ce que le volume de toute l'eau qui a été obligée de ſe retirer, peſe préciſément autant que lui. Dans tous ces cas il eſt pouſſé verticalement en haut par la liqueur : il eſt pouſſé avec autant de force qu'il tend à deſcendre ; & la parfaite égalité qu'il y a entre ces deux puiſſances qui agiſſent l'une contre l'autre en ſens contraire, fait qu'elles ſe

Digitized by Google

trouvent continuellement en équilibre. Sans cette force qu'a l'eau, de même que toutes les autres liqueurs pour pouſſer en haut, & que nous nommerons ici, comme nous l'avons déja fait ailleurs, *leur pouſſée verticale*, tous les corps qui flotent ſur une liqueur, tomberoient à fond. C'eſt auſſi cette force ou cette *pouſſée* qu'on éprouve ſenſiblement, lorſqu'on tâche de plonger dans l'eau quelque corps leger qui eſt d'un grand volume. Plus on enfonce le corps, plus on éprouve de réſiſtance; parce qu'on ſouleve une plus grande quantité d'eau, dont on doit reſſentir tout le poids.

Pour rendre ceci plus ſenſible, nous ſuppoſerons que
Fig. 49. ABCD (Fig. 49.) eſt la ſurface d'une liqueur, & qu'on réuſſiſſe par quelque moyen que ce ſoit, à en ôter un certain volume, en laiſſant vuide l'eſpace BCH. Il eſt clair qu'il ne ſuffit pas, pour empêcher la liqueur de revenir remplir ce vuide dans l'inſtant, de mettre un corps qui occupe exactement la même place. Il faut encore que ce corps ait de la peſanteur, pour pouvoir produire par ſon poids le même effet que le volume de liqueur ôtée; mais cela ne ſuffit point encore : ſi le volume ôté peſe deux ou trois cent livres, il eſt non-ſeulement néceſſaire que le ſolide peſe exactement autant; il faut outre cela que ſa peſanteur s'exerce préciſément ſur la même direction. Il n'importe enſuite que le ſolide EBHC ait une partie BEC qui ſorte de l'eau; pourvû que le poids du tout ne ſoit pas plus grand, & que ſon centre de gravité ſoit exactement dans la même verticale que le point G où étoit celui de la liqueur : car l'action ſera toujours préciſément la même. Mais puiſque le ſolide BHCE ſe ſoutient ſur la liqueur dans les conditions marquées, malgré la peſanteur qui travaille continuellement à le faire *couler à fond*, il faut que la liqueur agiſſe ſans ceſſe de bas en haut avec une force contraire; & que cette force ou cette pouſſée ait pour direction la verticale du centre de gravité G de l'eſpace BCH.

Cette

Digitized by Google

II.

Cette maniere de considérer la chose, fait au moins voir *à posteriori*, que toutes les liqueurs ont une force réelle pour pousser en haut les corps qu'elles supportent; mais on ne voit peut-être pas encore comment se forme cette action, ni comment un effort apliqué à la surface de la partie submergée du corps flotant, & qui semble s'y terminer, ait pour centre de réunion, non pas le centre de gravité de cette surface, mais celui de l'espace même qu'elle environne; quelque irrégulier qu'il soit. Comment se peut-il faire en effet que l'action de la liqueur aille saisir précisément ce point au dedans du corps, & s'y placer? Nous ne pouvons pas éclaircir cette difficulté, sans descendre dans un plus grand détail, ni sans examiner l'effort de la liqueur sur chaque partie extérieure du corps flotant.

Si l'on conçoit une partie *Ff* comprise entre deux plans horisontaux KFIL, & *kfil* infiniment près l'un de l'autre, toute la portion de liqueur renfermée entre ces deux plans, aussi-bien celle qui est proche du corps solide, que celle qui en est éloignée, & qui est exposée à l'action immédiate de la pesanteur de la liqueur supérieure, sera également comprimée. Car toutes les liqueurs ont cette propriété qui les caracterise, qu'il suffit de les presser dans un certain sens, pour qu'elles travaillent à s'étendre dans tous les autres; & cela jusqu'à ce qu'elles soient également comprimées par tout. Ainsi ce ne sont pas les seules parties comme M, qui sont chargées du poids de toutes celles qui sont au-dessus, qui se trouvent très-pressées; ce sont également les parties les plus retirées; ce sont celles qui sont proches de F, quoiqu'elles semblent être comme à l'abri de la pression. Elles ont à soutenir l'effort latéral de la liqueur située en M, laquelle pressée de haut en bas, fait un égal effort pour s'étendre horisontalement à droit & à gauche. Mais ces parties de liqueur qui sont proche de F, & qui sont ainsi comprimées, tendent à ava- Fig. 49.

cer dans tous les ſens, & doivent, en s'appuyant contre la petite ſurface F*f* du corps flotant, la pouſſer avec la même force que ſi cette ſurface étoit ſituée horiſontalement, & chargée du poids de toute la liqueur contenuë dans la hauteur AM.

Ce doit être la même choſe de toutes les autres parties de la ſurface du corps ſolide : la preſſion à laquelle elles ſont ſujettes, ne dépend que de leur étenduë, & de la quantité dont elles ſont plus ou moins enfoncées dans la liqueur, ſans que leur ſituation verticale ou inclinée apporte aucune difference à la preſſion. Pour le dire en un mot, chaque partie F*f*, ou I*i*, eſt pouſſée avec une force
Fig. 49. égale à la peſanteur d'une colomne de liqueur qui auroit AM pour hauteur, & pour baſe la partie même F*f* ou I*i* placée horiſontalement. Mais ces preſſions abſoluës, qui ont pour directions les perpendiculaires aux petites ſurfaces F*f* & I*i*, ſe décompoſent; car les petites ſurfaces F*f* & I*i* ne peuvent pas être pouſſées ſelon les lignes FO & IQ, ſans l'être dans le ſens vertical & dans l'horiſontal. Supoſé que FO & IQ repréſentent les impulſions abſoluës, & qu'on forme les rectangles VFXO & IYQZ par des côtez horiſontaux & verticaux, on aura FV pour l'impulſion relative verticale à laquelle eſt expoſée la particule F*f* de la ſurface du corps flotant, & F X pour l'impulſion relative horiſontale, pendant que IY & IZ repréſentent les forces relatives, verticale & horiſontale, avec leſquelles ſera pouſſée la petite partie I*i*. Et ce qui eſt très-remarquable, c'eſt que les preſſions relatives horiſontales FX & IZ que ſouffrent les deux parties correſpondantes ou oppoſées F*f* & I*i*, ſont toujours parfaitement égales. Elles ſont en effet plus petites que les preſſions abſoluës dans le raport qu'il faut pour cela; elles ſont plus petites, l'une dans le même raport que FX eſt plus petite que FO, ou que *f*R eſt plus petite que *f*F, à cauſe de la reſſemblance des deux triangles rectangles FXO & *f*RF; & l'autre dans le raport que *i*P qui eſt egale à *f*R, eſt plus petite que I*i*: ce qui doit rendre ces forces relatives égales;

Digitized by Google

auſſi-tôt que les abſoluës ſont l'une à l'autre comme *f*F eſt Fig. 49.
à *i*I. Car chacune de ces forces relatives eſt égale à la peſanteur d'une colomne de liqueur qui auroit toujours AM pour haureur, mais ſeulement *i*P ou *f*R pour baſe. Il ſuit de-là que le corps florant ne doit avancer ni d'un côté ni de l'autre, puiſque toutes les preſſions relatives horiſontales que ſouffre chaque côté, doivent ſuſpendre exactement l'effet des preſſions horiſontales que ſouffre le côté oppoſé.

A l'égard des preſſions relatives verticales, ou des autres parties des forces abſoluës qui agiſſent de bas en haut, elles ne peuvent pas ſe détruire, puiſqu'elles ne ſont pas oppoſées : elles s'aident au contraire pour ſoutenir enſemble le corps. Il eſt facile de voir que ces forces relatives ſont moindres que les forces totales ou abſoluës, dont elles dérivent dans le raport de FR à F*f*, ou de IP à I*i*. Ainſi une petite ſurface F*f* qui eſt pouſſée par la liqueur dans le ſens qui lui eſt perpendiculaire, avec une force égale à la peſanteur d'une colomne, dont AM ſeroit la hauteur, & F*f* la baſe, ne doit être pouſſée dans le ſens exactement vertical qu'avec une partie de cette force qui ſera égale à la peſanteur de la colomne, dont AM ſera également la hauteur, mais qui n'aura que FR pour baſe ; c'eſt-à-dire que la petite ſurface F*f* eſt pouſſée verticalement en haut avec une force préciſément égale à la peſanteur qu'auroit une colomne de liqueur, dont SR marqueroit les dimenſions. Ce ſera la même choſe de I*i* & de toutes les autres parties de la ſurface ; & enfin pour avoir la pouſſée verticale qu'elles ſouffrent toutes, il n'y aura toujours qu'à ſupoſer une colomne de liqueur audeſſus, juſqu'à la ſuperficie AD, & la pouſſée ſera égale à la peſanteur qu'auroit cette colomne. Or il ſuit de-là 1°. que tout le ſolide eſt pouſſé en haut avec une force égale à la peſanteur de toutes ces colomnes ; ou ce qui revient au même, qu'il eſt pouſſé en haut avec une force égale au poids de tout le volume de liqueur BHC, dont il occupe la place. Il ſuit 2°. que cette force ou cette pouſſée de la

Digitized by Google

Fig. 49. liqueur s'exerce sur la verticale qui passe par le centre de gravité G de la partie submergée BHC supoſée homogène. Car aussi-tôt que la poussée verticale que souffre chaque partie F*f* de la surface du corps solide, peut se comparer à la pesanteur de la colomne de liqueur correspondante, la direction composée de toutes les poussées particulieres, doit être la même que la direction composée de toutes les pesanteurs des colomnes ; sans qu'il importe que les actions de ces deux differentes puissances, se fassent en sens contraires.

III.

L'action des liqueurs étant ainsi établie, il seroit facile d'en expliquer tous les divers effets : Mais pour nous renfermer dans notre sujet, nous remarquerons seulement qu'il suffit d'examiner les dimensions de la carène d'un Navire, pour se mettre en état de résoudre deux problêmes importans ; l'un de déterminer la pesanteur totale que doit avoir le Vaisseau ; l'autre de sçavoir en quel endroit de sa longueur doit être situé son centre de gravité. Bornons-nous d'abord à la premiere question. Il est évident que si en prenant toutes les dimensions de la carène, on en cherche la solidité, on sçaura le volume de l'eau dont le Navire occupe la place, & qui est de même pesanteur que lui. Or comme le poids d'un pied cubique d'eau de Mer, quoiqu'un peu variable, est toujours assez connu, & qu'il est à très-peu près de 72 livres, il n'y aura qu'à multiplier par 72 les pieds cubiques de la solidité de la carène, & on aura la pesanteur du volume d'eau dont il s'agit, & par conséquent celle du Vaisseau qui est la même. Ordinairement on n'exprime pas cette pesanteur en livres, mais en tonneaux, qui est, comme nous en avons déja averti, le poids de 2000 livres ; ce qui rend l'opération plus simple, parce que 28 pieds cubiques d'eau de Mer, pesant à peu près 2000 livres, il n'y a qu'à diviser la solidité de la carène par 28, pour découvrir tout d'un coup les tonneaux d'eau de Mer qu'elle occupe, & en même tems les ton-

Digitized by Google

neaux que doit peſer le Navire. Si, par exemple, la carène eſt de 10000 pieds cubiques, on trouvera en multipliant 10000 par 72 livres, & en diviſant par 2000, que le Navire doit peſer 720000 livres ou 360 tonneaux; & il vient auſſi à peu près ce dernier nombre, lorſqu'on diviſe immédiatement 1000 par 28.

C'eſt non-ſeulement la peſanteur du Vaiſſeau entierement armé qu'on peut découvrir de cette ſorte; c'eſt auſſi ſa peſanteur dans tous les autres états. Lorſqu'on le lance à l'eau, & que ſans mâture ſon corps même n'eſt pas encore achevé, qu'il lui manque *tous ſes hauts*, il n'enfonce que peu dans la Mer: mais il n'y a qu'à meſurer la ſolidité de la partie plongée; & par la peſanteur qu'aura un égal volume d'eau de Mer, on ſçaura la peſanteur du corps du Vaiſſeau. Qu'on acheve enſuite de le conſtruire: qu'on le mâte, & qu'il ne lui manque plus que ſon leſt ou que ſa charge, il enfoncera davantage, ſans cependant parvenir encore à ce terme où nous l'avons ſupoſé d'abord. Mais la ſolidité de la partie ſubmergée de ſa carène indiquera ſa peſanteur dans tous les differens cas, & en ſera toujours pour ainſi dire *l'expoſant*. Il eſt clair auſſi que la partie de la carène qui ſera hors de l'eau, & qui eſt deſtinée à y entrer, ſera en même tems *l'expoſant* du reſte de la charge, ou du poids qu'on pourra encore ajouter à la peſanteur actuelle: ſupoſé que cette partie ſoit de 5000 pieds cubiques, il faudra un poids de 360000 livres, ou de 180 tonneaux pour la faire enfoncer dans l'eau, & on pourra par conſéquent charger encore le Vaiſſeau de tout ce poids.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

Trouver la force avec laquelle l'eau pouſſe le Navire en haut.

NOUS n'avons maintenant beſoin pour faire uſage des principes que nous venons d'expliquer, que d'une méthode ſimple & réglée de meſurer la ſolidité de la carène & de toutes ſes parties; ſoit en prenant les dimenſions même du Vaiſſeau, lorſqu'il eſt déja conſtruit; ſoit en prenant ſimplement ſes meſures ſur un plan qui le repréſente. Il ſeroit à ſouhaiter qu'on pût le regarder comme un corps géométrique d'une certaine figure déterminée: il ſuffiroit de prendre ſes principales dimenſions, & on concluroit enſuite tout d'un coup ſa ſolidité.

I.

Premiere Méthode de meſurer la ſolidité de la carène en la conſiderant comme un ellipſoïde.

C'eſt l'ellipſe conique ou ordinaire, qui de toutes les lignes courbes, entre le plus ſouvent dans la conſtruction des Vaiſſeaux; & ſi l'on peut attribuer généralement à la carène une certaine figure; c'eſt celle de l'ellipſoïde; c'eſt-à-dire celle du corps dont toutes les tranches horiſontales ſont elliptiques, de même que les verticales. Cet ellipſoïde deviendroit un ſphéroïde, ſi la profondeur de la carène étoit la moitié de ſa plus grande largeur, ou que les coupes faites perpendiculairement à la quille, au lieu d'être des ellipſes, fuſſent exactement des cercles: car alors la carène ſeroit formée par la demi-révolution d'une ellipſe autour de ſon grand axe. Dans ce cas particulier, auſſi-bien que dans le général, la ſolidité de la carène ſe-

Digitized by Google

roit à la solidité du parallelipipede rectangle qui lui est circonscrit à très-peu près comme 11 est à 21, puisqu'on démontre en Géométrie, que ces solides sont l'un à l'autre, comme la circonference d'un cercle est à six fois son diamétre, & que ce dernier raport est exprimé à très-peu près par 11 & 21. Après qu'on auroit donc mesuré les trois principales dimensions de la carène, ou de la partie submergée du Navire, sa longueur, sa plus grande largeur & sa profondeur, & en avoir cherché le produit, il ne resteroit plus qu'a en prendre les $\frac{11}{21}$; ce qui rendroit toute l'opération extrémement simple, si elle pouvoit avoir lieu dans tous les cas.

Supposé que la plus grande longueur de la carène fût de 140 pieds; sa plus grande largeur dans l'endroit où elle sort de l'eau de 40 pieds, & sa profondeur de 18; le solide circonscrit formé de ces trois dimensions, seroit de 100800 pieds cubiques, & si on en prenoit les $\frac{11}{21}$, ou qu'après avoir multiplié ces 100800 pieds cubiques par 11, on divisât le produit par 21, il viendroit 52800 pieds cubiques pour la solidité de la carène. Cette solidité divisée ensuite par 28, parce que 28 pieds cubiques d'eau marine pesent un tonneau, donneroit 1889 tonneaux pour la force totale avec laquelle la Mer pousse la carène en haut; & par conséquent pour la pesanteur totale qu'il faudroit qu'eût le Navire, y compris son propre poids, sa mâture, ses agrêils, ses munitions, sa charge, &c.

Mais nous ne devons pas dissimuler qu'on ne peut pas ainsi comparer généralement la carène des Vaisseaux à des ellipsoïdes ou à des spheroïdes, de quelque maniere qu'ils soient formés. La surface d'une ellipse est à peu près les $\frac{11}{14}$ du rectangle qui lui est circonscrit, mais dans les Navires ordinaires les coupes horisontales de la carène faites vers le haut, en sont pour le moins les $\frac{4}{7}$ ou les $\frac{11}{14}$. Il est vrai qu'il se fait presque toujours ensuite une espece de compensation, parce que les coupes faites plus bas sont beaucoup plus petites à proportion: d'où il peut arriver que la carène entiere au lieu d'être les $\frac{11}{21}$ du parallelipipede cir-

Digitized by Google

conſcrit, n'en ſoit que la moitié & même une moindre partie. C'eſt ce qui arrivera principalement, lorſqu'on rendra les liſſes preſque droites, comme l'exige la promptitude du ſillage, ainſi que nous l'avons déja dit dans le Livre précédent & que nous le montrerons dans le ſuivant; la carène ſera alors à peine les $\frac{11}{12}$ du ſolide circonſcrit. Mais vû l'état où eſt actuellement l'Architecture navale, on ne peut établir aucune régle générale ſur toutes ces choſes. Il eſt très-ordinaire que deux Vaiſſeaux ayent exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur, & que cependant ils ayent des ſolidités différentes d'une cinquiéme ou d'une ſixiéme partie. Ainſi il faut abſolument dans cette rencontre renoncer aux méthodes purement Géométriques qui ne ſont applicables qu'aux corps d'une forme toujours déterminée, & non pas à la carène des Navires qui eſt le plus ſouvent comme formée au hazard. C'eſt pourquoi on ne peut réuſſir à en déterminer la ſolidité qu'en la diviſant en pluſieurs parties, ou qu'en la diſcutant par la meſure d'un très-grand nombre de dimenſions.

II.

Seconde méthode de meſurer la Carène en la diviſant en pluſieurs priſmes.

Tout l'art qu'on peut employer dans cette nouvelle opération, conſiſte à ſe ſervir de meſures qu'on puiſſe prendre avec facilité, & à faire auſſi enſorte que les diverſes parties dans leſquelles on partagera la carène, ou tout autre corps dont il s'agira de connoître la ſolidité, ſoient des figures de même eſpece & qui ayent en même tems le plus de dimenſions égales qu'il ſera poſſible. Il n'y aura, par exemple, qu'à partager la carène par des plans horiſontaux qui ſoient à une égale diſtance les unes des autres, & imaginer enſuite des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du Navire, qui ſoient tous auſſi également éloignés les uns des autres; & de cette ſorte la carène ſera diviſée

viſée en pluſieurs priſmes quadrangulaires ou de même groſſeur, couchés dans le ſens de la largeur & dont les deux extrémités ſeront terminées preſque toujours obliquement par les deux flancs. Puiſque tous ces priſmes ſeront préciſément de même groſſeur à cauſe de l'égalité d'intervale qu'on met entre tous les plans tant horiſontaux que verticaux, il eſt clair qu'on pourra les conſiderer, comme s'ils n'en formoient qu'un ſeul, & qu'il n'y aura qu'à multiplier le rectangle qui leur ſert de groſſeur, par la ſomme de toutes leurs longueurs, pour avoir tout d'un coup leur ſolidité totale. Si les plans horiſontaux ſont élevés les uns au-deſſus des autres de trois pieds, & les plans verticaux perpendiculaires à la quille, éloignés les uns des autres de dix, les rectangles qui repreſenteront la groſſeur de tous les priſmes ſeront de 30 pieds quarrés. Ainſi la ſolidité de la carène ſera le produit de ces 30 pieds par la ſomme de toutes les diverſes largeurs du Vaiſſeau qui ſervent de longueur aux priſmes. Plus la courbure des deux flancs du Vaiſſeau ſera grande, plus il ſera néceſſaire de pouſſer loin la diviſion, en augmentant le nombre des plans tant horiſontaux que verticaux. La ſeule régle qu'il y aura à obſerver en cela, ce ſera de rendre les parties de la ſurface de la carène aſſez petites, pour qu'elles ſoient ſenſiblement planes. Cependant je crois qu'il ſuffira preſque toujours de partager la carène en trois ou quatre tranches horiſontales de même épaiſſeur, & de la ſubdiviſer enſuite par 8 ou 10 plans verticaux; de ſorte qu'on ne ſera gueres obligé pour avoir la longueur de tous les priſmes & pour avoir enſuite leur ſolidité, que de meſurer la largeur du Navire en trente ou en quarante endroits. Lorſqu'il s'agira des plus grands Vaiſſeaux, on pourra diviſer leur carène en cinq ou ſix tranches horiſontales.

On a déja vû la maniere de meſurer les largeurs ſur un Plan, mais il n'y aura gueres plus de difficulté à les prendre ſur le Vaiſſeau même, lorſqu'il ſera conſtruit & qu'il ſera à ſec dans un baſſin. Il n'y aura qu'à mettre ſur le Navire une piece de bois en travers ou perpendiculairement

à sa longueur, dont les deux extrémités sortent de chaque côté ; on y suspendra deux fils à plomb, dont on mesurera d'abord la distance, & on verra ensuite combien il s'en faut en chaque endroit que le Navire ne soit aussi large que les deux fils à plomb sont éloignés l'un de l'autre. On trouvera de cette sorte la largeur du Vaisseau en haut dans l'endroit où il est le plus gros. On prendra en même tems les autres largeurs dans les autres points plus bas, en laissant les fils à plomb dans la même situation ; & on transportera ensuite ces mêmes fils vers l'avant & vers l'arriere toujours à des distances égales, pour réiterer la même opération, & avoir les largeurs du Navire dans tous les autres plans verticaux. Ces largeurs seront, je le repete, les longueurs des prismes dans lesquels on a divisé la carène. On fera attention d'un autre côté que pour obtenir la solidité de chacun de ces prismes, il faut multiplier l'étendue de la coupe faite perpendiculairement à sa longueur, par sa longueur moyenne même, qui est égale au quart de la somme de ses quatre côtés. Ainsi pour avoir la solidité de tous les prismes ensemble ; il faudroit multiplier l'étendue du rectangle qui représente leur grosseur par le quart de la somme de toutes les largeurs mesurées de la carène ; si ce n'est que la plus grande partie de ces largeurs servent de côtés à 4 prismes ; d'où il suit que le quart doit être repeté quatre fois, ou ce qui revient au même, que ces largeurs doivent être employées toutes entieres. Telles sont toutes celles qu'on peut nommer intérieures, parce qu'elles sont prises au-dedans du solide : d'autres qui sont extérieures, parce qu'elles se trouvent dans les plans extrêmes ou qui terminent le corps, servent de côtés à deux prismes ; ainsi leur quart doit être simplement repeté deux fois. Enfin il y a quatre largeurs qui sont à l'extrémité des plans extrêmes, lesquelles ne servent de côtés chacune qu'à un seul prisme, & par conséquent leur quart ne doit être employé qu'une seule fois dans la somme qu'il faut multiplier par la grosseur des prismes.

On verra tout ceci plus clairement si on jette les yeux

sur la Figure 50, qui represente un Vaisseau projetté sur le plan vertical qui le coupe par la moitié dans le sens de sa longueur ou de la quille. Sa carène ou la partie qui doit enfoncer dans la Mer est partagée en quatre tranches horisontales, & elle est ensuite divisée par sept plans verticaux FB, GG, GG, &c. perpendiculaires à sa longueur. Je n'ai que faire d'avertir que les petits rectangles marqués dans la figure & qui sont tous égaux, sont les grosseurs des prismes qui résultent de la division de la carène, & qui ont pour longueurs ou pour côtés les largeurs du Navire mesurées vis-à-vis de tous les points H, G, &c. Or pour trouver la solidité de tous ces prismes à la fois ou du corps entier EFBC qu'ils forment ensemble, il n'y a qu'à multiplier, conformement à ce que nous venons de dire, l'étendue d'un seul rectangle HHHH par la somme qu'on fera des largeurs entieres qui seront mesurées vis-à-vis de tous les points H, de la moitié de chacune des largeurs mesurées vis-à-vis des points G, & du quart des quatre qui seront prises vis-à-vis des points E, F, B & C. L'opération s'expedira de cette sorte avec une extréme promptitude par une seule multiplication pour la solidité de tous les prismes ou de tout le corps EFBC. On voit assez maintenant la cause de la distinction que nous mettons entre les largeurs qui servent ou à quatre prismes ou à deux, ou simplement à un seul. Il restera à ajouter au corps EFBC la solidité qu'on cherchera à part des prismes irréguliers, qui se trouveront aux deux extrémités de la carène en ABF & en DCE, à la poupe & à la prouë. Comme il n'est pas possible de les joindre avec les autres pour en trouver la solidité tout d'un coup, on les réduira à d'autres prismes rectangulaires ou triangulaires qu'il sera toujours facile de mesurer à part. Fig. 50.

Digitized by Google

III.

Troiſiéme méthode de meſurer la Carène, en la partageant ſimplement par tranches.

On pourroit faire un uſage continuel de la Méthode précédente, ſans qu'il eſt utile dans diverſes occaſions de ne pas connoître ſeulement la ſolidité entiere de la carène, mais auſſi celle des parties que la carène plonge ſucceſſivement dans l'eau, à meſure qu'on charge le Navire. Cette conſidération oblige de chercher ſéparément la ſolidité des tranches horiſontales; ce qui rendra l'opération numerique un peu plus longue, ſans que néanmoins il ſoit néceſſaire de meſurer un plus grand nombre de dimenſions.

Fig. 51. Si ANHOA (Fig. 51.) repréſente la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt entierement chargé, & que toutes les largeurs ST, QR, &c. ayent été meſurées, comme il eſt aiſé de le faire, à des diſtances parfaitement égales les unes aux autres; il n'y aura pour avoir l'étenduë de tous les trapezes dans leſquelles cette ſurface eſt diviſée, qu'à multiplier la diſtance AB ou BC d'une largeur à l'autre, par la ſomme qu'on fera de toutes les largeurs intermédiaires QR, OP, MN, &c. & de la moitié de la premiere & de la derniere.

Supoſé que toute la longueur AH de la ſurface ſoit de 120 pieds, & qu'on ait diviſé cette longueur en 6 parties égales par les largeurs qu'on aura meſurées, & qu'on aura trouvées de 18 pieds en ST; de 23 en QR; de 28 en OP; de 30 en MN; de 30 en KL; de 21 en HI, & de zero en G. Faiſant une ſomme des largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrémes, on aura 141 qu'il n'y aura qu'à multiplier par la diſtance AB ou BC d'une largeur à l'autre, qui eſt de 20 pieds, & il viendra 2820 pieds quarrés pour l'étenduë requiſe de tous les trapezes, ou de la ſurface entiere AMGN, qui ſera exactement la

Digitized by Google

même, si l'on a été attentif à prendre un assez grand nombre de largeurs, pour que toutes les parties GH, HK, KM de son contour soient sensiblement des lignes droites. Rien n'est plus simple que cette pratique, & il est d'ailleurs facile de la justifier. Pour trouver l'étenduë particuliere de chaque trapeze, il faut multiplier la moitié des deux largeurs qui lui servent de côtés paralleles, par sa hauteur. Mais puisque tous les trapezes ont une égale hauteur, & que d'ailleurs chaque largeur sert de côté commun à deux trapezes, il est clair que pour trouver tout d'un coup la somme de leur étenduë, il faut multiplier AB ou BC, non pas par la somme des moitiés des largeurs, mais par la somme des largeurs mêmes, excepté de la premiere & de la derniere, dont il ne faut employer que la seule moitié, parce qu'elles ne servent chacune de côté qu'à un seul trapeze.

Il est clair que ce moyen de trouver l'étenduë des coupes horisontales de la carène peut s'appliquer également à toutes les surfaces planes, en mesurant plusieurs de leurs largeurs ou ordonnées à une égale distance les unes des autres. Nous pouvons même en élevant un peu nos vûës, quoique nous ne paroissions ici occupés que de Navires, ajouter que ce moyen pourra servir dans plusieurs rencontres, pour approcher sur le champ, & avec une extréme facilité de la valeur de toutes les intégrales qui ne contiennent qu'une seule variable. On n'a qu'à considérer l'intégrale générale $Sdz \times Z$, dans laquelle Z est une fonction quelconque de z, comme représentant l'aire d'une surface plane, dont z exprime les parties de l'axe ou de la longueur, pendant que la grandeur Z, quoique complexe & de plusieurs dimensions, exprime les largeurs ou les ordonnées. Après cela il n'y aura qu'à attribuer à z un assez grand nombre de diverses valeurs qui se surpassent également; chercher pour chacune la grandeur de Z, & multiplier la somme de toutes ces grandeurs, excepté de la premiere & de la derniere, dont on ne fera entrer dans la somme que la seule moitié, par la quan-

tité dont on a rendu plus grandes les unes que les autres, les diverſes valeurs qu'on a attribuées à z. Cette Méthode que nous donnons pour ce qu'elle vaut, & que nous n'avons garde de comparer à d'autres Méthodes plus ſcavantes, qui ſont entre les mains des Géométres *, n'eſt pas bornée à la ſeule intégrale $Sdz \times Z$; on peut l'appliquer avec le même ſuccès à toutes les autres, comme $SdzSdzZ$, qui ne contiennent toujours qu'une ſeule variable, ou qui en contiennent pluſieurs, dont on connoît la relation.

* Voyez les petits Traités *de methodo differentiali* de Mrs Newton & Roger Cotes, &c.

Mais pour revenir à notre ſujet, auſſi-tôt qu'on a trouvé de la même maniere, non-ſeulement l'étenduë de la plus haute coupe horiſontale de la carène, mais de toutes les autres qui paſſent par les lignes LO, KN, &c. (Fig. 50.) il ſuffira pour avoir la ſolidité de chaque tranche horiſontale compriſes entre deux coupes, de prendre la moitié de la ſomme de ces mêmes coupes, & de la multiplier par la diſtance verticale de l'une à l'autre, qui forme l'épaiſſeur de la tranche. On ſera la même choſe pour toutes les autres, & on les ajoutera enſuite ſucceſſivement en commençant par en bas, pour avoir la ſolidité des diverſes parties de la carène, qui s'enfoncent dans l'eau à meſure qu'on augmente le poids de la charge. Nous montrerons dans la ſuite que cette Méthode de trouver la ſolidité de chaque tranche, en multipliant ſon épaiſſeur par la moitié des deux coupes horiſontales entre leſquelles elle eſt compriſe, eſt auſſi exacte qu'il eſt néceſſaire dans la pratique: nous croyons même qu'elle ſera applicable à la partie la plus baſſe de la carène; parce que ſi l'erreur qu'on commet dans cette derniere meſure, eſt conſidérable, par raport au peu de grandeur de cette partie, elle devient toujours comme inſenſible, lorſqu'elle eſt répanduë ſur toute la carène. Si l'on croyoit devoir au reſte pouſſer la préciſion plus loin, on le pourroit faire par le moyen ſuivant.

Fig. 50.

Ce ſeroit de diviſer cette partie inférieure en pluſieurs troncs par des plans verticaux perpendiculaires à la quille, & également éloignés les uns des autres. Ces

Digitized by Google

plans verticaux qui ſépareroient les troncs, auroient vers le milieu du Vaiſſeau la forme MNOP (Fig. 52.) à cauſe du plat OP des varangues, & elles auroient vers la proüe & vers la poupe une forme qui approcheroit de la triangulaire. On trouveroit aiſément la ſuperficie des unes & des autres, & il n'y auroit en tout cas qu'à les partager par des lignes verticales également éloignées les unes des autres, en pluſieurs trapezes, dont on trouveroit l'étenduë tout-à-la fois, comme nous l'avons expliqué. Enfin la ſurface de tous les plans, ou de toutes les coupes verticales MNOP, étant découvertes, il ne ſeroit pas néceſſaire de s'arrêter à chercher la ſolidité particuliere de chaque tronc intercepté, puiſqu'on n'en a pas beſoin. On trouveroit leur ſolidité à tous, ou ce qui revient au même, la ſolidité de toute la tranche inférieure de la carène dont il s'agit, en faiſant une ſomme de l'étenduë de tous les plans verticaux intermédiaires MNOP, & de la moitié des deux extrémes qui ſe réduiſent preſque à rien, & en multipliant cette ſomme par la ſeule diſtance d'un plan à l'autre. Fig. 51.

IV.

De l'Echelle des ſolidités ou des peſanteurs des diverſes parties de la Carène.

Si l'on n'a diviſé la carène qu'en quatre tranches horiſontales, comme il ſuffira ordinairement de le faire, ſi ce n'eſt que pour les plus grands Vaiſſeaux, on pouſſera la diviſion plus loin, on n'aura, en ajoutant ſucceſſivement ces tranches les unes aux autres, que la ſolidité des quatres parties ICBM, KCBN, LCBO & DCBA (Fig. 50.) qui ſe plongent ſucceſſivement dans la Mer, à meſure qu'on augmente le poids du Navire. Mais il ne ſera pas difficile, en ſupoſant que les coupes horiſontales qui ſont entre deux autres qu'on a meſurées actuellement, ſont en progreſſion Arithmétique, de trouver la ſolidité de toutes les portions de la carène qu'on voudra : & on pourra Fig. 50.

Digitized by Google

Fig. 50. enſuite les marquer, ſi on le veut, dans le plan qui repréſente le Vaiſſeau coupé verticalement ſelon ſa longueur, ſur une échelle qu'on tracera vers ſon milieu en PT. Je veux dire qu'on marquera en Q, en R, en S, &c. la ſolidité des parties correſpondantes de la carène qui ſont au-deſſous, ou des parties ICBM, KCBN, &c. Au lieu de marquer ces ſolidités en pieds cubiques, on pourra le faire, pour une plus grande commodité, en tonneaux, en attribuant 28 pieds à chaque tonneau; & alors on ſçaura par la ſeule inſpection du plan, de combien doit être la peſanteur du Vaiſſeau pour qu'il plonge juſqu'à chaque point Q ou R. On confond ſouvent ici les parties ſubmergées de la carène, & les peſanteurs qu'a le Vaiſſeau dans ſes differens états; parce qu'on ſupoſe que le Lecteur ſe ſouvient toujours que les parties ſubmergées ſont les *expoſans* des diverſes peſanteurs du Navire, égales au poids du volume d'eau que chaſſe la partie ſubmergée.

Il faut remarquer qu'on ne peut pas placer cette échelle PT des peſanteurs, indiſtinctement par tout; parce que le poids du Vaiſſeau & de la charge étant le même, mais la diſtribution differente, la carène peut caler plus ou moins vers la proüe ou vers la poupe; au lieu que l'enfoncement eſt toujours ſenſiblement le même vers le milieu. En effet, la partie ſubmergée doit être de même grandeur, tant que le poids total ne change pas: ſi une des extrémités de la carène s'enfonce davantage dans la Mer, il faut néceſſairement que l'autre extrémité s'éleve en même tems; mais il eſt un point vers le milieu qui ne ſouffre aucun changement. Ce point eſt à très-peu près le centre de gravité de chaque coupe horiſontale, comme il ſeroit facile de le démontrer. Ainſi l'échelle des peſanteurs, au lieu d'être une ligne droite, doit être une ligne courbe, qui vû l'état prélent de la conſtruction, doit avancer un peu vers la poupe, à meſure qu'on la prolonge en haut. Cependant comme il ne s'en faut gueres que les centres de gravité de toutes les coupes horiſontales, ne ſoient les unes au-deſſus des autres, ſans doute qu'il ne réſultera jamais aucune erreur de la

la ſituation de l'échelle, quoique droite, & quoique placée verticalement; pourvû qu'on la faſſe paſſer à peu de diſtance du centre de gravité de toute la carène.

CHAPITRE III.

Du changement que reçoit l'enfoncement de la Carène, lorſqu'on ajoute au Navire quelque partie, ou qu'on la retranche, &c.

I.

ON verra par la ſuite les divers uſages qu'auront toutes les meſures qu'on vient de preſcrire: mais on inſiſtera dès-ici ſur les premiers qui ſe préſentent, & qui regardent les Navires déja conſtruits. On aura peut-être de la peine à croire qu'on fait tous les jours des changemens très conſidérables ſur des Vaiſſeaux, comme de retrancher un pont, ou de l'ajouter, de *ſouffler* toute la carène, c'eſt-à-dire de la renfler par de nouveaux bordages; ſans ſe mettre en peine de connoître d'avance l'effet précis qui doit en réſulter. On s'en raporte ſur cela à la pratique du Conſtructeur, qui n'en juge qu'à peu près par des changemens ſemblables qu'il a vû faire ſur d'autres Navires: pendant qu'il eſt des moyens ſurs de prononcer dans toutes ces matieres, & d'agir avec pleine connoiſſance de cauſes.

Il eſt facile, comme nous le diſons, de prononcer ſur toutes ces choſes, en les diſcutant avec un peu de ſoin. S'il s'agit, par exemple, de raſer un Vaiſſeau du premier rang, de 48 pieds de largeur, trop chargé du propre poids de ſes parties ſupérieures, on peut ſuputer la peſanteur du pont & des dunettes qu'on veut retrancher. Le calcul ne ſera ni long ni difficile; nous entreprendrons

dans le même genre une opération beaucoup plus pénible, lorſque nous chercherons la peſanteur de toutes les parties qui forment le Vaiſſeau. On ſçait la longueur des baux & leur groſſeur, celles des courbes, l'épaiſſeur & la longueur des bordages, & la quantité de fer qui entre dans le pont: il n'en faut pas davantage pour trouver la peſanteur du tout. Cette peſanteur, ſi on ſe bornoit à ne retrancher que le pont, ſeroit d'environ 420000 livres, ou 210 tonneaux; mais ce retranchement en entraîne beaucoup d'autres. Il cauſe d'abord une diminution conſidérable dans le nombre des canons; & outre cela on ne peut gueres ſe diſpenſer de faire divers retranchemens aux dunettes. Du côté de l'Artillerie le retranchement ſera de 70 ou 80 tonneaux; mais je ſupoſe que la diminution totale eſt de 350 tonneaux: c'eſt ce dont on pourra toujours s'aſſurer. Ainſi il ne reſte plus qu'à trouver combien le retranchement de ce poids, doit faire élever le Vaiſſeau, ou le faire ſortir de la Mer.

On le ſçaura d'avance, ſi on a ſuputé, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre précédent, la ſolidité de toutes les parties de la carène; & ſur-tout ſi on a entre les mains un plan exact, ſur lequel *l'Echelle des peſanteurs* ſoit tracée. Il n'y aura qu'à voir combien de pouces ou de pieds d'enfoncement répondent à 350 tonneaux, ou à 9800 pieds cubiques, produit de 350 par 28. Si on n'a point de pareil plan, il n'y aura qu'à meſurer l'étenduë de la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, & chercher combien la tranche ou le corps plat qui a cette étenduë pour baſe, doit avoir d'épaiſſeur, pour être de 9800 pieds cubiques. Supoſé que l'étenduë de la coupe horiſontale ſoit de 6900 pieds quarrés, on diviſera les 9800 pieds cubiques que doit avoir le ſolide qui ſort de l'eau par les 6900 pieds quarrés qui ſervent de baſe; & il viendra au quotient un peu moins de 1 pied 5 pouces pour la hauteur du corps plat; ce qui aprendra la quantité dont le Vaiſſeau doit s'élever de l'eau par le retranchement propoſé. Il faut remarquer qu'une élevation de 1 pied 5 pouces eſt une

Digitized by Google

quantité très-considérable, & qu'il n'en faut souvent pas tant, faisant même abstraction du changement avantageux que souffre en même tems le centre de gravité qui descend beaucoup, pour qu'un Vaisseau mal construit, qui devoit servir de triste & de perpétuel ornement dans un Port, devienne très-propre à la Navigation.

Lorsqu'on prend pour la solidité de cette tranche de la carène qui s'éleve de l'eau, le produit de l'étenduë 6900 pieds quarrés de la base, ou de la coupe faite à fleur d'eau, par son épaisseur 1 pied 5 pouces, on ne peut pas commettre d'erreur sensible. S'il est vrai que les autres coupes horisontales au-dessous sont un peu plus petites, la difference n'est jamais assez considérable pour qu'on soit tenu dans la pratique d'y avoir égard; il est toujours permis de considérer le solide dont il s'agit, comme s'il étoit cilindrique. On pourra, comme il est évident, prévoir de la même maniere l'effet que doit produire, non pas le retranchement, mais l'addition d'un nouveau pont, d'une dunette, &c.

II.

Il y aura un peu plus de peine à déterminer ce qui doit arriver lorsqu'on *souffle* le Vaisseau; & cela principalement, parce qu'il n'est pas tout-à-fait si aisé de trouver l'étenduë de la superficie convexe de la carène. Si dans l'opération *du soufflage* on s'attachoit à donner toujours à la carène une figure semblable, ou si on augmentoit toutes les dimensions proportionellement; alors presque toute la difficulté cesseroit. Les solidités de la carène dans les deux états, étant comme les cubes de quelqu'un des côtés, la difference seroit comme la difference des cubes; ainsi elle seroit toujours connuë aisément, & on sçauroit par conséquent combien la poussée verticale de l'eau auroit plus de force pour soutenir le Navire. Pour trouver cet excès presque tout d'un coup dans cette supposition, il n'y a qu'à se ressouvenir que si on augmente le côté x d'un cube x^3 d'une très-petite quantité dx, le cube se trouvera augmen-

té de $3x^2dx$, ou de trois fois le solide formé par le quarré du côté & par la petite augmentation; parce qu'on peut négliger les autres parties de l'accroissement. Mais x^3 étant à $3x^2dx$ comme x est à $3dx$, il s'ensuit qu'on peut dans le cas présent, faire cette analogie; la largeur qu'avoit d'abord la carène, est à la premiere solidité, ou à la poussée verticale de l'eau, comme le triple de la petite quantité dont on a augmenté la largeur, est à l'augmentation de la solidité, ou de la force de la poussée verticale de l'eau. Si dans le Vaisseau du premier rang dont nous avons parlé, on augmente de 6 pouces la largeur qui est de 48 pieds, & qu'on augmente la longueur & les autres dimensions à proportion, on aura cette analogie, 48 pieds sont à la force 3300 tonneaux qu'avoit d'abord la poussée de l'eau, comme $1\frac{1}{2}$ pied qui est le triple de 6 pouces, est à un peu plus de 103 tonneaux pour l'augmentation que reçoit cette force. Le Navire seroit par conséquent soulevé de cette quantité, sans qu'il faut rabatre de ces 103 tonneaux la pesanteur même du bois qu'il faut employer pour le *souffler*. Comme cette pesanteur sera au moins de 60 tonneaux, on ne gagnera tout au plus que 43 tonneaux; & puisqu'une diminution de 350 tonneaux n'a fait soulever le Navire que de 1 pied 5 pouces, celle-ci ne le fera gueres sortir de l'eau que de 2 pouces.

III.

Mais outre qu'il est difficile que les Constructeurs s'assujettissent à conserver la même figure à la carène, il est quelquefois à propos de l'altérer. C'est ce qui nous fait croire qu'il faut absolument se résoudre à mesurer l'étenduë de sa surface convexe, qu'on multipliera par l'épaisseur *du soufflage*, pour en avoir la solidité. On mesurera la surface convexe de la carène en la partageant en plusieurs zones, dont on trouvera l'étenduë séparément. Pour mesurer chaque zone, on la considérera comme un trapeze

Digitized by Google

courbe, selon le contour qu'ont les varangues ; on prendra avec une ficelle la longueur qu'ont les deux côtés du trapeze qui feront presque paralleles, & qui ne feront autre chose que le contour du Vaisseau pris dans le sens de sa largeur: la moitié de la somme sera sa longueur moyenne, & il n'y aura qu'à la multiplier par la largeur moyenne de la zone. Peut-être sera-t-il permis aussi dans cette recherche, de regarder la carène comme un corps géométrique, afin d'expédier l'opération plus aisément. On a vû qu'on ne peut pas traiter la carène comme un corps géométrique, lorsqu'il s'agit d'en trouver la solidité; mais ici le cas est different. Pour peu qu'on attribuë plus ou moins de courbure à la surface, ou à une partie de la surface qui environne un corps, on augmente ou on diminuë beaucoup la solidité ; au lieu que l'étenduë de la surface ne change gueres, ou ne change peut-être pas.

La surface convexe à laquelle on peut comparer plus naturellement celle de la carène, est celle d'un sphéroïde formé par la révolution, ou plutôt par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. La Géométrie nouvelle nous a apris que si l'on forme un quart de cercle qui ait la moitié du grand axe pour rayon, & qu'on prenne dans ce quart de cercle un segment compris entre un des rayons & un sinus parallele, égal à la moitié du petit axe du sphéroïde, il y aura même raport entre le sinus de complement qui sert de largeur au segment, & la circonference du cercle qui a pour rayon la moitié du petit axe, qu'entre l'étenduë du segment du quart de cercle, & la surface du demi-sphéroïde. Cette seule analogie exige une assez longue opération ; parce qu'il faut, entr'autres choses, connoître l'étenduë du segment du quart de cercle ; & il seroit à propos d'épargner cette peine aux Constructeurs, ou aux personnes attachées à l'Architecture Navale. On ne peut, ce semble, rien faire de mieux que d'entreprendre le calcul d'avance pour un certain Vaisseau ; parce qu'il n'y aura plus ensuite qu'une simple proportion à

faire pour tous les autres. Si on exprime par 325 le grand axe ou la longueur de la carène, & par 100 le petit axe ou la largeur, conformément au raport qui s'obſerve le plus ordinairement, on trouvera 41641 pour la ſurface du demi-ſphéroïde ou de la carène. Il eſt vrai que le raport de 325 à 100 n'aura pas lieu dans tous les Vaiſſeaux; mais on ſauvera la plus grande partie de l'erreur qui peut naître de la difference, en comparant la ſurface 41641, non pas avec le quarré de la longueur ou de la largeur; car on ſe tromperoit extrémement toutes les fois que le ſphéroïde n'auroit pas une figure ſemblable; mais avec le rectangle 32500 des deux dimenſions l'une par l'autre. Ce leger détour ſera cauſe que lorſque les Navires auront plus ou moins de largeur par raport à leur longueur, le rectangle de ces deux dimenſions ſera plus ou moins grand; & on trouvera auſſi pour la ſuperficie de la carène des étendues differentes.

La ſurface 41641 du demi-Sphéroïde eſt au rectangle 32500 de ſes deux axes comme 128 eſt à 100. Ainſi pour appliquer cette méthode à un Navire propoſé, il n'y aura qu'à faire cette ſeule analogie; 100 eſt à 128 comme le rectangle de la longueur par la largeur, eſt à l'étenduë requiſe de la ſuperficie convexe de la carène. Il y aura encore cette précaution à obſerver, lorſque la profondeur de la carène ne ſera pas la moitié de la plus grande largeur. On prendra la moitié de cette largeur qu'on ajoutera à la profondeur, & ce ſera cette ſomme qui ſera pour ainſi dire la largeur moyenne, qu'on multiplira par la longueur, pour avoir le rectangle, dont le raport avec la ſuperficie convexe de la carène, eſt exprimé par 100 & 128.

La ſurface de la carène étant trouvée, il n'y aura plus qu'à la multiplier par l'épaiſſeur qu'on ſe propoſe de donner au *ſoufflage*; & on ſçaura combien le Navire doit déplacer d'eau davantage, & de combien par conſéquent la pouſſée verticale de la Mer ſera plus forte. Si le ſoufflage n'eſt pas par tout également épais, on prendra ſon épaiſſeur moyenne. Enfin pour découvrir l'avantage réel,

Digitized by Google

ou ce qu'il y a effectivement à gagner, il faudra, ainsi qu'on en a déja averti, retrancher la pesanteur même du bois ajouté. Comme cette pesanteur est très-considérable, elle diminuë beaucoup de l'effet du soufflage, au moins de ce premier effet dont il s'agit maintenant. C'est ce qui oblige quelquefois de ne pas apliquer les nouveaux bordages sur les anciens, mais de les appuyer sur des tringles courbes; & c'est ce qu'on appelle *souffler sur taquets.*

Si, pour ne pas changer d'exemple, nous supposons qu'on grossisse ou qu'on enfle d'un pied chaque endroit de la carène du Vaisseau du premier rang de 48 pieds de largeur, on trouvera par l'analogie déja expliquée, que la surface de la carène sera d'environ 9592 pieds quarrés, lesquels étant multipliés par un pied, donnent 9592 pieds cubiques pour l'espace que la carène occupera de plus dans la Mer; & la poussée verticale de l'eau sera donc plus grande d'environ 342 tonneaux. Je crois que le bois nécessaire pour ce soufflage, pesera au moins 170 tonneaux; car en ne donnant aux nouveaux bordages que 3 pouces d'épaisseur, il en faudra 2398 pieds cubiques, qui peseront 47 ou 48 tonneaux, s'ils ne sont que de sapin : mais les taquets, ou les especes de membres qu'il faudra mettre au-dessous, & qui auront 9 pouces d'épaisseur, peseront au moins trois fois plus, sans compter encore le poids de tout le fer qu'il faudra employer. On s'en raporte sur cela aux Constructeurs, comme sur toutes les autres choses qui sont absolument de leur ressort. Quoiqu'il en soit, le soufflage excessif d'un pied ne soulagera tout au plus le vaisseau que de 170 tonneaux. Le Navire poussé en haut avec cette force, s'élevera ensuite d'une quantité plus ou moins grande, qui dépendra de l'étenduë de la coupe horisontale de la carène, faite à fleur d'eau : plus cette étenduë sera grande, moins il sera nécessaire, comme il est évident, que le Navire s'éleve. On a déja vû ci-devant qu'une diminution de 350 tonneaux dans le poids, faisoit que le Vaisseau sortoit de l'eau d'environ 1 pied 5 pouces; ainsi les 170 tonneaux dont le Navire est actuellement

pouſſé en haut avec plus de force, le feroient ſeulement élever d'un peu plus de 8 pouces. On doit faire attention que ſi nous avons ſupoſé pour la facilité des calculs, que la peſanteur particuliere de la charge ou de leſt, étoit toujours la même, rien ne nous ôte la liberté de la changer. On a gagné 8 pouces par le renflement de la carène; c'eſt une reſſource dont on peut enſuite diſpoſer, & avec laquelle on viendra ſouvent à bout de ſatisfaire à d'autres vûës, que ce n'eſt pas encore ici le lieu d'expliquer.

IV.

Il ne nous reſte plus qu'à terminer ces détails de pratique par une remarque qui y tient trop naturellement, pour differer d'en parler. On penſe ordinairement que le *ſouffiage* rend les Vaiſſeaux trop peſants, & les empêche de marcher; ils ſont enſuite chargés, dit-on, d'une quantité prodigieuſe de bois & de fer, qui ne doit prendre du mouvement qu'avec difficulté. Il eſt vrai qu'en groſſiſſant la proüe, on augmente ordinairement la réſiſtance qu'elle trouve à fendre l'eau, & qu'on peut ralentir la viteſſe du ſillage, ſi on n'a pas le ſoin d'élargir un peu les voiles en même tems. Mais à l'égard de la plus grande peſanteur, on peut aſſurer qu'elle ne fait rien à la marche, & qu'elle n'y apporteroit pas la moindre difference, quand même on l'augmenteroit encore deux ou trois fois plus: on ſeroit ſeulement obligé de mettre enſuite moins de charge ou de leſt dans la cale. Si l'on ſe bornoit à dire que c'eſt un déſavantage pour un Navire de tranſport, que d'être déja chargé du poids de ſes propres matériaux, nous ne pourrions pas nous empêcher d'en convenir. Mais qu'importe-t-il dans un Vaiſſeau de Guerre, ou dans une Frégate faite exprès pour la courſe, que la peſanteur particuliere de ſa carène, ou que le poids étranger du leſt qu'on ne met que pour y ſupléer, faſſe une plus grande ou une moindre partie du poids total, qui eſt toujours le même? Nous ſommes donc bien éloignés d'aprouver l'uſage où l'on eſt, d'épargner extrémement le bois dans la carène des Corvettes

vettes & des Frégates, auſquelles on veut donner l'avantage de bien ſingler. Sous prétexte de les rendre plus legeres, & de leur conſerver peut-être leur nom*, on donne très-peu d'épaiſſeur à leurs bordages; & en même tems qu'on diminuë de la groſſeur de leurs membres, on en diminuë le nombre: tout cela produit une foibleſſe dans l'aſſemblage du tout, qui ne peut pas manquer de devenir ſouvent funeſte. Il faut remarquer au ſurplus que ce qu'on dit ici, ne regarde que la partie qui entre dans l'eau: les raiſons précédentes ne vont qu'à cela; & à l'égard des parties ſupérieures, il faut toujours en diminuer le poids le plus qu'on peut.

* Frégates legeres.

CHAPITRE IV.

Du Jaugeage des Vaiſſeaux, & premierement de celui qui ſe fait en tonneaux d'Arrimage ou de volume.

I.

NOUS avons comme réſolu d'avance la queſtion du du jaugeage qui eſt très-importante pour le Commerce, & qui appartient auſſi à notre ſujet. On a répandu ſur cette matiere une ſi grande obſcurité, que ſi on excepte le petit nombre de Géométres qui ſe ſont trouvés du tems en tems dans la Marine, on peut aſſurer que perſonne n'y a attaché d'idée diſtincte. On demande tous les jours de combien eſt *le port* d'un Vaiſſeau, ou de combien de tonneaux il eſt; les Marins & les Négocians font continuellement cette queſtion, pendant que les Conſtructeurs & les Jaugeurs s'empreſſent d'employer divers moyens pour la réſoudre: Mais il reſte preſque toujours à ſçavoir, auſſi-bien aux uns qu'aux autres, ſi le tonneau dont ils ſe ſervent pour exprimer la grandeur du Navire, eſt un poids ou une meſure ſimplement étenduë: car preſque

tous dans cette rencontre, confondent l'eſpace & la peſanteur, quoique de natures ſi differentes. On connoit en effet deux ſortes de tonneaux : Le premier, dont on a déja parlé, n'eſt autre choſe que le poids de deux mille livres, & le ſecond, qu'on nomme tonneau *d'Arrimage*, pour le diſtinguer, eſt l'eſpace qu'occupent quatre bariques, ordinairement de celles dont on ſe ſert à Bordeaux, pour mettre le vin. Quelques Navires peuvent porter autant de tonneaux *de poids* ou *de port*, c'eſt-à-dire de fois 2000 liv. qu'ils peuvent contenir dans leur cale de tonneaux *d'Arrimage*, ou contenir de fois l'eſpace de quatre bariques; d'autres, & particulierement les plus petits, portent plus de tonneaux de poids, qu'ils ne peuvent contenir de tonneaux d'arrimage: au lieu que c'eſt tout le contraire dans les grands Bâtimens, & principalement dans les Vaiſſeaux proprement dits. Cependant on ſe ſert preſque toujours des mêmes méthodes pour jauger les uns & les autres; & cela le plus ſouvent, comme on vient de le dire, ſans ſçavoir de quelle eſpece de tonneaux il s'agit.

Il ne convenoit pas à la dignité de l'Ordonnance de la Marine de 1681, qu'elle deſcendît dans un plus grand détail ſur ce ſujet. Elle s'eſt contentée d'aſſigner 42 pieds cubiques au tonneau; ce que pluſieurs perſonnes ont regardé comme un argument inconteſtable, qu'il s'agiſſoit donc principalement dans ce Problême de tonneaux d'arimage, ou qui ne ſont qu'étendus; de ſorte qu'on a prétendus que l'opération du jaugeage n'étoit qu'une pratique de pure Géométrie, ſans nulle raport à l'Hydroſtatique, ni au poids de la charge. C'étoit au Commentateur à lever la difficulté, & à diſſiper le doute; s'il n'eût pas été auſſi peu initié qu'il l'étoit, dans les matieres exactes telles que la Géométrie. L'Ordonnance veut que tout jaugeage dans lequel on ne ſe trompe que d'une quarantiéme partie, ſoit réputé bon; c'eſt-à-dire qu'une erreur d'un tonneau ſur quarante, ou de deux ſur 80, ou de $2\frac{1}{2}$ ſur 100, doit être tolerée. Rien n'eſt plus ſage que cette diſpoſition, pour arrêter le cours à une infinité de

Digitized by Google

disputes ; & pour obliger en même tems les Jaugeurs à apporter dans leur opération une assez grande précision. Ces vûës ont échapé au Commentateur qui prétend, ce qu'on auroit de la peine à croire, que l'intention de la Loy est de permettre aux Jaugeurs les mépriſes mêmes, qui seroient, non pas de $2\frac{1}{2}$ tonneaux, mais de 40 sur 100. Erreur monstrueuse, dans laquelle il n'est pas même possible de tomber, lorsqu'on a quelque usage de la Marine, & qu'on juge de la grandeur d'un Navire par la seule estime ! Tout ce qu'on peut donc faire de mieux dans la circonstance présente, est de discuter la question dans les deux divers sens dont elle est susceptible ; de la résoudre en prenant le tonneau, soit pour une mesure étenduë, soit pour une mesure pesante. Cependant on s'attachera principalement aux moyens de trouver les Tonneaux *de poids* ou *de port*, parce qu'il n'est pas douteux que ce ne soient ceux qu'on doit le plus authoriser dans l'usage ordinaire. Outre que ce n'est pas par leur étenduë, mais par leur poids que les marchandises chargent un Vaisseau en le faisant caler, il est certain qu'on en connoît bien mieux la quantité par la pesanteur que par le volume, qui ne peut presque jamais être mesuré que grossiérement ; à cause des vuides qui se trouvent toujours, malgré la perfection de *l'arrimage*, & auſquels on ne peut pas avoir égard.

II.

Trouver la grandeur des Vaisseaux en tonneaux d'Arrimage.

Aussi-tôt qu'on prend le tonneau pour une mesure étenduë, la question du jaugeage ne se réduit qu'à la mesure de la capacité intérieure de la cale, qui est destinée à recevoir la charge. Cette mesure ne sera pas plus difficile que celle de la carène qu'on a déja expliquée. On divisera la cale en plusieurs prismes par des plans horisontaux & verticaux ; ou bien on se contentera, si on le veut, de la partager en plusieurs tranches par les seuls plans horisontaux. On trouvera l'aire ou l'étenduë de ces plans en

mesurant leur largeur en plusieurs endroits à une égale distance les uns des autres; & aussi-tôt qu'on aura trouvé l'étenduë de tous ces plans, il n'y aura plus, comme on l'a vû ci-devant, qu'à les ajouter deux à deux, & multiplier la moitié de leur somme par leur distance verticale, pour avoir la solidité de la tranche qu'ils interceptent; & enfin la somme de toutes les tranches donnera la capacité requise. C'est naturellement par dans le Navire qu'on doit exécuter cette espece de jaugeage; puisqu'il s'agit de connoître un espace intérieur. On peut néanmoins l'exécuter aussi par dehors en cas de besoin, en retranchant l'épaisseur toujours assez connuë des membres & des bordages qui forment les flancs de la carène.

Les Jaugeurs, au lieu de partager la cale en un très-grand nombre de parties, se contentent pour l'ordinaire de prendre un assez petit nombre de dimensions. Ceux qui en prennent le plus, mesurent en pieds & en pouces la profondeur de la cale en trois endroits, au milieu & aux deux extrémités; sçavoir au pied du mât de mizaine, & à huit ou neuf pieds de distance de l'érambot, & faisant une somme de ces trois profondeurs, ils en prennent le tiers, ce qui leur donne une profondeur moyenne ou *réduite*. Les largeurs, ils les mesurent aussi dans les mêmes endroits; mais en chaque endroit ils en prennent trois, l'une en haut au-dessous des baux, où elle est la plus grande; l'autre au milieu, & la troisiéme tout-à-fait en bas, proche la carlingue. Par le moyen de ces trois largeurs mesurées au milieu & aux deux extrémités du Navire, ils trouvent trois largeurs *réduites*, qu'ils réduisent ensuite en une seule, en les ajoutant ensemble, & en prenant le tiers, ce qu'ils peuvent faire aussi en joignant ensemble les neuf premieres largeurs, & en prenant la neuviéme partie du tout. Enfin ils multiplient, comme il est clair qu'ils le doivent faire, la derniere largeur réduite par la profondeur aussi réduite, & le produit par toute la longueur de la cale, ce qui leur donne à peu près la capacité qu'ils cherchoient

Il ne leur reſte plus après cela qu'à convenir de la juſte étenduë du tonneau, pour pouvoir réduire la capacité qu'on ne connoît qu'en pieds cubiques. Supoſé que cette capacité ſoit de 10000 pieds, & que le tonneau ſoit déterminé à 42, comme on le prétend ordinairement, le Navire ſera de 288 tonneaux: Mais comme il ne paroît pas que l'Ordonnance ait eu en vûë de rien ſtatuer ſur le jaugeage intérieur, on ne doit donner aucune préférence à cette détermination. Ce qui nous le perſuade, c'eſt non-ſeulement que l'eſpace qu'occupent 4 bariques, & qu'on a toujours pris pour le tonneau d'Arrimage, eſt conſidérablement plus grand que 42 pieds, ce qui étoit trop facile à reconnoître, pour que les Experts conſultés puſſent s'y tromper; c'eſt encore le témoignage de tous ceux qui ont écrit avant ou depuis l'Ordonnance ſur les matieres qui ont raport à ce ſujet. Tous ne parlent que du tonneau de poids, ou ſont entendre qu'il ne s'agit que de celui-là*: de ſorte que l'autre, s'il eſt permis de parler de la ſorte, n'eſt connu que par une eſpéce de tradition orale. Dans le petit Dictonnaire même qui eſt à la fin de l'Ordonnance, & qui n'eſt pas ſans doute de la main du Commentateur, on ne prend le tonneau que pour un poids: on montrera d'ailleurs le raport ſecret que peut avoir le volume de 42 pieds cubiques avec la peſanteur de 2000 livres. Mais que prendre donc pour le volume précis du tonneau d'Arrimage? Il faut avoüer qu'il ſe trouve une aſſez grande difficulté à lui aſſigner une juſte étenduë. Car outre que les bariques ſont de différentes grandeurs dans toutes nos Provinces Maritimes, les mêmes bariques occupent plus ou moins de place ſelon la diverſe forme des Navires, & ſelon auſſi la commenſurabilité ou l'incommenſurabilité qui ſe trouve, entre leurs dimenſions & celles de la cale. Tout cela fait que les vuides ſe trouvent différemment diſtribués, & plus ou moins grands; de ſorte qu'il s'en faut aſſez que le nombre des bariques ou des tonneaux qui entrent dans deux différents eſpaces, ſoit proportionel à l'étenduë de ces eſpaces. Quelquefois quatre

* Voyez le P. Fournier Livre XVII. de ſon Hydrographie. Daſſié Architec. Navale. Aubin Dictionnaire de la Marine. Moitret de Blainvile, Traité du Jaugeage. Savari Dictionnaire du Commerce. Robbe Traité de Navigation. Deſroches Dictionnaire de la Marine, &c.

bariques n'occupent que 46 ou 47 pieds, & quelques autres fois 48 ou 50 & même 51. Or si l'on joint à la différence que cela doit apporter, les erreurs, je ne dis pas que commettent les Jaugeurs par leur méthode grossiere de mesurer la cale, mais les erreurs mêmes qui sont inévitables, on conviendra qu'il est moralement impossible de perfectionner assez cette espece de jaugeage, pour que l'erreur totale qu'on doit craindre, soit renfermée dans les limites étroites, établies par l'Ordonnance.

Puisque le tonneau d'Arrimage n'est pas assez déterminé par lui-même, & ne peut pas même l'être, il n'y a qu'une autorité supérieure, celle du Législateur, qui puisse, en mépriſant les inconvéniens particuliers, le fixer à une certaine étenduë. Mais si l'on veut toujours lui conserver quelque raport avec l'espace qu'occupent quatre bariques, afin de ne pas renverser toutes les idées que les Marins se sont faites sur ce sujet, il ne faut pas se contenter de le faire de 42 pieds, il faut le faire au moins de 48 ou de 49. C'est cet espace que rempliſſent ordinairement quatre bariques dans les Bâtimens de transport, qui sont les plus commodes pour l'arrimage. La barique de vin de Bordeaux a 2 pieds 1 pouce de diamétre, & 2 pieds $9\frac{1}{2}$ pouces de longueur. Or 50 de ces bariques distribuées en 5 rangs l'un sur l'autre, occupent, en y comprenant les vuides, un espace de presque 606 pieds cubiques, ce qui donne au tonneau d'arrimage environ $48\frac{1}{2}$ pieds. Cette détermination n'est bonne que pour le milieu du Navire; & cela encore, lorsque la largeur & la profondeur contiennent un certain nombre de fois le diamétre de la barique; car il arrive souvent que des Bâtimens médiocres eussent portés deux cens bariques de plus, s'ils eussent eu leur profondeur seulement plus grande de deux ou trois pouces. Vers la proüe & vers la poupe, l'arrangement sera encore plus difficile; on y perdra par conséquent beaucoup plus par les vuides: & on doit même toujours se souvenir qu'il est comme impossible de rien mettre en avant du pied du mât de misaine, de même que dans un espace irrégulier vers la poupe, qui

Digitized by Google

ſe termine à l'étambot, & qui peut avoir 7 ou 8 pieds de long dans les Navires médiocres.

Mais après avoir tout conſidéré, on ne croit pas qu'il réſultât aucun avantage d'une nouvelle détermination du tonneau. Si le Vaiſſeau doit être chargé de choſes très-peſantes, comme de marbre, de fer, &c. ſa charge n'occupera qu'une très-petite partie de ſa cale; de ſorte qu'il ne ſervira de rien d'en connoître alors la capacité totale. Ce n'eſt pas dans ce ſeul cas que le jaugeage intérieur devient inutile; c'eſt même dans le cas tout oppoſé, quoique plus ordinaire. Toutes les fois qu'on ſe propoſe de charger le Navire de marchandiſes legeres, comme de vin, d'eau-de-vie, d'huiles, &c. il faut néceſſairement mettre au-deſſous une certaine quantité de *leſt*, c'eſt-à-dire un certain poids qui n'eſt pas réputé charge, & qui ne ſert qu'à donner au Navire la force de ſe ſoutenir, à cauſe de la figure qu'on donne à ſa carène. Or l'eſpace qu'occupe ce *leſt*, & qui eſt plus ou moins grand, ſelon la matiere dont il eſt formé, & auſſi ſelon la peſanteur ſpécifique des marchandiſes, eſt à retrancher de l'eſpace qu'on employe utilement. Ainſi on voit que l'expreſſion de la grandeur du vaiſſeau en tonneaux d'arrimage, n'eſt non-ſeulement jamais bien exacte, mais qu'elle ne peut donner auſſi qu'une notion peu diſtincte de la quantité actuelle de la charge.

III.

Maniere de régler le droit d'Ancrage, & les autres droits de même eſpece.

Le ſeul cas où il paroît qu'on puiſſe employer cette eſpéce de jaugeage, & encore avec quelque modification; c'eſt lorſqu'il s'agit de régler le droit d'ancrage, & tous les autres droits que payent les Navires pour la réparation & l'entretien des baſſins dans leſquels ils entrent; parce que ces droits ne dépendent ni de la quantité ni de la nature des marchandiſes, & qu'ils ſont les mêmes, lorſque le Navire eſt vuide, que lorſqu'il eſt chargé. Alors il n'eſt

Digitized by Google

certainement queſtion que de l'eſpace que le Bâtiment occupe dans le Port, ou qu'il y embarraſſe; & comme la capacité intérieure de la cale eſt à peu près égale à la ſolidité de la carène, on pourroit prendre l'une pour l'autre. Cependant je crois qu'on peut rendre la choſe encore beaucoup plus ſimple, & moins ſujette à toute conteſtation, en conſidérant que c'eſt principalement par en haut que le Navire occupe de la place dans le Port; & que l'embarras qu'il cauſe, eſt préciſément le même, ſoit qu'il ſoit conſtruit à plates varangues, ou qu'il ait les plus grandes façons. Ainſi ſans entrer dans le détail de la figure de ſa carène, ni ſans examiner ſi elle eſt grande ou petite à proportion du reſte, il ſuffiroit de conſidérer le parallelipipede rectangle circonſcrit au Vaiſſeau, & de régler le droit ſur ce ſolide. Il eſt néceſſaire d'avoir égard à la profondeur de la carène; car ſelon que le Navire eſt plus ou moins creux, on lui aſſigne diverſes places dans le Baſſin ou dans le Port; & c'eſt pour cela qu'au lieu de prendre le rectangle circonſcrit à la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, il faut abſolument prendre le parallelipipede même.

Une ſeule choſe ſeroit à obſerver; c'eſt que comme le parallelipipede circonſcrit, & qui eſt cenſé occupé par le Navire, eſt beaucoup plus grand que la capacité intérieure de la cale, il faudroit, afin que le droit fut toujours le même, (puiſqu'il n'eſt pas queſtion d'en faire acquerir un nouveau à ceux qui l'ont déja,) le réduire & le rendre moindre à proportion ſur chaque pied cubique. Si le droit d'ancrage eſt, par exemple de 5 ſols par tonneau, un Navire de 250 tonneaux, doit payer 62 livres 10 ſols; & ſi l'on cherche la ſolidité du parallelipipede rectangle circonſcrit à un pareil Navire, & qu'on prenne le milieu de ce qui réſulte des différentes fabriques ou conſtructions, on trouvera qu'elle eſt d'environ 20000 pieds cubiques. Or il ne reſte plus qu'à repartir les 62 livres 10 ſols à cette ſolidité, & on aprendra que chaque eſpace de 320 pieds cubiques doit payer une livre ou 20 ſols.

S'il

S'il eſt queſtion après cela de déterminer le droit pour tout autre Navire, pour un, par exemple, qui ait 122 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, 34 pieds de plus grande largeur, & 17 de creux; le parallelipipede circonſcrit ſera de 70516 pieds cubiques, produit de 122 par 34 & 17. On pourroit même par une plus grande ſimplicité, ſe faire une loi de ſupoſer toujours que le creux eſt la moitié de la plus grande largeur ſans ſe donner la peine de le meſurer. Enfin, diviſant la ſolidité 70516 par le nombre conſtant 320, il viendra au quotient 220 livres & un peu plus de 7 ſols pour le droit d'ancrage requis. Ce qu'on vient de faire ici pour certains ports, ſe peut exécuter avec la même facilité pour tous les autres; & on pourroit aiſément former auſſi des tariſs pour tous les Navires. Si le droit eſt fixé à 1 ſ. par tonneau, au lieu de diviſer le ſolide des trois dimenſions par 320, il faudra diviſer par 1600. Si le droit eſt de 2 ſ. il faudra diviſer par 800. S'il eſt de 3 ſ. on diviſera par $533\frac{1}{3}$, & s'il eſt de 4, on diviſera par 400. Cette maniere de déterminer les droits dont il s'agit, auroit cela de particulier, outre ſes autres avantages; que comme il ne ſeroit pas poſſible de la confondre avec les vrayes méthodes de jauger, elle ne cauſeroit jamais d'équivoque. On juge aſſez que ce n'eſt qu'avec quelque ſorte de repugnance, que le Mathématicien ſe livre à des diſcuſſions telles que celle-ci, où il s'agit d'intérêts très-legers, en comparaiſon de l'objet important qui nous occupe dans ce Traité. Mais nous ne ſçaurions trop nous laiſſer entraîner par le motif de rendre nos ſciences utiles: nous croyons d'ailleurs avoir ôté la racine à une infinité de conteſtations, en donnant le moyen de regler avec équité des choſes qui n'avoient été décidées que par l'eſtime trompeuſe des Experts, ou que ſur des régles très-peu fidéles.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Du Jaugeage des Vaiſſeaux en tonneaux de poids.

I.

ON ne deſcendra pas dans le détail de tous les moyens qu'ont imaginé les Conſtructeurs & les Jaugeurs pour trouver le port des Vaiſſeaux en tonneaux de poids ou de 2000 livres. Peu aidés de la Géométrie, & encore moins inſtruits des principes d'Hydroſtatique, ils ont été bien éloignés de ſoupçonner que la peſanteur de la charge étoit exprimée par la ſeule partie de la carène qui fait la différence du plus grand & du moindre enfoncement, lorſque le Navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide. Au lieu de cela ils ſe ſont fait des méthodes particulieres, en prenant pour *expoſant* de la charge, des parties qui n'y avoient aucun raport; j'ai vû de ces Conſtructeurs, & même de ceux qui s'étoient fait quelque réputation, qui tiroient au-dedans du Navire deux eſpeces de diagonales, l'une du haut de l'érambot au bas de l'étrave, & l'autre du haut de l'étrave au bas de l'étambot, & qui meſurant enſuite en pieds & en pouces combien le point d'interſection de ces deux diagonales étoit élevé au-deſſus de la quille, attribuoient un certain nombre de tonneaux à chaque pouce d'élevation. Ces Conſtructeurs auſſi peu Géométres que ces Peuples de Grece dont nous parle Plutarque, qui doubloient ſi mal l'Autel d'Apollon, euſſent pû ſe faire une méthode également bonne, en ſe réglant ſur toute autre partie qu'ils euſſent voulu du Vaiſſeau, comme ſur la Statuë, par exemple, qu'on place à l'extrémité de la prouë pour ſervir d'ornement. Mais pour trouver leur compte par un moyen ſi extraordinaire, il ne ſuffiſoit pas qu'ils employaſſent toujours ſcrupuleuſement les mêmes gabaris dans leur conſtruction, il falloit encore qu'ils n'euſſent jamais

Digitized by Google

conſtruits que des Navires à peu près de même grandeur: ſans cela ils n'euſſent pas pû ſe diſpenſer d'apprendre à la fin, que la ſolidité des corps ſemblables ne ſuit pas le raport ſimple de quelqu'un de leur côté, mais un raport très-différent.

Il ne faut pas tout-à-fait confondre avec ces Méthodes formées contre toutes les régles, celle qui eſt autoriſée par un eſpece de Réglement, & qui ſe trouve depuis longtems entre les mains des Jaugeurs un peu plus inſtruits, quoiqu'elle ſoit encore très-défectueuſe. Cette Méthode connuë ſous le nom de *Méthode de Roüen*, ne différe pas du jaugeage intérieur dont on a déja parlé; puiſqu'après avoir trouvé la capacité de la cale en pieds cubiques, on ne fait autre choſe que la diviſer par 42, conformément à l'Ordonnance. Il eſt certain que cette pratique eſt encore très-défectueuſe; puiſqu'elle employe, pour déterminer la peſanteur particuliere de la charge, une ſolidité qui n'y a aucun raport, la capacité entiere de la cale, qui étant à peu près égale à la carène, ou à toute la partie ſubmergée, n'eſt propre qu'à donner la peſanteur totale du Vaiſſeau. S'il étoit queſtion de déterminer cette derniere peſanteur, il faudroit, comme on l'a vû, diviſer toute la ſolidité par 28: de même que la Méthode exacte & Géométrique de trouver la peſanteur particuliere de la charge, eſt de diviſer par ce même nombre la partie du haut de la carène, qui ſe plonge par le ſeul poids des marchandiſes. Mais auſſi-tôt qu'on veut mal-à-propos déduire le port du Vaiſſeau, ou la ſeule peſanteur de ſa charge, de la ſolidité entiere de la carène, ou de la capacité de la cale qui lui eſt à peu près égale, & qui ſont l'une & l'autre beaucoup trop grandes, il faut indiſpenſablement diviſer par un nombre auſſi trop grand. Il faut que ce nombre ſoit plus grand dans le même raport, que toute la carène ſurpaſſe cette partie qui fait la différence des deux enfoncemens; ou en même raport que la peſanteur totale du Vaiſſeau eſt plus grande que celle de ſa charge.

C'eſt de cette ſorte qu'on s'eſt trouvé dans la néceſſité

de diviſer tantôt par 40 ou 42, tantôt par 56, & quelquefois par 60 ou 80; quoiqu'il ſoit certain que le tonneau de 2000 livres, n'a jamais beſoin pour ſe ſoutenir, que d'un enfoncement dans la Mer de 28 pieds cubiques. Le Pere Fournier raporte dans ſon Hydrographie, qu'on prenoit de ſon tems 56 pour diviſeur; & ſi l'on en croit le Pere Toſca, on ſuivoit encore il y a peu d'années en Eſpagne, une opération qui revenoit à la même choſe que ſi l'on eût diviſé par ce nombre, juſqu'à ce qu'un nouveau Réglement qui vaut encore moins, a preſcrit de diviſer le ſolide des trois dimenſions, la plus grande largeur, la profondeur & la longueur moyenne * du Vaiſſeau par 128; ce qui doit donner à peu près la même choſe que ſi l'on diviſoit la ſolidité ſeule de la carène par 60 ou 64. On a donc commencé par ſe tromper, en voulant exprimer le poids des marchandiſes par toute la carène, ou toute la capacité de la cale qui, au lieu d'être *l'expoſant* de la charge, l'eſt plutôt de la peſanteur totale du Navire tout compris; & il a fallu enſuite, pour réparer cette premiere faute, en commettre une ſeconde, en attribuant au tonneau un déplacement trop grand dans le même raport. Lorſqu'il s'eſt trouvé que la charge n'étoit que la moitié de la peſanteur totale, au lieu de diviſer la ſolidité de la carène par 28, on l'a fait par 56; ce qui a donné un quotient deux fois moindre. On a diviſé par 84, lorſque la peſanteur de la charge n'étoit que le tiers de la peſanteur totale. Enfin, l'Ordonnance de 1681 a voulu qu'on prît toujours 42 pour diviſeur, ſur l'avis des Experts, qui avoient examiné principalement des Navires de tranſport, dans leſquels la peſanteur de la charge étoit à peu près les deux tiers de la peſanteur totale; pendant que leur peſanteur particuliere formoit l'autre tiers.

* La longueur moyenne dont il s'agit, tient le milieu entre toute la longueur du Vaiſſeau, & la longueur de ſa quille.

II.

Mais s'il eſt quelquefois vrai que la peſanteur particuliere du Navire ſoit effectivement le tiers de la peſanteur qu'il a avec ſa charge, il eſt certain qu'on ne peut pas en

Digitized by Google

faire une régle générale. Il s'en faut d'abord extrémement que cette régle ſoit applicable aux Vaiſſeaux de Guerre; parce qu'ils ſont déja comme chargés par le poids de leur artillerie & de leurs munitions; ce qui oblige de leur donner enſuite beaucoup moins de charge à proportion, & peut-être la moitié moins : de ſorte qu'au lieu de diviſer par 42, il faudroit le faire par 60 ou 80, & peut-être par 100. Dans les Navires mêmes Marchands, il ſe trouve tous les jours qu'à cauſe de leur fabrique plus ou moins peſante, & de la diverſité de leurs apparaux, l'un peſe un tiers ou un quart plus que l'autre, quoiqu'ils ſoient deſtinés à avoir une égale peſanteur totale, parce que leur carène ou la partie qu'ils doivent plonger dans la Mer, eſt exactement de même ſolidité. Il arrive encore à peu près la même choſe aux mêmes Navires conſidérés en différens états : car on fait quelquefois de très-grands changemens dans leurs hauts, ou dans ce qu'on apelle leurs *œuvres mortes :* On leur ajoute un pont, ou on le retranche; on donne du canon à un Navire qui n'en avoit pas. Or tous ces changemens qui ne doivent aporter aucune altération au poids total du Navire, puiſque la carène eſt toujours la même, doivent ſe manifeſter enſuite ſur la peſanteur de la charge qui doit être plus ou moins grande, préciſément de la même quantité. Malheureuſement la méthode ordinaire de jauger eſt trop infléxible, pour entrer dans ces ſortes de conſidérations, & elle ſera toujours incapable de ſentir toutes ces différences. Enfin, pour le dire encore une fois, lorſqu'on meſure la ſolidité entiere de la carène, & qu'on ſe borne à cette ſeule meſure, on eſt bien en état de découvrir la peſanteur totale du Vaiſſeau qui lui eſt proportionelle; mais il n'eſt jamais poſſible d'en déduire la peſanteur particuliere de la charge, puiſqu'on ne ſçait pas le raport qu'elle a avec l'autre, & que ce raport eſt très-variable.

On n'avance rien ici qui ne ſe trouve parfaitement conforme à l'expérience. Les Gabares dont on ſe ſert au Croiſic pour tranſporter les ſels d'un endroit du Port à

l'autre, n'ont point de pont, & n'ont qu'un ſeul mât qu'on arbore, ou qu'on abaiſſe ſelon les occaſions : je meſurai avec ſoin la capacité de la cale d'une de ces gabares nommée la *Mariane*, que je trouvai de 615 pieds cubiques, & diviſant cette ſolidité par 42, il me vint 14 $\frac{27}{42}$ tonneaux par ſon port. Cependant il eſt bien certain qu'elle pouvoit porter davantage : c'eſt ce que je ſçu non-ſeulement par la meſure exacte de la partie qui enfonçoit dans l'eau par la peſanteur de la charge; mais auſſi par la quantité de ſel que cette gabare portoit effectivement. Pour obtenir plus exactement la ſolidité de la partie qui ſe plongeoit par le poids de la charge; je meſurai ſa largeur en 47 endroits, & je trouvai que cette ſolidité étoit de 500 pieds cubiques 981 pouces, ce qui donne pour la véritable peſanteur de la charge 36040 liv. ou 18 tonneaux 40 liv. Ainſi la méthode ordinaire de jauger rendoit le port trop petit d'environ une cinquiéme partie du tout.

Une Flute Hollandoiſe nommée *le Cordonnier*, qui ſe trouva au Croiſic dans le même tems, avoit preſque toutes ſes largeurs égales, & la moyenne étoit de 19 pieds 0 pouce 9 lignes : ſa profondeur réduite étoit de 9 pieds 5 $\frac{1}{4}$ pouces, & ſa longueur méſurée depuis le mât de miſaine juſqu'à 8 pieds de l'étambot, étoit de 67 pieds. Le produit de ces trois dimenſions donne à peu près 12107 pieds cubiques, & diviſant cette ſolidité par 42, il vient 288 $\frac{11}{42}$ tonneaux pour le port de cette Flute, & on pouvoit le ſupoſer encore plus grand; parce que rien n'empêchoit de prendre 70 ou même 75 pieds pour ſa longueur, au lieu de 67. Cependant je m'aſſurai en meſurant avec un extréme ſoin, & par très-petites portions, la partie de la carène qui faiſoit la différence des deux enfoncemens, que cette Flute ne pouvoit pas porter un ſi grand poids. Cette partie de la carène qui eſt *l'expoſant* de la charge, n'étoit que de 7063 pieds cubiques 1526 pouces, leſquels n'indiquent que 254 tonneaux 599 livres. Mais d'où vient que la méthode vulgaie de jauger, qui rendoit le port de la gabare trop petit, rendoit en même

Digitized by Google

tems celui de la Flute trop grand ? La raiſon en eſt bien évidente. La gabare étoit très-legere, & ne peſoit pas le tiers de la peſanteur totale qu'elle avoit avec ſa charge ; d'où il ſuit que la charge devoit être plus grande que les deux tiers de la peſateur totale, & plus grande par conſéquent que ne la ſupoſoit la méthode ordinaire de jauger. La Flute au contraire étoit beaucoup plus peſante à proportion, à cauſe de ſes ponts & de ſa mâture ; & ſa peſanteur particuliere étant plus grande que le tiers de la peſanteur totale, la charge devoit être moindre que les $\frac{2}{3}$. C'eſt pourquoi la méthode ordinaire qui ſupoſe abſolument & ſans diſtinction, que la charge eſt toujours les $\frac{2}{3}$ de la peſanteur totale, la faiſoit trop grande.

Mais s'il ſe trouve une erreur déja ſi conſidérable dans les Bâtimens de tranſport, comme les Flutes qui n'ont point de canon, & qui n'ont qu'un ſeul tillac, elle doit l'être bien davantage dans les Navires qui ſont *Frégatés*, qui ſont à deux ponts, & qui ont de l'artillerie. Ces Navires ſeront incomparablement plus peſants ; & ſupoſé qu'un de ces Navires ait ſa cale préciſément de même capacité que la Flute ; trompé qu'on ſera par la méthode que nous réfutons, dans laquelle la conſidération des différentes peſanteurs du Bâtiment n'entre point, on croira que le Navire ſera également de 288 tonneaux. Cependant il eſt certain qu'il ne ſera pas même de 254 ; puiſqu'il ſera encore beaucoup plus chargé par ſon propre poids, que ne l'étoit la Flute.

Il réſulte de tout cela que pour ne pas s'expoſer à commettre des injuſtices criantes, il faut, au lieu de chercher la ſolidité de la carène entiere, s'attacher à la meſure de la ſeule partie qui fait la différence des deux enfoncemens, & qui ſeule eſt proportionelle à la peſanteur de la charge. Il ſeroit inutile de tenter la diviſion de la ſolidité de la cale entiere par quelqu'autre nombre que par 42 pieds : car tous les nouveaux diviſeurs qu'on pourroit choiſir, ſupoſeroient toujours quelques raports déterminés entre la peſanteur totale & le poids de la charge ; mais

Digitized by Google

ces raports ne pourroient avoir encore lieu que par hazard dans certains Vaiſſeaux. Lorſqu'on meſurera au contraire la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, on ſe fera une méthode qui ſera abſolument générale, & qui réuſſira auſſi-bien dans l'aplication qu'on en fera aux Vaiſſeaux de Guerre, que dans celle qu'on fera aux Gabares & aux Bateaux qui navigent ſur les Rivieres. Ce ſont-là les deux cas extrêmes, dans leſquels le jaugeage, ſelon la méthode ordinaire, eſt ſujet aux plus grandes erreurs, en ſe trompant en excès, ſur le port des Vaiſſeaux, & en défaut ſur celui des Gabares. Si le Navire par lui-même eſt beaucoup plus peſant, il doit porter enſuite un moindre poids étranger; mais la partie de la carène qui reſte à caler, ſera plus petite dans le même raport; & il ſuffira donc toujours de la meſurer, pour avoir éxactement le poids de la charge.

CHAPITRE VI.

Suite du Chapitre précédent : Méthode de trouver la peſanteur de la charge, en meſurant la partie de la Carène qu'elle fait plonger dans la Mer.

I.

IL ne ſera jamais difficile de meſurer exactement cette partie, qui fait la différence des deux enfoncemens, ou qu'on doit regarder comme l'expoſant du poids des marchandiſes : Rien n'empêche de ſe ſervir de la méthode expliquée ci-devant, pour trouver la ſolidité des tranches de la carène. Meſurant en pieds quarrés l'étenduë des deux coupes horiſontales faites à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide, il n'y a qu'à ajouter ces deux étenduës enſemble, & en prendre la moitié, pour avoir la coupe moyenne; & multipliant cette

cette derniere étenduë par la hauteur ou l'épaiſſeur de la partie, il viendra la ſolidité qu'il ne reſtera plus qu'à diviſer par 28, pour avoir la peſanteur de la charge en tonneaux. Diverſes perſonnes dans la Marine ont connu depuis long-tems cette pratique ou ſes équivalentes : elle étoit ſçuë il y a plus de 60 ans à Breſt ; feu M. Coubard, auſſi habile Mathématicien que ſçavant Hydrographe, m'ayant aſſuré qu'elle étoit en uſage dans ce Port, lorſqu'il y arriva ; & il ſeroit facile de remonter à une époque encore plus éloignée, ſi on le vouloit. C'eſt cette Méthode que M. Hocquart, qui l'avoit appriſe à Breſt, & de M. Coubard même, eut le ſoin d'adreſſer au Conſeil de Marine dès 1717, & que M. de Mairan, trop éclairé pour ne pas faire un bon choix, conſentit à adopter, en la préférant à un grand nombre d'autres * ; mais après l'avoir purgée de quelques défauts dont elle s'étoit chargée dans les différentes mains par leſquelles elle avoit paſſé. Cette pratique ſupoſe que les coupes horiſontales de la carène ſont en progreſſion arithmétique, ou qu'elles ſont proportionelles à celles du conoïde parabolique, coupé perpendiculairement à ſon axe. On pourroit craindre que des arcs de parabole pris à une certaine diſtance du ſommet, fuſſent trop droits pour repréſenter toute la courbure de la carène dans le ſens vertical, & que la Méthode rendît le port du Vaiſſeau un peu trop petit. Mais comme les deux coupes la plus haute & la plus baſſe, qui interceptent la partie qui fait la différence des deux enfoncemens, ſont toujours peu éloignées l'une de l'autre, il eſt certain que le défaut de courbure de la parabole ne peut apporter que des erreurs peu conſidérables, & qui ſeront pour l'ordinaire aſſez petites pour devoir être tolerées.

* Voyez les Mémoires de l'Academ. des Sciences, ann. 1721.

Nous devons ajouter que cette Méthode peut encore s'abreger, & ſouvent en devenant plus exacte. Au lieu de chercher l'étenduë de la coupe moyenne de la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, en prenant la moitié de la ſomme de la premiere

& de la derniere, il n'y a qu'à la mesurer immédiatement; en se dispensant de mesurer les deux autres. On trouvera sensiblement la même chose, comme je l'ai éprouvé quelquefois: à cela près que cette coupe moyenne actuellement mesurée, sera presque toujours un peu plus grande; ce qui réparera souvent le défaut dans lequel on tombe, en attribuant aux flancs de la carène la courbure parabolique qui est un peu trop petite; pourvû néanmoins qu'on ne tombe pas dans l'excès contraire.

Prenons, pour exemple, un Navire qui étant sans charge, ait tous ses agreils, son artillerie & ses munitions à bord; ou dans lequel on ait au moins déja introduit un poids égal à la pesanteur de toutes ces choses. On l'examinera lorsqu'il sera à flot, & on verra combien il doit encore caler par le poids de sa charge, sans être exposé à aucun accident: s'il a, par exemple, encore 7 pieds à enfoncer, on mesurera l'étenduë de la coupe horisontale, $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessus de la surface de l'eau. Ce sera la coupe moyenne dont on vient de parler; & il ne restera plus qu'à la multiplier par les 7 pieds d'épaisseur de toute la tranche pour avoir la solidité. Il n'est pas nécessaire que je dise de rechef que pour mesurer l'étenduë de la coupe, on doit la partager en plusieurs trapezes, par des largeurs prises à une égale distance les unes des autres. Si ces largeurs se trouvent en commençant vers la poupe de 1 pied, de 16, de 26, de 28, de 29, de 28, de 27, de 22 & de 1, & que la distance de l'une à l'autre, soit de 15 pieds, parce que toute la longueur de la coupe est de 120, son étenduë sera de 2655 pieds quarrés, qu'il ne restera plus qu'à multiplier par 7, hauteur de toute la partie qui se plonge par la charge; & il viendra pour la solidité 18585 pieds cubiques qui étant divisés par 28, donnent environ 664 tonneaux pour le port du Navire dont il s'agissoit.

Nous ne devons pas au reste négliger de faire une remarque que nous croyons très-importante. C'est qu'il est absolument nécessaire pour mesurer l'étenduë des

Digitized by Google

coupes horiſontales, ou d'employer le moyen dont nous nous ſommes ſervis, ou d'en employer quelqu'autre, qui étant invariable dans les opérations qu'il exige, ne laiſſe rien au choix, ni à la direction du Jaugeur. Lorſque je fis au Croiſic des épreuves de cette Méthode, à la recommandation de l'Académie, dont je n'avois pas encore l'honneur d'être Membre, je crû que ſur l'expoſé du P. Reyneau, qu'il n'étoit pas préciſément queſtion de la maniere de meſurer les coupes horiſontales : mais qu'il s'agiſſoit de reconnoître quelle loi elles ſuivoient ; de ſçavoir ſi elles étoient proportionelles aux coupes correſpondantes d'un conoïde parabolique, ou ſi elles ſuivoient quelqu'autre progreſſion. Ce ne fut que de cet unique point de vûë que je conſiderai le problême, & que je rendis témoignage de l'exactitude que je trouvai dans chaque opération. Ainſi les épreuves que je fis alors, ne ſont favorables à celle dont il s'agit maintenant, que dans la ſeule ſupoſition qu'on meſure l'étenduë des coupes dans la plus grande exactitude, comme je tâchai de le faire : au lieu que ce ne ſeroit peut-être plus la même choſe, ſi on ſe faiſoit une régle de ne les partager qu'en un certain nombre de parties, comme trois ou quatre, ainſi que le vouloit M. Hocquart d'après M. Coubard ; & qu'on laiſſât au Jaugeur à décider ſi telle partie doit être traitée comme un ſegment de ſection conique, ou comme une autre figure qu'il ne connoîtra ſouvent pas mieux. De telles régles ne ſont bonnes que lorſqu'elles ſont entre les mains de gens éclairés, qui ſçavent les accommoder aux circonſtances particulieres, en voyant les changemens qu'il faut y faire : Dans l'uſage ordinaire, on a beſoin d'une Méthode qui n'exige rien autre choſe que d'être obſervée inviolablement, par le Praticien groſſier, qui fait les fonctions de Géométre.

II.

Lorſque la queſtion du Jaugeage fut traitée dans l'Académie des Sciences, il ne fut pas poſſible à M. Va-

rignon livré, comme tout le monde ſçait, au pur Géométrique, de ſe borner à choiſir entre le grand nombre de Pratiques de toutes parts recueillies par le Conſeil de Marine, leſquelles ne portoient pas pour lui le caractere d'une préciſion aſſez rigoureuſe. Il crut devoir imaginer une Méthode nouvelle, qui eſt toute de lui, & qu'on peut voir dans le même Volume de 1721. J'en fis auſſi des eſſais pour ſatisfaire à l'intention de l'Académie qui, retenuë par ſa ſageſſe ordinaire, vouloit pour plus de ſureté, que toutes les différentes pratiques qu'on propoſoit, fuſſent ſoumiſes à l'expérience, & apliquées actuellement à la figure même des Vaiſſeaux. M. Varignon prétendoit obtenir la ſolidité de cette partie de la carène qui eſt *l'expoſant* de la charge, en la conſidérant comme une tranche d'ellipſoïde formé ſur les principales dimenſions du Navire. Il circonſcrivoit un ellipſoïde, ou plutôt un demi-ellipſoïde à la carène, & il prenoit enſuite pour la partie dont il vouloit avoir la ſolidité, la partie correſpondante de l'ellipſoïde, interceptée entre les mêmes plans horiſontaux. Il donna pour cela une formule qui ne pouvoit pas manquer d'être élegante, en partant de mains ſi habiles. Mais il arrivoit preſque toujours que les deux parties qu'il comparoît, ne ſe reſſembloient que très-peu, qu'elles étoient plus ou moins longues, & plus ou moins larges l'une que l'autre, & qu'elles avoient des ſolidités très-inégales; juſques-là que je trouvai dans les eſſais que j'en fis, une différence de plus d'une ſeptiéme partie, dans un cas qui paroiſſoit néanmoins très-favorable: c'étoit en apliquant la Méthode à une Gabare, qui approchoit plus de la figure de l'ellipſoïde que toute autre eſpece de Bâtiment que je connoiſſe. Outre cela il étoit abſolument impoſſible de faire uſage de la même Méthode pour les Navires, dont la poupe eſt terminée par un plan preſque vertical, lorſque ce plan entre dans l'eau, ou qu'il entame une partie même de la carène.

Toutes ces difficultés me firent penſer, qu'au lieu de former l'ellipſoïde ſur les principales dimenſions du Na-

Digitized by Google

vire, il valoit beaucoup mieux l'accommoder à la ſeule figure de la partie de la carène qu'il s'agiſſoit de meſurer; ſans ſe mettre en peine ſi le reſte du ſolide convenoit avec le reſte du Vaiſſeau, dont il n'étoit pas alors queſtion. Qu'importoit-il en effet que tout l'ellipſoïde eût exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur que le Vaiſſeau, ſi la partie de la carène dont on vouloit découvrir la ſolidité, n'avoit que peu ou point de raport avec la partie correſpondante de l'ellipſoïde qu'on meſuroit en ſa place? Il falloit donc, ſans avoir égard à tout l'ellipſoïde, s'attacher ſeulement à conformer avec exactitude une partie ſur l'autre; à modeler ſur la partie de la carène, la partie de l'éllipſoïde, deſtinée à la repréſenter. Comme ce ne pouvoit être encore que par un extréme hazard que les coupes horiſontales de la carène fuſſent exactement des ellipſes, & égales aux coupes correſpondantes de l'ellipſoïde, puiſque cela n'avoit pas même lieu dans nos Gabares, il me parut qu'on ne pouvoit pas ſe diſpenſer de meſurer au moins l'étenduë de la premiere & de la derniere; c'eſt-à-dire des deux qui interceptent la partie de la carène, & qu'on ne pouvoit emprunter tout au plus de l'ellipſoïde que la ſeule loi ou progreſſion qu'il y a entre l'étenduë de ſes coupes. A l'aide de tous ces changemens, on devoit parvenir à déterminer le port des divers Bâtimens dans la derniere préciſion: M. Varignon même eut la généroſité d'en convenir. Mais d'un autre côté la méthode devenoit beaucoup plus longue en perdant de ſa ſimplicité: Il falloit, pour ainſi dire, payer par un plus long calcul ce qu'on gagnoit du côté de l'exactitude. La Méthode ſe réduiſoit à cette autre formule $\frac{A\times f^2-fe-e^2+B\times f^2-fe-2e^2}{3f+3e}$ qui exprime la ſolidité requiſe, pendant que A & B déſignent l'étenduë des deux coupes horiſontales actuellement meſurées, faites à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide; & que e & f marquent les quantités verticales dont ces mêmes coupes ſe trouvent au-deſſous de l'endroit le plus gros de la carène.

Digitized by Google

Pour voir l'origine de cette nouvelle régle, on n'a qu'à
Fig. 53. conſiderer dans la Figure 53, l'ellipſoïde PQR, qui conformément à ce qu'on vient de dire, ne repréſente pas, comme le vouloit M. Varignon, la carène entiere du Navire ABCD; mais dont la partie STXV eſt la plus égale qu'il eſt poſſible à la partie correſpondante EFGH, dont on veut avoir la ſolidité. Nous ſupoſons qu'on a meſuré actuellement l'étenduë A & B des deux coupes horiſontales FE & GH qui interceptent cette partie: c'eſt connoître déja l'étenduë des coupes ST & VX de l'ellipſoïde qui ſont de même grandeur. On connoit auſſi les diſtances YO & ZO de ces dernieres coupes au centre O de l'ellipſoïde, qui ſont égales aux quantités $LI = e$, & $MI = f$, dont l'endroit I le plus gros du Navire eſt élevé au-deſſus de la ſurface de l'eau, dans les deux différens états où l'on eſt obligé de le conſiderer. Cela ſupoſé, je nomme p le demi-axe vertical OQ de l'ellipſoïde ou de la ſphère, (car c'eſt la même choſe) dont les coupes ſont en même raiſon que celle de la carène dans l'endroit qu'il s'agit de meſurer, & x les parties verticales de ce demi-axe OQ, à commencer du centre O. Ainſi x repréſente la quantité dont chaque coupe eſt au-deſſous du centre, & la différentielle dx repréſentera l'épaiſſeur infiniment petite de chaque tranche ou de chaque élement, dont on peut ſupoſer que la tranche ſenſible STXV eſt formée. Il eſt évident que puiſque les coupes de la partie de la carène ſont en même raiſon que les coupes correſpondantes de la ſphère, dont $OQ = p$ eſt le demi-axe, & que les cercles qui ſont les coupes de la ſphere, ſont en même raport que les quarrés de leur rayon, on pourra faire cette analogie $\overline{OQ}^2 - \overline{OY}^2 = p^2 - e^2$ eſt à l'étenduë A de la coupe ST ou FE comme $\overline{OQ}^2 - \overline{OZ}^2 = p^2 - f^2$ eſt à l'étenduë B de la coupe VX ou GH; ce qui donne l'équation $Bp^2 - Be^2 = Ap^2 - Af^2$, dans laquelle $p^2 = \frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$. Ainſi on connoît déja le demi-axe vertical p de l'ellipſoïde ou de la ſphère dont les coupes horiſontales ſont pro-

portionelles aux coupes correſpondantes de la carène.

Par la même proprieté de la ſphère, ou à cette autre analogie $p^2 - e^2$ eſt à l'étenduë a^2 de la coupe ST ou FE, comme $p^2 - x^2$ eſt à $\frac{Ap^2 - Ax^2}{p^2 - e^2}$ pour l'étendue de toutes les autres coupes : & ſi on multiplie cette étenduë par la quantité infiniment petite dx, on aura $\frac{Ap^2dx - Ax^2dx}{p^2 - e^2}$ pour l'expreſſion des tranches infiniment peu épaiſſes qui ſervent d'élement à la carène. Je prends l'intégrale $\frac{Ap^2x - \frac{1}{3}Ax^3}{p^2 - e^2}$ qui peut exprimer également la ſolidité de toutes les parties ſenſibles, qui répondent aux différentes parties x du demi-axe vertical : Mais il faut mettre ſucceſſivement $f = OZ = IM$, & $e = OY = IL$ à la place de x ; il viendra $\frac{Ap^2f - \frac{1}{3}Af^3}{p^2 - e^2}$ & $\frac{Ap^2e - \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$, & ôtant l'une de l'autre, il reſtera pour la ſolidité de SX ou de FH, $\frac{Ap^2f - Ap^2e - \frac{1}{3}Af^3 + \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$; & ſi l'on ſubſtitue $\frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$ à la place de p^2, on réduira cette expreſſion à $\frac{\frac{1}{3}Af^3 - Af^2e + \frac{1}{3}Ae^3 + \frac{1}{3}Be^3 - Be^2f + \frac{1}{3}Bf^3}{f^2 - e^2}$, & par la diviſion à $\frac{Ax2f^2 - fe - e^2 + B \times f^2 + fe - 2e^2}{3e + 3f}$, qui exprime donc en grandeurs entierement connuës, la ſolidité de la partie de la carène qut s'enfonce dans l'eau par la ſeule peſanteur de la charge. Dans le cas où le Navire chargé enfoncera juſqu'au terme I de la plus grande largeur, il arrivera que IL ou $OY = e$ ſera nulle, & alors la formule précédente ſe réduira à $\overline{2A + B} \times \frac{1}{3}f$, qui eſt beaucoup plus ſimple.

On voit aſſez que la méthode que fournit l'une & l'autre formule, ne peut pas manquer d'être exacte, & qu'elle doit même l'emporter ſur toutes les autres pratiques, auſſi-tôt qu'elles n'employent que le même nombre de meſures. Il eſt ſeulement fâcheux que le calcul dans lequel il eſt néceſſaire d'entrer, puiſſe paroître un peu long aux perſonnes qui ſe mêlent du jaugeage. Mais on peut ſe ſervir de cette nouvelle régle, lorſqu'on ſe propoſe une plus

Digitized by Google

grande précision, & employer la Méthode du premier article dans tous les cas ordinaires. Je trouvai dans la Gabare *la Mariane*, que l'étenduë A de la coupe supérieure étoit de 265 pieds 22 pouces quarrés, que celle de la coupe inférieure B étoit de 229 pieds 95 pouces quarrés, & que les quantités *e* & *f* étoient de 1 pied 6 pouces & de 3 pieds 4 pouces. En apliquant la formule à ces quantités, il me vint 457 pieds 1196 pouces cubiques; ce qui ne différe presque pas de la vraye solidité 457 pieds 1725 pouces cubiques que j'obtins, en partageant en 60 prismes la partie de la carène qui faisoit la différence des deux enfoncemens.

SECONDE

Digitized by Google

SECONDE SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau, & de la position qu'on doit donner au centre dans lequel se réunit cette pesanteur.

CHAPITRE PREMIER.

Méthode de trouver le centre de gravité de la Carène, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau.

NOUS n'avons peut-être que trop insisté & sur la pesanteur que doit avoir le Navire, & sur les diverses forces qu'a la Mer pour le pousser verticalement en haut, selon que la partie submergée de la carène est plus ou moins grande. Nous devons maintenant examiner la distribution de cette pesanteur; & avant toutes choses donner quelque moyen simple de déterminer le centre de gravité de la partie submergée, dans lequel nous sçavons que se réunit la poussée de l'eau. Les Géométres ne manquent pas de Méthodes pour découvrir le centre de gravité des corps, de même que le centre d'effort de plusieurs puissances. Mais on a besoin ici d'une pratique générale, dont on puisse, malgré sa simplicité, se servir pour les corps de toutes sortes de figures: ce qui empêche d'avoir recours aux opérations absolument Géométriques.

Digitized by Google

I.

Tous les Mécaniciens ſçavent le moyen de trouver le centre de gravité des corps par l'expérience, en les ſuſpendant : il ne ſera pas inutile d'avertir que rien n'eſt plus facile que d'employer ce moyen dans les Arſenaux de Marine, où on a toujours prêtes toutes les choſes néceſſaires pour cela. Il n'y a qu'à faire faire avec du bois le plus homogène qu'il ſera poſſible, une petite carène ſolide, parfaitement proportionelle ou ſemblable à la grande. On tracera une échelle de parties égales, dans laquelle les pieds de Roy ſeront repréſentés par le $\frac{1}{3}$ ou le $\frac{1}{4}$ d'un pouce; & on fera toutes les largeurs de la petite carène, & toutes les autres dimenſions, d'autant de ces petits pieds, que la grande carène en contiendra de grands. La petite carène étant enſuite ſoutenuë avec une ficelle en différentes ſituations; ſi on prolonge par la penſée la ficelle au-dedans du corps, elle indiquera ſon centre de gravité, qui ſera ſitué préciſément de la même maniere dans la grande carène. Cette pratique, comme on le voit, eſt très-ſimple : cependant il eſt à propos de pouvoir quelquefois ſe diſpenſer de s'en ſervir, & d'avoir pour cela d'autres Méthodes qu'on puiſſe apliquer d'une maniere plus directe.

II.

Le principe dont on doit continuellement faire uſage dans cette recherche, c'eſt que la ſomme des momens de pluſieurs puiſſances ou de pluſieurs poids, c'eſt-à-dire la ſomme de tous leurs produits particuliers par leur diſtance à un point qu'on prend pour terme ou pour hypomoclion, eſt égale au moment total de ces poids, ou au produit de leur ſomme par la diſtance de leur centre de gravité commun à ce point qui ſert de terme. Ce principe qui eſt général, eſt également vrai, lorſqu'il y a un nombre infini de différens poids, que lorſqu'il n'y en a qu'un nombre limité; pourvû que leurs directions ſoient

Digitized by Google

paralleles : & il en réſulte que pour trouver le centre de gravité de pluſieurs poids, il n'y a toujours qu'à chercher le moment particulier de chacun, ou le multiplier par ſa diſtance au point fixe, faire une ſomme de tous ces momens ; & que la diviſant par la ſomme des poids, on aura la diſtance requiſe du centre de gravité commun au point fixe.

III.

Propoſons-nous pour commencer par une aplication plus ſimple du principe, de trouver le centre de gravité Γ de la ſurface AMGN (Fig. 51.) ; & nommons x les parties variables AB, AC, &c. de ſon axe, & y ſes largeurs ordonnées QR, OP, &c. nous aurons $\frac{Syxdx}{Sydx}$ pour l'expreſſion de la diſtance ΓA. Car les petits reſtangles élementaires compris entre deux ordonnées infiniment proche l'une de l'autre, ſeront exprimés par ydx, & leur ſomme ou l'étenduë entiere de la ſurface par l'intégrale $Sydx$, pendant que $xydx$ exprimera les momens particuliers de ces mêmes élemens conſiderés comme de petits poids par raport au point A, & $Sxydx$ repréſentera leur ſomme totale, ou le moment total qu'il ne reſte donc plus qu'à diviſer par $Sydx$ ſomme des poids. Toute la difficulté que renferme cette recherche conſiſte, comme il eſt évident, à trouver les intégrales ; mais ſi on veut en venir à bout ſans peine, on n'a qu'à les chercher par la Méthode expliquée dans le ſecond Chapitre de la ſection précédente. Fig. 51.

On a déja montré que pour découvrir l'étenduë d'une ſurface AMGN, il n'y a qu'à partager ſa longueur en pluſieurs parties égales dans les points B, C, D, &c. meſurer toutes les ordonnées ou les largeurs vis-à-vis de ces points ; & que faiſant enſuite une ſomme de toutes les largeurs intermédiaires & de la moitié des deux extrêmes, il ne reſtoit plus qu'à multiplier cette ſomme par la diſtance d'une largeur à l'autre. On aura de cette ſorte

Digitized by Google

Fig. 51. l'intégrale $Sydx$; & pour trouver de la même maniere l'intégrale $Syxdx$, on multipliera chaque ordonnée ou largeur par sa distance au point A; on fera une somme de tous ces produits, excepté du premier & du dernier, dont on n'introduira dans la somme que la seule moitié, & multipliant cette somme par la distance d'une largeur à l'autre, on aura l'intégrale $Syxdx$, qu'il ne restera donc plus qu'à diviser par la premiere, pour avoir au quotient la distance du centre de gravité à l'extrémité de la surface.

La premiere intégrale, ou l'étenduë de la surface, sera $AB \times \frac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.$ & la seconde, ou la somme des momens sera $AB \times AB \times QR + AC \times OP + AD \times MN + \&c.$ qui se réduit à $\overline{AB} \times QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.$ Or si l'on divise cette seconde intégrale par la premiere, il viendra $AB \times \frac{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}{\frac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ qui fournit cette régle très-simple, pour trouver le centre de gravité d'une surface plane quelconque, dont on a mesuré un certain nombre de largeurs à une égale distance les unes des autres. *C'est de faire une somme de la seconde largeur* QR, *du double de la troisiéme* OP, *du triple de la quatriéme* MN, *& ainsi de suite jusqu'à la derniere, dont on ne prendra que la moitié du multiple. Cette somme étant trouvée, on la multipliera par la distance d'une largeur à l'autre, & enfin on divisera le produit par la somme de toutes les largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrêmes. Le quotient marquera la distance du centre de gravité de la surface à son extrémité.*

Prenons pour exemple la surface dont nous avons parlé dans le Chapitre II. de la Section précédente, & dont la longueur est de 120 pieds, & les sept largeurs vis-à-vis des points A, B, C, &c. de 18 pieds, de 23, 28, 30, 30, 21 & 0. En ajoutant la seconde largeur 23 avec le double de la troisiéme 28, le triple de la quatriéme 30, &c. on aura 394 qui étant multiplié par 20, distance d'une largeur à l'autre, donne 7880 pour la valeur de $AB \times QR + 2OP + 3MN + \&c.$ Après cela il ne reste plus

Digitized by Google

qu'à diviſer cette quantité par $141 = \frac{1}{2}ST + QR + OP$, &c. & il viendra au quotient 55 pieds preſque 11 pouces pour la diſtance requiſe du centre de gravité Γ au point A. Il n'eſt ſans doute pas poſſible d'abréger davantage cette Méthode: on en a donné une autre dans le Traité de la Mâture, qui ſera ordinairement un peu plus exacte; mais celle-ci l'eſt toujours aſſez dans la pratique; & outre cela elle eſt beaucoup plus ſimple.

IV.

Il n'y aura pas plus de difficulté à trouver le centre de gravité d'un ſolide; le calcul ſera ſimplement plus long. Le ſolide étant partagé en pluſieurs tranches de même épaiſſeur par des plans paralleles, on cherchera le centre de gravité de chaque coupe, ou de chaque ſurface qui ſépare les tranches, & multipliant l'étendue de chaque coupe par la diſtance de ſon centre de gravité à une ligne qu'on prendra pour terme. Il n'y aura qu'à faire une ſomme de tous ces produits, en n'employant cependant dans l'addition que la moitié du premier & du dernier; il ſuffira enſuite de diviſer cette ſomme par celle de l'étenduë de toutes les ſurfaces intermédiaires, & de la moitié de la premiere & de la derniere, pour avoir au quotient la diſtance du centre de gravité du ſolide entier à cette ligne qui ſert de terme. Dans le Vaiſſeau de la Figure 50, par exemple, rien n'empêche de trouver les centres de gravités particuliers T, S, R, &c. de toutes les coupes AD, OL, &c. de la même maniere qu'on l'a trouvé de la ſurface AMGN (Fig. 51.) Or ſi on multiplie l'étenduë de chaque de ces coupes par la diſtance de ſon centre de gravité à l'étambot AB, & qu'on diviſe la ſomme de la moitié du premier & du dernier produit, jointe aux autres produits entiers, par la ſomme de l'étenduë de toutes les coupes intermédiaires & de la moitié de la premiere & de la derniere, on aura la diſtance du centre de gravité de toute la carène ADCB à l'étambot. Fig. 50.

Mais après avoir trouvé la ſituation de ce centre par

raport à la longueur du Navire, il faut la chercher par raport à la hauteur. Pour y réuſſir aiſément, il n'y aura qu'à faire une ſomme de l'étenduë de la ſeconde coupe IM, à commencer par en bas, du double de l'étenduë de la troiſiéme KN, du triple de la quatriéme, &c. juſqu'à la derniere AD, dont on ne prendra le multiple que de la moitié; & multipliant cette ſomme par la diſtance d'une coupe à l'autre, il ne reſtera plus qu'à en diviſer le produit par la ſomme de toutes les coupes intermédiaires IM, KN, &c. & de la moitié des deux extrêmes CB & DA; & on aura au quotient la hauteur du centre de gravité de la carène au-deſſus de la quille. Il n'eſt pas néceſſaire que nous nous arrêtions à expliquer la raiſon de cette pratique: on voit ſans doute aſſez que nous conſiderons l'étenduë de toutes les coupes comme les ordonnées de la ſurfaces AMGN de la Fig. 51. & que nous agiſſons préciſément à l'égard de ces coupes, comme nous avons operé à l'égard des ordonnées.

CHAPITRE II.

De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaiſſeau.

I.

LE centre de gravité de la carène étant déterminé, on connoîtra le point dans lequel ſe réunit la pouſſée de l'eau, & d'où part la verticale ſur laquelle cette puiſſance agit. Le centre de gravité du Vaiſſeau, comme nous l'avons montré dans la Section précédente, ſe place toujours exactement dans la même verticale; ſans cela la pouſſée de l'eau ne ſe trouveroit pas directement oposée à la peſanteur du Navire, & ne pourroit pas la ſoutenir; ces deux forces ne ſe contrebalanceroient pas, ni ne

Digitized by Google

ſuſpendroient jamais entierement l'action l'une de l'autre. Mais ce n'eſt pas encore aſſez pour que la ſituation du Navire ſoit permanente : car les parties de l'eau, de même que celles de toutes les autres liqueurs, ſont dans un mouvemeut continuel ; & il arrive ſans ceſſe que quelqu'unes de ces parties chocquent la carène plus d'un côté que de l'autre ; ce qui ſuffiroit pour produire une inclinaiſon qui ne ſeroit d'abord, ſi on le veut, qu'inſenſible ; mais qui ne manqueroit jamais d'augmenter comme d'elle-même, ſi le centre du Navire étoit trop haut. Il n'y a perſonne qui n'ait éprouvé quelquefois quelque choſe de ſemblable, en tâchant de faire floter de bout un morceau de bois, ou quelqu'autre corps leger, qui avoit beaucoup de longueur. Il s'agiſſoit d'abord de le placer verticalement, & de mettre ſon centre de gravité exactement au-deſſus de celui de l'eſpace qu'il occupoit dans l'eau par ſon extrémité : mais quoiqu'on réuſsît peut-être à donner cette ſituation préciſe, la moindre cauſe extérieure ſuffiſoit pour l'alterer ; & auſſi-tôt que le corps avoit commencé une fois à s'incliner, ſa propre peſanteur d'un côté, & la pouſſée verticale de l'eau de l'autre, tendoient conjointement à le faire incliner davantage, & à le faire tomber.

II.

Il n'eſt que trop certain que la même choſe doit arriver à un Navire, dont le centre de gravité eſt trop élevé. Supoſons que OEC (Fig. 54) repréſente la coupe d'un Vaiſſeau faite perpendiculairement à ſa longueur, que *g* ſoit ſon centre de gravité, & Γ celui de ſa carène, ou de ſa partie AEB qui eſt ſubmergée, lorſqu'il eſt ſitué horiſontalement ; & que ΓZ qui eſt en même tems verticale, ſoit la direction de la *pouſſée*. Si ce Navire en prenant une ſituation qui ne différe de la premiere que d'une quantité infiniment petite, & qui ſoit cauſée par le choc irrégulier de la moindre particule d'eau ou d'air, s'incline de maniere que *ab* ſe trouve exactement dans la ſurface de Fig. 54.

Digitized by Google

Fig. 54. la Mer; cette force avec laquelle l'eau agit de bas en haut, ne ſe réunira plus dans le centre de gravité Γ de la carène AEB, elle ſe réunira dans le centre de gravité γ de la partie *aEb* actuellement ſubmergée; & comme la direction γz qui ſera alors verticale, au lieu de paſſer par le centre de gravité I, ſera placée du côté opoſé à l'inclinaiſon, il eſt clair que cette puiſſance, bien loin de travailler à rétablir la premiere ſituation, tendra au contraire à cauſer une plus grande inclinaiſon. Il n'eſt donc pas poſſible que le Navire reſte alors de niveau; puiſqu'il n'eſt retenu dans cet état par aucune force, & qu'il ſuffit qu'une cauſe infiniment foible, commence à l'en faire ſortir, pour qu'il continuë enſuite comme de lui-même à s'incliner. S'il eſt poſſible qu'il reſte de niveau, c'eſt d'une poſſibilité purement Métaphyſique, à laquelle il manque quelquefois bien des choſes, comme on le ſçait, pour qu'on la voye réduite en acte: de même que l'expérience nous apprend qu'une aiguille ne ſe tient jamais debout ſur ſa pointe, quoique la choſe ſoit poſſible, à parler géométriquement.

III.

Mais que le centre de gravité du Vaiſſeau, au lieu d'être en I au-deſſus de l'interſection *g* de ΓZ & γz, ſoit en G au-deſſous de cette interſection; la pouſſée de l'eau ſera alors toujours prête à rétablir la ſituation horiſontale, en cas qu'elle ſoit alterée; parce que la direction ſera toujours placée du côté de l'inclinaiſon par raport au centre G. Il y aura donc alors une puiſſance qui maintiendra continuellement le Navire dans ſon niveau, ou au moins qui ne manquera pas de l'y faire revenir, pour peu qu'il s'en écarte, & qui augmentera ſelon les beſoins. Ainſi on voit combien il eſt important de connoître le point d'interſection *g*, qui en même tems qu'il ſert de limite à la hauteur qu'on peut donner au centre de gravité G, diſtingue le cas où le Navire conſerve ſa ſituation horiſontale, de celui où il verſeroit dans le Port même, ſans pouvoir ſe

Digitized by Google

ſe ſoutenir un ſeul inſtant. Le point *g* qu'on peut, à juſte titre, nommer *métacentre*, eſt le terme que la hauteur du centre de gravité G, ne doit pas paſſer, & ne doit pas même atteindre : car ſi le centre de gravité G étoit en *g*, le Navire n'affecteroit pas plus la ſituation horiſontale que l'inclinée ; les deux ſituations lui ſeroient également indifférentes : & il ſeroit par conſéquent incapable de ſe relever, lorſque quelque cauſe étrangere l'auroit fait pancher.

IV.

Si la carène étoit un demi-ſphéroïde, ou un ſegment de ſphéroïde retranché par un plan parallele à l'axe, il ne ſeroit jamais difficile de trouver le point *g*, *le métacentre* ; puiſqu'il ſeroit le centre des coupes du Vaiſſeau faites perpendiculairement à ſa longueur, leſquelles ſeroient exactement des cercles. Supoſé que OEC (Fig. 55.) ſoit une de ces coupes, & que l'inclinaiſon ſoit portée aſſez loin pour que le ſegment *aEb* ſoit la partie ſubmergée, la force qu'a l'eau pour ſoûtenir les corps, & qui ſe réunira dans le centre de gravité γ de ce ſegment, agira ſelon la verticale γz qui eſt un rayon du cercle OEC, & ce ſera la même choſe dans toutes les autres ſituations. Il n'importe par conſéquent dans ce cas particulier comment le centre de gravité G du Navire ſoit ſitué par raport à la ſurface de l'eau *ab* en deſſus ou en deſſous, pourvû que placé, comme il ne peut pas manquer de l'être, ſur le rayon *g*E, il ſoit au-deſſous du centre *g* du cercle qui forme la coupe OEC. Au reſte, plus le centre de gravité G ſera bas, plus il ſera éloigné en cas d'inclinaiſon de la verticale γz, ſur laquelle s'exerce la pouſſée de l'eau ; & plus cette pouſſée, quoique la même, ſera enſuite placée avantageuſement, ou appliquée à un bras de levier plus long, pour pouvoir rétablir la ſituation horiſontale. Fig. 55.

CHAPITRE III.

Méthode de déterminer le Métacentre, ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau.

I.

LORSQUE les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à la longueur du Navire, ne sont pas des cercles, il faut ordinairement se livrer à une assez longue discussion, pour pouvoir découvrir *le métacentre*, ce point au-dessous duquel il est nécessaire de mettre le centre de gravité du Navire. Comme la question se réduit à déterminer la situation des directions ΓZ & γz (Fig. 54.) sur lesquelles agit successivement la poussée de l'eau, il faut chercher d'abord combien les centres de gravité Γ & γ d'où partent ces lignes, sont éloignés l'un de l'autre. Γ comme nous l'avons déja assez dit, est le centre de gravité de la carène AEB, considérée comme homogène, & γ de la partie qui est submergée, lorsque le Navire est incliné. L'intervalle entre les deux centres ne doit être qu'un infiniment petit, puisqu'il ne s'agit d'abord que de la premiere, ou plus petite inclinaison du Navire. La carène AEB & le solide *a*E*b*, ont une partie commune AF*b*E, dont le centre de gravité est en 3 : Ainsi le petit intervalle Γγ qui se trouve entre les centres de gravité Γ γ, ne vient que des deux autres parties BF*b* & AF*a*, dont l'une sort de l'eau, pendant que l'autre y entre; & qui ont leur centre de gravité en 1 & en 2. Mais la carène AEB n'étant formée que de la partie commune AE*b*F, & de la petite partie BF*b*, son centre de gravité Γ doit être situé sur la ligne 3 1 qui joint les centres de gravité 3 & 1 de AE*b*F & de BF*b*; & 1 Γ doit être à 3 Γ, comme

Fig. 54.

la partie commune AE*b*F eſt au petit ſolide BF*b* qui s'é- Fig. 14.
leve de l'eau; puiſque toutes les parties d'un corps ſont en équilibre autour de ſon centre de gravité, & que l'équilibre ne conſiſte que dans cette proportion qui rend les momens égaux. Par la même raiſon le centre de gravité γ du ſolide *a*E*b* qui ſert de carène pendant l'inclinaiſon du Navire, doit être ſur la ligne 3 2, qui joint les centres de gravité 3 & 2 de AE*b*F, & de AF*a* qui ſe plonge dans l'eau, lorſque le Navire s'incline. Mais comme les petits ſolides BF*b* & AF*a* ſont de même ſolidité, & qu'ils le ſeroient également, quand même ils ne ſeroient pas des corps ſemblables, puiſque le Navire occupe le même eſpace dans la Mer avant & après ſon inclinaiſon; la partie commune AE*b*F doit avoir même raport au ſolide BF*b* qu'au petit ſolide AF*a*; & il doit y avoir auſſi même raiſon de 2γ à 3γ, que de 1Γ à 3Γ. C'eſt-à-dire que la petite ligne $\Gamma\gamma$ qui eſt la diſtance des centres de gravité γ & Γ, diviſe les deux lignes 32 & 31 proportionellement; & cette petite ligne eſt donc parallele à la ſurface de l'eau, ou à la diſtance 12 des centres de gravité 1 & 2. Il eſt clair que ce ſera encore la même choſe ſi le Navire continuë à s'incliner; pourvû que la partie infiniment petite, qui ſe plonge d'un côté, ſoit toujours égale à celle qui s'éleve de l'autre.

II.

De ce que la partie commune AE*b*F eſt au petit ſolide BF*b*, comme 1Γ eſt à 3Γ, il ſuit auſſi que la carène entiere AEB eſt au petit ſolide BF*b*, comme 31 eſt à 3Γ, & on aura donc encore cette proportion; la carène entiere AEB eſt au petit ſolide BF*b*, comme 12 eſt à $\Gamma\gamma$. Ainſi on pourra trouver la diſtance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ, auſſi-tôt qu'on connoîtra la ſolidité de la carène AEB, la ſolidité de la petite partie BF*b*, & la diſtance 12 des centres de gravité 1 & 2 des petites parties BF*b* & AF*a*; puiſque ce ſont là les trois premiers termes d'une proportion, dont la diſtance $\Gamma\gamma$ eſt la quatriéme.

III.

Fig. 54. Comme la figure du Vaiſſeau eſt donnée, on connoît ſa coupe horiſontale faite à fleur d'eau. Je nomme x les parties de l'axe de cette coupe, ou les parties de la longueur du Navire, & y les demi-largeurs ou ordonnées: FB eſt la plus grande de ces demi-largeurs; je la nomme b; & je déſigne par e la quantité verticale & infiniment petite HB, dont le point B s'éleve de l'eau, lorſque le Navire s'incline de l'autre côté. Je conſidere après cela que le petit ſolide BFb qui ſort de l'eau, & dont BFb n'eſt qu'une coupe, eſt formé d'une infinité de petits triangles verticaux, qui étant arrangés tout le long de la longueur du Navire à la diſtance infiniment petite dx les uns des autres, ſont paralleles aux triangles BFb, & lui ſont ſemblables. Ces petits triangles ont les demi-largeurs y pour baſes, & on trouvera leur petite hauteur par cette proportion, $FB = b \mid BH = e \mid\mid y \mid \frac{e}{b}y$; de ſorte que $\frac{e}{2b}y^2$ produit de y par $\frac{e}{2b}y$ ſera l'étenduë de ces petits triangles. Je multiplie cette étenduë par l'épaiſſeur infiniment petite dx, il vient $\frac{e}{2b}y^2dx$ pour la ſolidité des petits triangles, ou plutôt des petits priſmes triangulaires, dont le petit ſolide BFb eſt formé; & en intégrant on trouve $S\frac{e}{2b}y^2dx$, ou $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ pour la grandeur de ce petit ſolide qui ſort de l'eau par l'inclinaiſon du Navire; c'eſt là une des choſes qu'on cherchoit.

Après cela je multiplie l'élement $\frac{e}{2b}y^2dx$ par $\frac{2}{3}y$; parce que le centre de gravité de chaque petit triangle répond aux $\frac{2}{3}$ de la baſe, ou de la demi-largeur y; & j'ai $\frac{e}{3b}y^3dx$ pour le moment de chaque petit priſme élementaire par raport au point F, ou par raport à l'axe de la coupe du Navire faite à fleur d'eau: Et l'intégrale $\frac{e}{3b}Sy^3dx$.

Digitized by Google

sera le moment du petit solide entier BF*b*. Ainsi il ne reste plus qu'à diviser ce moment total par la somme de tous les petits prismes triangulaires, ou par le petit solide entier BF*b*; & le quotient $\frac{2Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ marquera, selon le principe général de Statique, la distance F1 du point F au centre de gravité 1 de ce solide BF*b*. On trouveroit de la même maniere la distance F2, si la carène étoit un corps irrégulier; mais comme les deux flancs de nos Navires sont toujours égaux, on n'a qu'à doubler F1, & on aura $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ pour la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 des deux solides BF*b*, & AF*a*. Fig. 54.

IV.

Maintenant qu'on connoît la solidité $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ de la petite partie BF*b*, & la distance $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ des centres de gravité 1 & 2, il ne manque plus que de connoître la solidité de la carène pour pouvoir faire l'analogie indiquée à la fin de l'Article II. la carène AEB est à la petite partie BF*b*, comme 12 est à Γγ. On trouvera toujours aisément par les moyens expliqués ci-devant, ou par les autres méthodes que fournit la Géométrie, cette solidité; & supposé que *p* la désigne, on aura donc $p \left| \frac{e}{2b}Sy^2dx \right\| \frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx} \left| \frac{2eSy^3dx}{3bp} \right.$; ce qui montre que le centre de gravité γ de la partie *a*E*b* qui sert de carène pendant l'inclinaison du Navire, est éloigné du centre de gravité Γ de la carène AE*b* de la distance $\frac{2eSy^3dx}{2bp}$. Enfin si l'on fait attention que le petit triangle Γgγ qui est formé par la distance Γγ des centres de gravité Γ & γ, & par les lignes ΓZ & γz, lesquelles servent de direction à la poussée de l'eau dans les deux situations du Navire, est semblable au petit triangle BFH, à cause que les trois côtés de l'un sont perpendiculaires aux trois cotés de l'autre, on aura cette der-

Fig. 54. niere proportion; $HB = e \mid FB = b \parallel \Gamma\gamma = \frac{2eSy^3dx}{3bp} \mid \Gamma g$. On en déduira cette formule, $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, qui apprend la plus grande hauteur Γg que peut avoir le centre de gravité du Navire au-dessus du centre de gravité Γ de sa carène.

Nous ne comptons pas comme une difficulté dans l'usage qu'on peut faire de cette formule, la nécessité où l'on est de trouver la valeur de l'intégrale Sy^3dx. Si l'on suposé que la tranche horisontale du Navire faite à fleur d'eau, ait 100 pieds de long, & que ses demi-largeurs mesurées à $12\frac{1}{2}$ pieds de distance les unes des autres, soient, en commençant par l'extrémité de la prouë, de 1 pied, de 9, de 12, de $13\frac{1}{2}$, de $13\frac{1}{2}$, de $12\frac{1}{2}$, de $11\frac{1}{2}$, de $9\frac{1}{2}$, & de $7\frac{1}{2}$, on trouvera aisément par la Méthode expliquée dans le second Chapitre de la Section précédente, l'intégrale Sy^3dx: car on aura 1, 729, 1728, $2460\frac{1}{2}$, $2460\frac{1}{2}$, $1953\frac{1}{2}$, $1520\frac{7}{8}$, $857\frac{7}{8}$, & $421\frac{7}{8}$ pour les neuf cubes y^3; & si on ajoute ensemble tous ces nombres, mais en ne faisant entrer dans l'addition que la seule moitié du premier & du dernier, & qu'on multiplie la somme par $12\frac{1}{2}$ qui est la distance d'une largeur à l'autre, il viendra 149006. Après cela il ne restera plus qu'à diviser les $\frac{2}{3}$ de ce nombre par la solidité p de la carène, pour avoir la hauteur Γg. Si cette solidité qu'on peut toujours trouver aisément, ou par les Méthodes précises que fournit la Géométrie, ou par les moyens mécaniques que nous avons donnés dans la Section précédente, est égale à celle d'un ellipsoïde de même longueur, de même largeur & de même profondeur, & que sa profondeur soit de 12 pieds; cette solidité sera de 16971 pieds cubiques, & on aura par conséquent $5\frac{33}{100}$ pieds pour la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité Γ de la carène. Supoſé de plus que ce dernier centre soit plongé dans l'eau de $4\frac{1}{2}$ pieds ou des $\frac{1}{8}$ de la profondeur, comme cela se trouve dans l'ellipsoïde, le point g qui est le terme ou

Digitized by Google

la limite de la plus grande hauteur du centre de gravité du Navire, ſera élevé d'environ 1 pied 4 pouces au-deſſus de la ſurface de la Mer.

V.

On pourra apliquer notre régle avec la même facilité à tous les Vaiſſeaux : mais on viendra à bout de la rendre plus ſimple, juſques-là qu'on pourra l'employer ſouvent ſans calcul, lorſque toutes les coupes verticales de la carène faites parallelement à AEB, ſeront des figures ſemblables. Si dans ce cas particulier, K eſt le centre de gravité de la coupe AEB, centre qu'il faut ici bien diſtinguer de celui Γ de la carène entiere, puiſque ce dernier réſulte de la diſpoſition ou de l'aſſemblage de tous les autres : notre formule ſe changera en $\Gamma g = \frac{12 F\Gamma \times \overline{FB}^2}{3FK \times AEB}$, ou ſe réduira à cette ſimple analogie ; le produit de la coupe AEB par la quantité FK, dont ſon centre de gravité K eſt plongé dans l'eau, eſt au $\frac{2}{3}$ du cube $\overline{FB}^3$ de la demi-largeur FB, comme la quantité FΓ, dont le centre de gravité de la carène eſt enfoncé dans l'eau, eſt à la hauteur Γg du métacentre g au-deſſus de ce dernier centre. Fig. 54.

Les Lecteurs un peu verſés dans la Statique, doivent voir déja l'origine de ce Théoreme, ou de cette ſeconde régle, dans la conformité qu'il y a entre l'expreſſion $\frac{2Sy^3 dx}{3\rho}$ de Γg, & celle qu'on ſçait qu'a FΓ, qui ne doit être dans la circonſtance préſente, que $\frac{Sy^3 dx}{\rho}$ affectée de quelques conſtantes. En effet, on peut trouver l'étenduë de toutes les coupes de la carène qui ſont paralleles à AEB par cette analogie ; le quarré $\overline{FB}^2$ de la demi-largeur FB eſt à l'étenduë de la coupe AEB, comme le quarré y^2 de toutes les autres demi-largeurs eſt à l'étenduë $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2$ des coupes correſpondantes. Et ſi après

Fig 54. avoir multiplié cette étenduë par l'épaiſſeur infiniment petite dx, qui eſt la diſtance d'une coupe à l'autre, pour avoir l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2}y^2dx$; on fait cette autre analogie fondée encore ſur la reſſemblance des coupes, la demi-largeur FB eſt à FK, ainſi la demi largeur y des autres coupes eſt à la quantité $\frac{FK}{EB}\times y$ dont leur centre de gravité eſt au-deſſous de la ſurface de l'eaû, & qu'on multiplie l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2}\times y^2dx$ par cette quantité $\frac{FK}{FB}\times y$, on aura $\frac{FK\times AEB}{\overline{FB}^3}\times y^3dx$ pour le moment de chaque élement par raport à la ſurface de l'eau; & l'intégrale $\frac{FK\times AEB}{\overline{FB}^3}Sy^3dx$ ſera le moment de toute la carène. Il faut enſuite, ſelon le principe de la Statique, diviſer ce moment par la ſolidité p, & le quotient $\frac{FK\times AEB\times Sy^3dx}{\overline{FB}^3\times p}$ marquera la quantité $F\Gamma$, dont le centre de gravité Γ de la carène eſt enfoncé dans l'eau. Mais on voit en comparant cette valeur avec celle de $\frac{2Sy^3dx}{3p}$ de Γg découverte ci-devant, qu'elles ſont l'une à l'autre comme $\frac{FK\times AEB}{\overline{FB}^3}$ eſt à $\frac{2}{3}$, ou comme $FK\times AEB$ eſt à $\frac{2}{3}\times\overline{FB}^3$; & qu'ainſi on peut faire la proportion mentionnée ci-devant, $FK\times AEB \mid \frac{2}{3}\times\overline{FB}^3 \parallel F\Gamma \mid \Gamma g$. De cette proportion on en déduit l'équation ou la formule $\Gamma g=\frac{\frac{2}{3}\times F\Gamma\times\overline{FB}^3}{FK\times AEB}$ dont on peut retrancher, ſi on le veut, $F\Gamma$; & il viendra $Fg=\frac{\frac{1}{3}F\Gamma\times\overline{FB}^3-F\Gamma\times FK\times AEB}{FK\times AEB}$ qui exprime la plus grande hauteur que peut avoir le centre de gravité du Navire au-deſſus de la ſurface de l'eau.

CHAP.

CHAPITRE IV.

Application des formules précédentes à quelques figures, & premierement au Navire formé en parallelipipede rectangle.

I.

AFIN de ne pas laiſſer ce que nous venons de dire, ſans quelque application, propoſons-nous d'abord la figure la plus ſimple de toutes; propoſons-nous un Bâtiment formé en parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé, ou comme les deux Navires que fit bâtir au commencement de l'autre ſiécle Pierre Janſſe de Horne, leſquels étoient peu différens des Vaiſſeaux Chinois. Toutes les coupes verticales de la carène ſeront non-ſeulement ſemblables, mais égales; ce qui ſera cauſe que les centres K & Γ ſeront exactement les mêmes : D'un autre côté l'étenduë de la coupe AEB (Fig. 56.) ſera le produit de la largeur AB par ſa hauteur FE; & introduiſant ce produit à la place de AEB; & $\frac{1}{2}$ FE à la place de FΓ dans la formule $\Gamma g = \frac{\frac{1}{2}F\Gamma \times \overline{FB}^2}{FK \times AEB}$, on la changera en $\Gamma g = \frac{\frac{1}{2}FE \times \overline{EB}^3}{\frac{1}{2}FE \times AB \times FE} = \frac{\overline{FB}^2}{\frac{3}{2}FE}$. Fig. 56.

Ainſi pour trouver dans un pareil Navire la plus grande hauteur Γg à laquelle on peut mettre ſon centre de gravité au-deſſus du centre de gravité ou du milieu Γ de la carène; il n'y a qu'à faire cette ſimple analogie, *le triple de la profondeur* FE *de la partie ſubmergée eſt à ſa demi-largeur* FB, *comme cette même demi-largeur eſt à la hauteur requiſe* Γg. S'il s'agiſſoit en particulier de l'Arche de Noé, dont la la largeur étoit de 50 coudées, & qu'on ſupoſât que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du déluge de 10 coudées, on trouvera que le métacentre *g* étoit élevé de $20\frac{1}{3}$ coudées au-deſſus du centre de gravité de la carène;

Digitized by Google

& par conſéquent de $15\frac{1}{8}$ au-deſſus de la ſurface de la Mer, & de $25\frac{5}{8}$ au-deſſus du fond de la cale. Il étoit difficile que le centre de gravité ſe trouvât porté à une ſi grande élevation; puiſque toute l'Arche n'avoit que 30 coudées de hauteur, & qu'on eut ſans doute l'attention de mettre en bas les choſes les plus peſantes. Ainſi l'inclinaiſon de ce Bâtiment ne pouvoit jamais devenir trop grande; il n'y avoit rien à craindre de ce côté pour les précieux reſtes du genre humain.

II.

Déterminer le Métacentre, lorſque toutes les coupes de la Carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des triangles.

Si les coupes AEB de la carène (Fig. 54.), au lieu d'être
Fig. 54. des rectangles, ſont de ſimples triangles, comme nous croyons qu'il ſeroit avantageux qu'elles le fuſſent dans les Corvettes, il ſera tout auſſi facile de déterminer le métacentre. Ne conſiderons, pour plus de ſimplicité, qu'un ſeul triangle, & ſupoſons qu'il eſt rectangle en E, ou que ſa baſe AB qui ſe trouve dans la ſurface de l'eau, eſt double de ſa hauteur FE; ſon étenduë AEB ſera égale au quarré de AF ou de FB, & les centres K & Γ concourront dans le même point, & ſe trouveront au tiers de FE. Ainſi la formule $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{F\Gamma \times \overline{FB}^3}{FK \times AEB}$ ſe changera en $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{FB^3}{FB^2} = \frac{2}{3}$ FB, ce qui nous aprend cette proprieté ſinguliere du triangle rectangle, *que ſon métacentre eſt autant au-deſſus de la ſurface de l'eau que ſon centre de gravité eſt au-deſſous.*

Si nous conſiderons donc maintenant une carène faite en conoïde ou en ſphéroïde triangulaire, formé de triangles rectangles verticaux, arrangés, tout le long de ſon axe ſupoſé horiſontal, nous aurons autant de métacentres que de triangles, & tous ces points formeront une ligne courbe qui ſera ſituée préciſément de la même maniere

Digitized by Google

par raport à la ſurface de l'eau, mais en deſſus, que le ſera en deſſous la ligne courbe que forment tous les centres de gravité des triangles. Mais de même que de tous les centres de gravité il s'en forme un qui eſt le centre de gravité commun, tous les métacentres doivent auſſi ſe réduire à un ſeul qui ſera le métacentre commun, & qui doit être encore placé au-deſſus de l'eau, comme l'autre point l'eſt au-deſſous. Ainſi on voit cette vérité qui peut devenir très-importante, que, *lorſque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des triangles rectangles qui ont leur angle droit en bas, le métacentre eſt élevé au-deſſus de la ſurface de l'eau, préciſément de la même quantité dont le centre de gravité de la carène ſupoſée homogène, eſt plongé au-deſſous de la même ſurface.* Si tous les triangles donnent à la proüe & à la poupe une figure exactement piramidale, ou que toute la carène ſoit elle-même une piramide quadrangulaire, dont le ſommet eſt en bas, le métacentre dans ce cas particulier, ſera donc élevé au-deſſus de la ſurface de la Mer d'une quantité égale au quart de la profondeur de la carène, ou de la huitiéme partie de ſa plus grande largeur.

III.

Trouver le Métacentre, lorſque le Navire eſt un ellipſoïde.

Nous prendrons pour troiſiéme exemple, un Navire, dont toutes les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des ellipſes ſemblables, ou dont le corps entier de la carène eſt un ellipſoïde. On pourra ſouvent attribuer cette figure aux Vaiſſeaux, quoiqu'on ne le puiſſe pas faire également, lorſqu'il s'agit de la viteſſe de leur ſillage, ou de quelqu'autre proprieté de leur mouvement, qui tient à des circonſtances plus délicates. On doit cette différence à la relation étroite qu'il y a entre la recherche préſente, & la détermination des centres de gravité. On ſçait que ces

ſortes de centres ne reçoivent que très-peu de changement, quoiqu'on change aſſez conſidérablement les figures auſquelles ils appartiennent.

Si on prend r & q pour exprimer le raport du rayon du cercle au quart de ſa circonference, & qu'on cherche
Fig. 54. l'étenduë AEB (Fig 54.) par raport au rectangle de AB par EF, & les quantités FK & FΓ par raport à FE, on aura $AEB = \frac{q}{2r} AB \times FE = \frac{q}{r} FB \times EF$; $FK = \frac{2r}{3q} FE$, & $F\Gamma = \frac{1}{6} FE$; & introduiſant ces valeurs dans la formule $Fg = \frac{\frac{3}{4} F\Gamma \times \overline{FB}^{\frac{1}{2}} - F\Gamma \times FK \times AEB}{FK \times AEB}$, on la changera en cette autre $Fg = \frac{1}{6} \times \frac{\overline{FB}^{\frac{1}{2}} - \overline{FE}^{\frac{1}{2}}}{\overline{FE}^{\frac{1}{2}}}$, qui eſt, comme on le voit, extrémement ſimple.

Il ne ſera donc pas difficile, lorſque la carène ſera un ellipſoïde, de déterminer le *métacentre g*, au-deſſous duquel la ſureté de la Navigation exige que le centre de gravité du Vaiſſeau ſoit toujours. *Après avoir pris les trois huitiémes de l'excès du quarré de* FB, *demi-largeur de la carène ſur le quarré* $\overline{FE}^2$ *de la profondeur, il n'y aura qu'à le diviſer par la profondeur même, & il viendra au quotient la quantité* Fg, *dont le point* g *ſera au-deſſus de la ſurface de l'eau.* Ce point ſera au-deſſus de la ſurface de la Mer, lorſque Fg ſera poſitive; ce qui arrivera, quand FB ſera plus grande que FE, ou que la largeur de la carène ſera plus grande que le double de la profondeur. Le point g ſera au-deſſous de la ſurface de l'eau, lorſque Fg ſera négative, ou lorſque la demi-largeur FB ſera moindre que la profondeur FE. Enfin, le point g ſera dans la ſurface même de l'eau, quand Fg ſera nulle; ce qui arrivera, lorſque la demi-largeur de la carène ſera exactement égale à la profondeur, ou lorſque la coupe AEB ſera un demi-cercle; & c'eſt ce qui eſt conforme à ce que nous ſçavions déja.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Recherches plus étenduës ſur les Métacentres, & ſur la ligne courbe que forment ces points, lorſque le Navire s'incline.

MAIS quoique les Recherches précédentes ſoient utiles, nous ne devons pas diſſimuler qu'elles ne ſuffiſent pas encore pour nous raſſurer entierement ſur nôtre état; parce que la ſolution que nous avons donnée, eſt limitée au cas trop particulier, dans lequel le Navire n'eſt expoſé tout au plus qu'au choc irrégulier de quelques molecules d'eau ou d'air. S'il étoit ſujet à l'action d'une puiſſance un peu conſidérable, il ſe pancheroit d'une quantité finie, & il pourroit arriver que la direction yz (Fig. 54.) paſſât enſuite au-deſſous du point g, qui n'a été déterminée que dans le cas de l'inclinaiſon infiniment petite. Si après cela yz paſſoit auſſi au-deſſous du centre de gravité G, il eſt clair que la pouſſée verticale de l'eau travailleroit à faire incliner le Navire, & qu'il verſeroit infailliblement. On n'a que trop ſouvent des exemples de ce dangereux accident. Certains Navires conſervent bien leur ſituation horiſontale tant qu'ils ſont dans le Port : mais auſſi-tôt que quelque puiſſance un peu forte, comme l'impulſion du vent ſur les voiles, les fait pancher d'une quantité un peu grande, ils ne ſe relevent que très-difficilement; & ce qui eſt le comble du malheur, puiſqu'il faut périr, ils continuent quelquefois à s'incliner, quoique la cauſe qui a fait commencer leur inclinaiſon, ceſſe d'agir. Ainſi il eſt abſolument néceſſaire, pour une parfaite ſureté de la Navigation, d'examiner ſi le métacentre ne deſcend pas, à meſure que le Navire perd ſa ſituation horiſontale. Fig. 54.

On a prouvé à la fin du premir article du Chapitre III.

Digitized by Google

Fig. 54. que le Navire ne peut pas s'incliner, ſans que le centre de gravité de la partie ſubmergée change de place, en avançant vers le côté de l'inclinaiſon, & que la petite diſtance des deux centres de gravité, eſt parallele à la ſurface de l'eau. La démonſtration qu'on a donnée eſt générale, & convient auſſi-bien au cas où la carène eſt un corps irrégulier des deux côtés, que lorſqu'elle a une figure réguliere. Il ſuit de-là que les centres de gravité de toutes les différentes parties ſubmergées, lorſque le Navire eſt en différentes ſituations, ſont ſur une ligne courbe ΓH (Fig. 57 & 58.) dont chaque petite partie eſt parallele à la ſurface de l'eau dans chaque ſituation. C'eſt-à-dire que lorſque le Navire eſt de niveau, & que AEB eſt la partie ſubmergée, le centre de gravité de cette partie eſt en Γ, & la petite partie Γγ de la courbe ΓH, eſt parallele à la ſurface AB de l'eau, comme on l'a démontré. Mais ſi le Navire, en s'inclinant de plus en plus, ſe plaçoit de ſorte que *AB* ſe trouvât horiſontale & dans la ſurface de l'eau, le centre de gravité Γ, après avoir paſſé par tous les points de la courbe ΓH, & avoir toujours avancé parallelement à la ſurface de l'eau dans chaque ſituation, ſe trouveroit en H, & la petite partie de la courbe qui eſt en cet endroit, ſeroit encore parallele à *AB*. Ainſi lorſque la pouſſée verticale de l'eau ſe réünit dans le centre de gravité H de la partie ſubmergée *AEB*, & qu'elle s'exerce ſelon une ligne exactement verticale HP ; cette direction HP, qui eſt perpendiculaire à la ſurface *AB* de l'eau, le doit être auſſi à la courbe ΓH au point H. C'eſt la même choſe dans toutes les autres ſituations ; de ſorte que c'eſt un Théoreme général que *la pouſſée de l'eau agit toujours ſelon les perpendiculaires à la courbe qui eſt le lieu géométrique des centres de gravité dans leſquels elle ſe réunit.* Il eſt clair auſſi que toutes ces directions doivent former en haut par leur concours une autre courbe NgM, qu'on peut nommer *métacentrique*, dont nous ne connoiſſons encore que le point *g*, & qui eſt la dévelopée de la courbe ΓH.

Digitized by Google

Ainſi ſi on ſe propoſoit un certaiun Vaiſſeau OEC (Fig. 56, 57 & 58.) & qu'on voulût ſçavoir ſi on y ſera en ſureté, après avoir mis ſon centre de gravité au-deſſous du point *g* déterminé par la Méthode du Chapitre III. il faudroit chercher d'abord toutes les parties comme *AEB*, qui ſont égales en ſolidité à la carène AEB. Dans la ſupoſition que la carène fût un parallelipipede rectangle, comme dans la Figure 56, & pourvû que ſes angles inférieurs ne ſortiſſent pas de l'eau par la grandeur de l'inclinaiſon, les lignes droites AB, *AB*, &c. qui retranchent les parties ſubmergées AEB, *AEB*, &c. de même ſolidité, paſſeroient toutes par le même point F: au lieu que ſi les deux flancs OE & CE, étoient des lignes droites qui formaſſent un angle en E au fond de la carène, les droites *AB*, AB, &c. qui retranchent des ſegmens de même étenduë, ſeroient tangentes à une hyperbole, qui auroit les deux droites OE & CE pour Aſymptotes; & le point d'atouchement ſeroit au milieu de ces lignes *AB*, AB; parce qu'il eſt toujours dans le centre de gravité des lignes droites, ou des plans qui retranchent les ſegmens de même étenduë, ou de même ſolidité. Fig. 56, 57, & 58.

On chercheroit enſuite *le lieu* ΓγH des centres de gravité de tous ces ſegmens, ou parties égales *AEB*, AEB, &c. ce qu'on pourroit faire en cherchant la diſtance de ces centres à la ligne EZ, & à une autre ligne perpendiculaire. Lorſque les flancs OE & CE ſeront des lignes droites, & que la courbe F*F* qui touche continuellement la ſurface de l'eau, ſera une hyperbole, la courbe ΓγH ſur laquelle ſe trouve tous les centres de gravité Γ, γ, H, &c. ſera auſſi une hyperbole. Pour le dire plus généralement; (car les flancs de la carène en lignes droites, n'ont cette proprieté que parce qu'ils forment un angle qu'on peut regarder comme une hyperbole, dont l'axe déterminé eſt infiniment petit;) toutes les fois que OEC ſera une ſection conique, F*F* en ſera auſſi une aſymptotique de la premiere, & la courbe ΓγH en ſera encore

Fig. 56, 57 & 58. une asymptotique des deux autres. Or la question sera réduite après cela à la Géométrie pure; puisqu'il ne s'agira que de chercher la situation des perpendiculaires à la courbe ΓH, & de découvrir les symptomes de sa dévelopée, la *métacentrique* NgM, dont on connoit déja le point *g;* de sçavoir si cette dévelopée monte ou descend, & de découvrir tous les points où elle coupe l'axe.

Nous n'insistons pas sur le cas trop simple, dans lequel la coupe OEC est un cercle; il est évident que *le lieu* des centres de gravité Γ, γ, est alors un cercle concentrique, & que la *métacentrique* se réduit à un seul point *g*. Mais le Problême se trouve déja résolu dans le peu qu'on vient de dire pour toutes les figures dont il a été question. Si les deux flancs OE & CE de la carène sont des lignes droites qui forment un angle en E, ou plus généralement, si les deux flancs sont formés par une hyperbole, dont E est le sommet, les centres de gravité de toutes les parties submergées, formeront une hyperbole; & sur ce qu'on sçait de la dévelopée de cette courbe, on peut assurer que la poussée de l'eau s'exercera sur des directions qui couperont l'axe EZ dans des points toujours plus élevés; & qu'ainsi cette puissance acquerera de plus en plus une plus grande force relative pour s'opposer à l'inclinaison, ou pour relever le Navire. La même chose arrivera lorsque la carène aura la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé. Car il est facile de s'asseurer que *le lieu* des centres de gravité des parties submergées, est une parabole, dont on sçait que la dévelopée va toujours en s'éloignant de l'axe & du sommet. Si la carène est un ellipsoïde, & que la coupe AEB faite perpendiculairement à sa longueur, soit un ellipse, dont le grand axe soit vertical, tous les centres de gravité des parties submergées seront aussi sur une ellipse, dont la dévelopée sera encore disposée de la façon convenable. Mais comme le premier point *g* qui servira d'origine aux deux branches de la dévelopée ou de la *métacentrique*, seroit souvent trop bas, on pourroit, au lieu de donner

donner à la coupe AEB la forme d'une demi-ellipſe, lui donner la figure d'un ſegment plus petit que la moitié. On ſeroit obligé de s'engager pour la plûpart des autres figures, dans des diſcuſſions longues & difficiles : mais on peut ſe contenter preſque toujours d'examiner la choſe généralement. Fig. 17.

La Méthode que nous avons expliquée dans le Chapitre III. pour trouver la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité de la partie ſubmergée de la carène, eſt d'ailleurs aplicable dans tous les cas. Il n'y a toujours qu'à conſiderer le plan de la flotaiſon ou de la tranche du Navire faite à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt incliné : l'axe ou le plus grand diametre de ce plan, ne le partagera plus par la moitié, vû ſon irrégularité ; mais il faudra faire paſſer cet axe par le centre de gravité F du plan, afin que les deux petits ſolides, celui qui entre dans l'eau & celui qui en ſort, & qui ſont repréſentés par *a*FA & BF*b*, ſoient toujours égaux, & que la ſolidité de la partie ſubmergée de la carène ſoit exactement la même, lorſque le Navire eſt incliné, & lorſqu'il l'eſt un peu plus. Si on déſigne après cela par deux différentes lettres y & v, toutes les lignes AF & BF, qui ſont comme les demi-largeurs de la carène des deux côtés de l'axe, les deux quantités déſignées par Sy^3dx, ne ſeront plus égales ; pendant que cette expreſſion ſera bonne pour un des côtés de l'axe, on aura Sv^3dx pour l'autre : & ſi on fait le calcul tout au long, au lieu de $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, on trouvera $\Gamma g = \frac{Sdx \times y^3 + v^3}{3p}$; formule dans laquelle dx marque toujours les parties infiniment petites de la longueur du Navire, & p la ſolidité de ſa partie ſubmergée entiere.

Enfin il réſulte principalement des réflexions précédentes, que tant qu'on ne travaillera pas à procurer aux Navires une ſituation conſtamment horiſontale, en diſpoſant leur mâture ſelon les régles que nous en avons données ailleurs, & que nous donnerons encore d'une maniere ſuccinte dans le Livre ſuivant ; il ne ſuffit pas, com-

Digitized by Google

Fig. 57. me on le fait maintenant dans la Marine, de mettre l'endroit le plus gros du Navire à fleur d'eau, ou très-peu au-deſſus : mais qu'on doit faire enſorte que la carène augmente de largeur, ou qu'elle conſerve au moins la même juſqu'à l'endroit où elle enfonce dans l'eau, lorſque le Navire s'incline le plus. L'inclinaiſon peut aller juſqu'à 10 ou 12 degrez, & même plus loin dans les petits Navires, lorſque le vent charge les voiles avec force. Nous ſouhaiterions donc que la partie *A*A des flancs du Vaiſſeau qui eſt alors ſujette à entrer dans la Mer, & qui eſt de 4 ou 5 pieds dans les Vaiſſeaux du premier rang, & de 3 ou 4 dans les Navires de deux à trois cens tonneaux, ou fût preſque droite, ou qu'elle eût quelque ſaillie en dehors ; & que ce ne fût qu'au-deſſus du point *A* que le flanc commençât à rentrer en-dedans, & le Navire à ſe retrecir. Par ce moyen la courbe ΓH deviendroit à peu près une hyperbole, ou au moins une parabole vers les deux extrémités, & les branches *g*N, *g*M de la métacentrique N*g*M qui en ſeroit la dévelopée, iroient en montant au-deſſus du métacentre *g*. Toutes les fois que l'inclinaiſon augmenteroit, le centre de gravité du Vaiſſeau s'écarteroit enſuite de la direction HP de la pouſſée de l'eau, pendant que cette direction s'éloigneroit en ſon particulier de ce centre par ſon progrès vers le côté de l'inclinaiſon ; & tout contribueroit donc à rendre plus long le bras du levier auquel eſt apliquée cette force avec laquelle l'eau pouſſe continuellement en haut. Nous convenons que le changement que nous indiquons, & auquel on ſe trouve également conduit par toutes les remarques qui tendent à perfectionner les autres parties de la conſtruction, fera dans les commencemens perdre aux Vaiſſeaux beaucoup de leur grace aux yeux des Marins ; mais à cela on ne ſçauroit que faire ; la Géométrie eſt une ſcience impérieuſe, & c'eſt à nous à trouver beau tout ce qu'elle nous preſcrit.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Reconnoître ſi dans les Vaiſſeaux qu'on ſe propoſe de conſtruire, le centre de gravité ſera effectivement au-deſſous du métacentre, ou du terme qu'on vient de déterminer.

SI on veut maintenant tirer la plus grande utilité poſſible pour la pratique de la Théorie expliquée dans les Chapitres précédens, il faut chercher par la diſcuſſion de toutes les parties du Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire, la ſituation qu'aura ſon centre de gravité. Ce centre doit être néceſſairement au-deſſous du métacentre, ou au-deſſous de ce terme qu'on connoît déja, ou qu'on a au moins les moyens de connoître. Mais eſt-il ſur qu'il y ſera réellement; & n'eſt-ce pas une choſe trop importante pour ne pas l'examiner avec ſoin: au lieu d'attendre, comme on y a été réduit juſqu'à préſent dans la Marine, que le bon ou le mauvais ſuccès fît connoître ſi les meſures qu'on avoit priſes, étoient juſtes ou fauſſes? Il n'eſt plus queſtion ici du Navire conſideré comme un corps Géométrique ou homogène, ni de la peſanteur qu'il doit avoir par raport au volume d'eau dont il occupera la place; mais de celle qu'il aura effectivement par l'aſſemblage de ſes membres, & de toutes les parties hétérogènes qui doivent le compoſer.

Le détail dans lequel il faut entrer, & qui paroît immenſe, peut d'abord effrayer; mais outre qu'il n'a d'autre difficulté que ſa longueur, il s'en faut beaucoup qu'il ſoit auſſi long qu'on eſt porté à le croire à la premiere vûë. Toutes les parties du Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire, ſont comptées, leurs dimenſions ſont déterminées d'avance, & s'il faut des jours & des ſemaines à un grand nombre d'Ouvriers pour achever de donner à chacune la

forme qu'elle doit avoir, il ne faut, à l'aide d'un Plan, ou d'un Devis exact, qu'un inſtant au Géométre exercé pour trouver la ſolidité & la peſanteur de ces mêmes piéces. Il peut mettre enſemble toutes celles qui ſont de même eſpece; joindre tous les baux, chercher en même tems la ſolidité de toutes les courbes, de tous les bordages; faire une ſomme de la peſanteur de tous les Canons de la même baterie. On peut s'aider dans tout cela des Tarifs qu'on a déja dans tous les Ports: on examinera en même tems le centre de gravité de chaque piéce; & on réuſſira de cette ſorte avec aſſez peu de travail, à réſoudre un des Problêmes, dont la ſolution peut contribuer le plus à perfectionner la conſtruction.

Mais on verra après tout, comme je viens de le dire, que la difficulté n'eſt pas ſi grande qu'elle paroît d'abord. C'eſt ce que j'ai reconnu, après en avoir fait l'eſſai ſur une Frégate que j'ai vû conſtruire au Havre-de-Grace, & enſuite ſur différens Vaiſſeaux, en ſupoſant les dimenſions que je ſçai qu'on leur donne le plus ordinairement. La Frégate dont je parle, nommée la Gazelle, avoit 80 pieds de quille, & 25 pieds de bau, ou de plus grande largeur. On avoit déja commencé à la conſtruire, lorſque je travaillai à l'examen dont je vais rendre compte: mais elle n'étoit encore, pour parler en terme d'art, formée qu'en *bois torts*; c'eſt-à-dire qu'elle n'avoit que ſes membres, ſans avoir de bau ni de bordage.

De la peſanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy, nommée la Gazelle.

La quille de cette Frégate avoit 1 pied de largeur & $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ou d'épaiſſeur moyenne; ce qui, avec les 80 pieds de longueur, donne 90 pieds cubiques de ſolidité. Les deux parties de la contre-quille étoient de $29\frac{1}{2}$ pieds cubiques; l'étambot avoit 22 pieds de hauteur ſur 12 pouces d'épaiſſeur & 15 pouces de largeur moyenne, ce qui faiſoit $27\frac{1}{2}$ pieds cubiques. Le contre-étambot étoit de 11 pieds cubiques: La courbe qui ſert

à lier cette piéce avec la quille, de 9 pieds; la liſſe d'hourdy de 26 $\frac{1}{2}$. Les 10 montans d'écuſſon, dont la longueur moyenne étoit de 5 pieds ſur 15 pouces en quarrés, étoient enſemble de 110 pieds cubiques, & les eſtains de 57. L'étrave étoit de 25 pieds cubiques: la contre-étrave de 11 $\frac{3}{4}$, & les huit alonges d'écubier étoient de 99 pieds. Enfin il y avoit 58 couples qui avoient 52 pieds de contour moyen, en comprenant les varangues, les genoux & les alonges; elles avoient 1 pied de largeur moyenne, & un demi-pied d'épaiſſeur; de ſorte qu'elles étoient enſemble de 1508 pieds cubiques. Or toutes ces parties ſont 2005 pieds cubiques, & c'eſt dont la quantité de *bois net** qui entroit dans la conſtruction de la Frégate dont il s'agit, lorſqu'elle n'avoit encore que ſes membres, & qu'elle n'avoit ni bau ni bordage.

Il ne me reſtoit plus après cela, pour découvrir la peſanteur de la Frégate dans l'état où elle étoit, qu'à ſçavoir le poids du pied cubique de bois de chêne. Savot a trouvé qu'il peſe 60 livres; mais lorſque ce bois eſt bien nourri, il peſe le plus ſouvent 66 ou 68 livres, & je me ſerviraí de 66, parce que c'eſt le poids moyen que j'ai trouvé, en faiſant peſer pluſieurs piéces dont je connoiſſois exactement la ſolidité. Les 2005 pieds cubiques peſoient donc 132330 livres; mais il faut encore ajouter 2029 pour le fer qu'on avoit employé en chevilles & en goujons, qu'on avoit eu le ſoin de peſer exactement chaque fois. Ainſi c'eſt en tout 134359 livres, ou un peu plus de 67 tonneaux. Il eſt bon de ſçavoir que tant que les Navires ne ſont encore qu'en bois tords, il n'y a gueres qu'une livre ou une livre & demie de fer pour chaque pied cubique de bois; mais que comme on eſt enſuite obligé de le multiplier, en mettant une grande quantité de cloux pour tenir les bordages & les autres piéces, il ſe trouve à la fin de tout l'ouvrage, qu'il y a au moins deux livres ou deux livres & demie de fer pour chaque pied cubique. De ſorte que celui qui entre dans la conſtruction d'un Vaiſſeau, augmente au moins ſa peſanteur

* Il faut de bois *brut* une moitié de plus; c'eſt-à-dire que pour tirer 2000 pieds cubiques de bois travaillé, il faut en employer environ 3000. Mais les Ouvriers commettent ſouvent ſur cela de grands abus, parce qu'il eſt d'uſage que les copeaux leur appartiennent.

Digitized by Google

d'une trentiéme partie. Ce n'eſt pas tout-à-fait la même choſe en Angleterre ; car l'uſage s'y eſt introduit d'employer beaucoup de chevilles de bois dans la conſtruction de certains Navires.

Si l'on fait le même calcul pour des Vaiſſeaux de 120 & de 140 pieds de quille, on verra qu'ils ſont plus peſans à proportion; ce qui vient de ce que leurs membres & les autres parties ſont non-ſeulement formées de plus groſſes piéces de bois; mais de ce qu'il y en a auſſi un plus grand nombre. Si la proportion des cubes étoit exactement obſervée, un Vaiſſeau dont la quille eſt de 120 pieds, ne devroit avoir que 6767 pieds cubiques de bois tords, à proportion de la Frégate de 80 pieds de quille, qui en a 2005; mais il en entre plus de 8000 pieds dans la conſtruction d'un pareil Vaiſſeau. La différence ſe manifeſte encore davantage à la fin de tout l'ouvrage; les Vaiſſeaux qu'on appelle du premier & du ſecond rang, ayant toujours trois ponts, au lieu que les autres n'en ont que deux, & quelquefois qu'un; ce qui doit certainement empêcher que leur peſanteur ſuive des degrés réglés. Ainſi quand même il ſeroit poſſible que les Conſtructeurs s'accordaſſent à donner les mêmes groſſeurs aux piéces de bois, ce ne ſeroit toujours qu'en comparant les ſeuls Vaiſſeaux de même claſſe, qu'on pourroit juger de la peſanteur de l'un par celle de l'autre.

Mais pour revenir à notre Frégate, on peut ſuputer avec la même facilité la ſolidité & la peſanteur de toutes les autres piéces qui entrent dans ſa conſtruction, comme des baux, des courbes, des bordages, &c. & on ſçaura donc de cette ſorte la peſanteur qu'elle aura dans tous ſes différens états, comme lorſqu'elle eſt prête à lancer à l'eau, ou lorſqu'elle eſt entierement conſtruite. Pour pouvoir la mettre à l'eau, il faut au moins que le bordage ſoit pouſſé juſqu'à la hauteur du pont. Elle peſera alors au moins 100 tonneaux; mais elle pourra peſer davantage : car ſi les Conſtructeurs n'attendent jamais que leurs Navires ſoient entierement achevés pour les

Digitized by Google

mettre à la Mer, il dépend d'eux de laiſſer plus ou moins d'ouvrage à faire. Enfin ſi on entre dans le détail de la ſolidité de toutes les piéces, on verra qu'il faut, pour achever la Frégate, environ 4180 pieds cubiques de bois, dont il y en aura environ une dixiéme partie de ſapin. La peſanteur de ce dernier bois eſt beaucoup plus variable que celle de chêne, à cauſe du plus ou du moins de réſine qu'il contient. Quelques perſonnes ont trouvé qu'il peſe 40 ou 44 livres le pied, au lieu que dans quelques expériences que j'ai faites, j'ai trouvé qu'il peſoit ſeulement 35 livres. J'ai pris le milieu: & il m'eſt venu 267212 livres ou 133 $\frac{1}{2}$ tonneaux pour la peſanteur des 3762 pieds pieds cubiques de chêne & des 418 de ſapin; à quoi ajoutant une trentiéme partie pour la peſanteur du fer, il vient 138 tonneaux pour le poids total du Navire, lorſqu'il eſt entierement conſtruit, & qu'il ne lui manque plus que ſa mâture.

On peut ſçavoir également la peſanteur des mâts, des vergues & de tous les agréils. La mâture eſt preſque toujours de ſapin, & on peut, pour la facilité des calculs, ſupoſer que chaque mât eſt un tronc de conoïde parabolique, quoique les côtés ſoient pour l'ordinaire des portions d'ellipſes. Le grand mât devoit avoir, ſelon les régles vulgaires, 63 ou 64 pïeds de hauteur. Son diamétre au travers du pont, devoit être de 18 $\frac{1}{4}$ pouces, & à ſon ſommet de 12 $\frac{1}{2}$ pouces. Si on cherche l'étenduë des deux cercles qui ont ces diametres, & ſi prenant une étenduë moyenne, on la multiplie par 63 pieds de longueur du mât, on verra que ſa ſolidité eſt d'environ 87 pieds cubiques, & qu'il peſe environ 3480 livres. Faiſant la même choſe pour tous les autres mâts, & pour les vergues dont on peut conſiderer auſſi chaque moitié comme un tronc de conoïde parabolique, dont une des baſes n'a de diametre que le tiers de l'autre, on trouvera que toute la mâture peſe environ 8 tonneaux.

Toutes les manœuvres ont de même leur longueur & leur groſſeur déterminées. Cette groſſeur s'exprime ordi-

Digitized by Google

nairement dans la Marine par la circonference du cordage mesurée en pouces, & j'ai remarqué, comme je l'ai déja dit dans le premier Livre, que la pesanteur moyenne en livres qu'a un pied de cordage, est égale à la vingt-cinquiéme partie du quarré de sa grosseur, ou que la pesanteur de 5 brasses (c'est-à-dire de 25 pieds) est égale au quarré même de la grosseur. Si un cordage a, par exemple, 10 pouces de circonference, une portion longue de 5 brasses, ou de 25 pieds, pesera 100 livres, qui est le quarré de 10; & une portion d'un pied pesera seulement 4 livres, qui est la vingt-cinquiéme partie de ce quarré. Cette régle qui est assez exacte pour tous les cordages qu'on fait en France, peut tenir lieu de Tarif, & si on l'applique à toutes les manœuvres de la Frégate que nous examinons, on trouvera que le poids de ses agréils, y compris les cables, est d'environ 20 tonneaux. Enfin, ajoutant encore 4 pour la pesanteur des ancres qu'on peut toujours connoître très-exactement, il viendra 170 tonneaux pour la pesanteur totale de la Frégate, sa mâture & tous ses agréils compris.

Détermination du centre de gravité de la même Frégate.

En même tems qu'on fera les calculs précédens, on pourra chercher la situation du centre de gravité. Il faut, pour découvrir cette situation par raport à un certain terme, multiplier, comme nous l'avons deja dit, la pesanteur de chaque partie par la distance particuliere de son centre de gravité à ce terme, & diviser la somme de tous ces produits ou momens, par la somme des pesanteurs.

Comme on prend ordinairement pour la hauteur de toutes les parties du Vaisseau, la quantité dont elles sont élevées au-dessus de la quille, on peut se servir de cette même hauteur pour découvrir le centre de gravité. On multipliera donc la pesanteur de chaque partie par sa hauteur au-dessus de la quille : on rassemblera le plus qu'on pourra, plusieurs parties ensemble, afin d'abréger l'opération,

Digitized by Google

tion; on joindra, par exemple, tous les baux, & comme ils ne sont pas tous également élevés au-dessus de la quille, on prendra leur hauteur moyenne. Enfin faisant une somme de tous ces produits, il ne restera plus qu'à la diviser par celle des pesanteurs, & on aura la hauteur du centre de gravité. Je l'ai trouvée par cette méthode pour la Gazelle de $7\frac{1}{6}$ pieds, lorsque cette Frégate est sans agréil, & qu'on ne considere que son propre corps qui pese 138 tonneaux.

En mâtant la Frégate, & en lui donnant toutes ses manœuvres, le centre de gravité ne peut pas manquer de s'élever considérablement. Celui des cordages est au milieu de leur longueur: mais comme les mâts ne sont pas de même grosseur par leur sommet que par le bas, leur centre de gravité n'est pas tout-à-fait au milieu de leur hauteur; & il doit se trouver aux $\frac{17}{30}$, s'il est permis de les considerer comme des troncs de conoïdes paraboliques, qui n'ont en haut que les $\frac{2}{3}$ du diametre qu'ils ont en bas. On pourroit chercher séparément combien chaque partie des agréils fait changer le centre de gravité total, en partageant la distance de ce centre au centre particulier de chaque partie réciproquement aux poids. Mais il vaut mieux, ce me semble, employer la méthode générale, en cherchant toujours les momens par raport à la quille prise pour terme. Tout le corps du Bâtiment pese 138 tonneaux, & son centre de gravité est élevé de $7\frac{1}{6}$ pieds au-dessus de la quille; son moment est donc de 989: mais celui de la mâture & de toutes les manœuvres sera presque aussi grand, malgré leur peu de pesanteur, parce qu'elles sont extrémement élevées au-dessus de la quille par raport aux autres parties. Je trouve 925 pour leur moment particulier, lequel ajouté à 989, donne 1914 pour le moment total qu'il ne reste plus qu'à diviser par la pesanteur du Vaisseau & de ses agréils, qui en tout est de 170 tonneaux, & il viendra $11\frac{44}{170}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité du Navire, lorsqu'il est mâté, & qu'il a tous ses apparaux.

L'Artillerie peſera environ 20 tonneaux, & ſi on multiplie ſon poids par ſa hauteur au-deſſus de la quille, qui doit être à très-peu près de $15\frac{1}{4}$ pieds, on aura ſon moment 305; & ſi on l'ajoute à celui 1914 de la Frégate entiere, il viendra 2219 pour la ſomme, qu'il ne reſtera plus qu'à diviſer par celle des poids; c'eſt-à-dire par 170 tonneaux, augmentés de 20. On trouvera à très-peu près $13\frac{1}{19}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité au-deſſus de la quille, lorſque la Frégate a ſon artillerie montée, & qu'elle a outre cela toutes ſes manœuvres.

Cette hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds eſt ſans doute trop grande, & la Frégate ne pourroit pas ſe ſoutenir dans cet état. C'eſt ce que je n'ai pas cru devoir me donner la peine de vérifier, en cherchant exactement la place du métacentre; ſçachant aſſez que la hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds du centre de gravité devoit diminuer très-conſidérablement par l'introduction de la charge ou du leſt, qu'on ne pouvoit pas ſe diſpenſer de mettre dans la cale. La peſanteur de la Frégate conſiderée actuellement, eſt de 190 tonneaux, & ſi ſa peſanteur totale, en comprenant ſa charge ou ſon leſt, doit être de 400 tonneaux, à proportion de la ſolidité entiere de la carène ou de toute la partie ſubmergée, ce qu'il eſt toujours facile de décider; il faudra que la charge ſoit de 210 tonneaux pour achever de faire caler la Frégate juſqu'à l'endroit convenable. Le centre de gravité de cette charge ſera plus ou moins haut, ſelon qu'elle occupera dans la cale plus ou moins de place, ou ſelon qu'elle ſera d'une peſanteur ſpécifique plus ou moins grande. On ſçaura l'eſpace qu'elle doit occuper, par la meſure qu'on aura priſe des diverſes parties de la carène, en retranchant l'épaiſſeur des flancs, & ſon centre de gravité pourra être élevé de 3 ou 4 pieds; mais je prends 4 pieds, afin d'avoir le cas moins favorable. Le moment de la charge ſera donc de 840; & ſi on l'ajoute à celui 2219 que nous avons trouvé en dernier lieu, on aura 3059 pour la ſomme générale de tous les momens particuliers, & la diviſant par 400, ſomme de toutes les peſanteurs, il

Digitized by Google

viendra 7 pieds preſque 8 pouces pour la hauteur requiſe au-deſſus de la quille, du centre de gravité de la Frégate toute armée & toute équipée. Lorſque le centre de gravité de la charge ſera plus bas, celui de tout le Vaiſſeau aura encore moins de hauteur; & comme il eſt déja pour le moins 4 $\frac{1}{4}$ pieds ou 5 pieds au-deſſous du métacentre ou du terme de la plus grande hauteur, il eſt certain que la Frégate ne pourra pas manquer d'être ſtable, ni même d'avoir une grande force, pour perſiſter dans ſa ſituation horiſontale. C'eſt d'ailleurs ce qui doit arriver infailliblement dans ces ſortes de Navires, dont la peſanteur particuliere n'eſt pas exceſſive, & qui peuvent en même tems recevoir un aſſez grand poids dans leur cale. Cette addition d'un grand poids par en bas, doit toujours faire deſcendre conſidérablement le centre de gravité du tout.

De la ſituation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la ſureté qu'en reçoit la Navigation.

Mais cet avantage qu'ont les petits Navires, ſe perd peu dans les plus grands, non pas préciſément à cauſe de leur grandeur; car s'ils avoient des figures parfaitement ſemblables, & ſi leur peſanteur étoit auſſi diſtribuée de la même maniere, ils joüiroient toujours des mêmes avantages, & en acquerroient même de nouveaux, comme on l'a vû & comme on le verra encore dans la ſuite: mais les grands Vaiſſeaux perdent de leur avantage; parce qu'on les charge beaucoup plus à proportion par en haut, tant par leur groſſe artillerie, que par les ponts & les dunettes. Les Vaiſſeaux du premier rang de 110 ou 120 canons, de 48 pieds de plus grande largeur, & de 148 de quille, peuvent peſer avec leur artillerie & tous leurs agréils, ou apparaux, mais ſans leſt, deux mille trois ou quatre cens tonneaux. Ce poids ſe trouvera peut-être différent; mais puiſque le Conſtructeur ſçait les dimenſions

qu'il veut donner à toutes les piéces, on peut toujours découvrir d'avance, auſſi exactement qu'il eſt néceſſaire, la peſanteur que doit avoir le Vaiſſeau. De ces 2300 tonneaux il y en aura 44 pour la mâture, autant pour les cables & les ancres; 28 ou 30 pour les manœuvres, & environ 300 pour l'artillerie. Toutes ces choſes auront différens momens, non-ſeulement à raiſon de leurs différens poids, mais auſſi à cauſe de leurs différentes élevations au-deſſus de la quille. Ces momens feront environ 70000, & ſi on diviſe cette ſomme par 2300, on trouvera 30 ou 31 pieds pour la hauteur du centre de gravité du Vaiſſeau ſans leſt. Cette hauteur, vû les dimenſions qu'on donne à la carène, eſt au moins trop grande de 6 à 7 pieds: Mais quoiqu'on la diminuë extrémement par le leſt, qui fait deſcendre le centre de gravité du tout, on ne peut gueres réuſſir à mettre ce centre qu'un ou deux pieds au-deſſous du métacentre. Car ſi le volume d'eau déplacée, peſe 3500 tonneaux, la peſanteur du leſt doit être de 1200 tonneaux, ſupoſé que la peſanteur particuliere du Vaiſſeau & de ſes agréils ſoit toujours de 2300: on ne peut pas mettre une plus grande quantité de leſt, ſans faire caler le Vaiſſeau davantage, & au-delà du terme qu'on s'eſt propoſé. Mais ce leſt, dont le centre de gravité particulier ſera au moins élevé de 6 pieds, ne portera pas le centre de gravité commun du tout au-deſſous de 22 pieds de hauteur. Ainſi ce dernier centre ne ſera que d'environ 2 pieds au-deſſous du méracentre; au lieu qu'il eſt au moins deux fois plus bas dans les petits Navires.

Il ne coûtera rien, en faiſant les calculs que nous venons d'indiquer, de s'aſſurer s'il eſt avantageux de faire certains changemens à la diſpoſition de la charge, ou à quelqu'une des autres parties qui forment le poids. Nous nous contenterons d'en donner un exemple très-ſimple, en examinant le choix qu'on peut faire des canons de différens calibres, pour armer les plus grands Vaiſſeaux. Supoſons que la premiere batterie ſoit formée de chaque

Digitized by Google

côté de 15 canons de bronze de 36 livres de bale, & la seconde de 16 canons de 18 livres, & qu'on demande si l'on peut substituer dans les deux batteries du canon de 24 livres de bale. Il faudra sçavoir la pesanteur de ces canons, y compris leurs affuts; si ceux de 36 livres pesent 6800, & 4200 ceux de 18, les 62 canons des deux batteries complettes peseront 338400 livres, ou environ 169 tonneaux: au lieu que 62 canons de 24 livres, si on les supose également de fonte, ne peseront qu'environ 164 tonneaux. Ainsi il y a d'abord un peu à gagner dans la seconde disposition du côté du poids: nous disons un peu; car à peine le Vaisseau devenu plus leger par la moindre pesanteur de son artillerie, sortira-t-il de l'eau de 3 lignes.

Mais d'un autre côté le centre de gravité des deux batteries formées de canons de 24, sera plus haut: si une de ces batteries est élevée de 8 pieds au-dessus de l'autre, le centre de gravité des deux sera environ 4 pieds 2 pouces au-dessus de la premiere; au lieu que dans le premier cas, ou lorsque la batterie d'en bas sera formée de canons de 36, & la seconde de canons de 18, le centre de gravité ne sera élevé que de 3 pieds 2 pouces; comme on peut s'en assurer, en divisant la hauteur d'une des batteries au-dessus de l'autre, réciproquement à leur pesanteur particuliere. Il pourroit donc y avoir une compensation par la différence de hauteurs dans les centres de gravité; & ce n'est qu'en poussant la discussion encore plus loin qu'on peut se décider. Si le Navire sortoit de l'eau d'une plus grande quantité que de trois lignes dans la seconde disposition, il faudroit calculer le changement que doit souffrir le métacentre; mais on peut négliger ici ce changement, & se contenter de chercher le moment de l'artillerie dans l'un & l'autre cas, par raport au centre de gravité du Navire, ou ce qui revient au même, diviser encore réciproquement aux poids la distance des centres de gravité. On reconnoîtra par l'examen qu'on en fera, que le centre de gravité commun du Vaisseau,

qui ſe trouve toujours porté un peu en haut par le poids de toutes les parties ſupérieures, eſt laiſſé environ un pouce plus bas dans la premiere diſpoſition ; & que les batteries de 36 livres de bale & de 18, quoique plus peſantes, ſont donc préférables pour la ſureté de la Navigation aux deux de 24.

Ce n'eſt pas après tout la diſpoſition qui porte le centre de gravité du Vaiſſeau le plus au-deſſous du métacentre, qui eſt abſolument la meilleure. Il faut que le centre de gravité commun, ſoit au-deſſous du métacentre, & ſoit conſidérablement au-deſſous : c'eſt une premiere condition qui eſt indiſpenſable. Mais la ſtabilité du Vaiſſeau dépendant auſſi de ſa peſanteur, a pour *expoſant* le produit de cette peſanteur multipliée par la quantité, dont le centre dans lequel elle ſe réunit, eſt au-deſſous de l'autre point. Pendant que le Navire eſt parfaitement de niveau, ſa peſanteur ne fait aucun effort pour le maintenir dans cet état : mais elle commence à agir auſſi-tôt que l'inclinaiſon commence ; & plus le centre de gravité ſera au-deſſous du métacentre, plus le bras de levier auquel elle ſera appliquée, ſera long, & plus elle ſera donc ſituée avantageuſement : en même tems que plus elle ſera grande par elle-même, plus elle ſera auſſi capable de travailler avec efficacité. Ainſi on peut trouver quelquefois un avantage réel à ſituer le centre de gravité un peu plus haut. On trouve cet avantage toutes les fois qu'on peut augmenter en même tems la peſanteur totale du Vaiſſeau dans un plus grand raport. Si le Vaiſſeau du premier rang qui peſe 3500 tonneaux, a ſon centre de gravité deux pieds au-deſſous du métacentre, le moment ou la force relative avec laquelle cette peſanteur s'oppoſe à l'inclinaiſon, ſera 7000, ou pour mieux dire, ſera proportionelle à 7000, produit de 3500 par 2 pieds. Mais ſi en élevant le centre de gravité, on ne le met que $1\frac{4}{7}$ pieds au-deſſous du métacentre, & qu'on augmente en même tems la peſanteur totale juſqu'à la rendre de 4000 tonneaux, le moment ſera enſuite de 7200 ; & la

ſeconde diſpoſition ſera préférable à cet égard à la premiere : elle rendra le Vaiſſeau plus ſtable, dans le même raport que 7200, eſt plus grand que 7000.

Il ſera toujours facile de cette ſorte, en mettant à l'épreuve du calcul la figure & les ptoportions qu'on ſe propoſe de donner à un Navire, de prévoir quel ſera le ſuccès de l'entrepriſe, & de s'épargner toute la peine, toute la dépenſe & toute la honte d'un travail imprudent & inutile. Le Conſtructeur ne ſera plus ſujet à manquer ſon ouvrage ; au moins de cette maniere groſſiere qui deshonore la Marine, & qui ne rend pas ſimplement les Vaiſſeaux mauvais voiliers ; mais qui les condamne à ne jamais ſortir du Port. Maintenant que nous ſommes en état de connoître le mal, il faut tâcher d'y remedier ; ou en changeant quelque choſe dans les dimenſions que nous aurons trouvées mauvaiſes, ou en indiquant d'une maniere immédiate & abſoluë, celles qui ſont les meilleures.

CHAPITRE VII.

Du changement qu'apportent à la ſituation du Métacentre les divers changemens qu'on peut faire à la Carène.

I.

POUR juger des changemens que ſouffre la hauteur du métacentre, lorſqu'on altere la figure de la carène, il faut qu'on ſe rappelle ou les principes établis dans le Chapitre III. de cette Section, ou qu'on jette les yeux ſur la formule $\Gamma g = \frac{\frac{1}{2}Sy^3 dx}{p}$ de l'Article IV. de ce même Chapitre. La premiere Remarque qu'elle ſugere, c'eſt que la hauteur Γg du métacentre g (Fig.

Fig. 54. 54) au-dessus du centre de gravité Γ de la carène, ne dépend que de la grandeur p de la carène, & de la figure de la tranche horisontale faite à fleur d'eau, dont y désigne les ordonnées, & x les parties de l'axe, ou de la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire qu'on peut donner une infinité de diverses formes à la carène, sans que la hauteur Γg change en aucune façon. Il suffit pour cela de conserver à la carène toujours sa même solidité, quoiqu'on change sa figure; & de ne point toucher du tout à la coupe horisontale faite à fleur d'eau.

Notre formule nous apprend cette vérité, & on la voit aussi fort aisément sans le secours d'aucune expression algébrique. Aussi-tôt qu'on ne change ni la solidité de la carène, ni la figure de sa coupe horisontale faite à fleur d'eau, le même raport subsiste toujours entre Γ1 & Γ3, de même que celui qui est entre γ2 & γ3, & celui qui est entre 12 & Γγ. Ainsi la distance des centres de gravité Γ & γ reste la même; & la hauteur Γg où vont se couper les directions ΓZ & γz, ne doit donc point aussi changer. Mais il faut remarquer expressément que ce n'est que la hauteur respective du métacentre g par raport au centre de gravité Γ de la carène, qui ne varie pas. Car selon les diverses formes qu'on donne à la carène, son centre de gravité Γ doit se trouver plus ou moins haut; & puisque le point g conserve toujours la même hauteur au-dessus de ce centre, il doit recevoir précisément dans sa hauteur absoluë les mêmes changemens. Comme on ne peut pas donner à la coupe AEB, dont l'étenduë est déterminée, de figure qui éleve plus son centre de gravité Γ, que celle d'un rectangle, il résulte que c'est cette même figure, & celles qui en approchent davantage, qui élevent le plus le métacentre g, & qui donnent par conséquent la liberté de mettre plus haut le centre de gravité du Navire, de ses agréils & de tout ce qu'il contient.

II.

Digitized by Google

II.

Lorſqu'on ne change que la longueur du Vaiſſeau ſans toucher à ſes autres dimenſions, le centre de gravité Γ & le point g, doivent reſter dans les mêmes endroits: comme cela ſe voit aſſez évidemment, nous ne nous y arrêterons pas. Mais nous allons examiner ce qui doit arriver, lorſqu'on change proportionellement toutes les largeurs du Navire, ſans changer ni ſa longueur, ni ſa profondeur.

III.

Lorſqu'on ne touche qu'aux ſimples largeurs du Vaiſſeau, & qu'on les change toutes proportionellement, le centre de gravité Γ de la carène, qui nous ſert de terme pour juger des changemens que ſouffre le métacentre g, doit reſter dans le même endroit, puiſque toutes les coupes horiſontales de la carène, en augmentant ou en diminuant proportionellement, conſervent entr'elles les mêmes raports. Mais la diſtance 12 des centres de gravité 1 & 2 des ſolides BFb & AFa, doit recevoir un changement proportionel à celui que ſouffre la largeur AB; & auſſi-tôt que la diſtance 12 eſt ſujette à changer, le petit intervalle Γγ le doit être également & en même raport, de même que la hauteur Γg: c'eſt-à-dire que ces quantités doivent toutes augmenter ou diminuer proportionellement à la largeur AB. D'un autre côté, lorſqu'on augmente ou qu'on diminuë la largeur AB, on ne fait changer la ſolidité de la carène que dans le raport ſimple de la largeur: au lieu que les petits ſolides BFb, AFa, changent comme le quarré: parce que la petite hauteur BH varie en même raiſon que FB. Or c'eſt la même choſe quant au raport, que ſi la ſolidité de la carène demeuroit conſtante, & que celle des deux petits ſolides BFb, & AFa, ne variât que dans la raiſon ſimple des largeurs; & il ſuit de-là que le petit intervalle 3Γ, doit être plus ou moins grand, eu égard à Γ1 dans la même Fig. 54.

Fig. 54. raiſon ; ce qui entraîne le même changement dans $\Gamma\gamma$, & enſuite dans Γg. Il eſt donc évident que Γg qui eſt toujours proportionelle à $\Gamma\gamma$, change par deux endroits. Elle change, parce que $\Gamma\gamma$ eſt plus ou moins grande par raport à 12, ſelon qu'on augmente ou qu'on diminuë la largeur du Navire ; & elle change en ſecond lieu, parce que l'intervalle 12 eſt lui-même plus ou moins grand dans le même raport.

Ainſi la hauteur Γg, au lieu de ſuivre le raport ſimple des largeurs, doit ſuivre celui de leurs quarrés : & il ſuffit par conſéquent d'apporter un aſſez leger changement aux largeurs de la carène, pour en produire un très-grand dans la hauteur, où l'on peut mettre enſuite le centre de gravité du Navire. S'il étoit poſſible d'augmenter 2 ou 3 fois la largeur, on pourroit mettre après cela le centre de gravité 4 ou 9 fois plus haut : c'eſt par cette raiſon que le ſoufflage ou le renflement de la carène, non pas celui qui eſt égal par tout, mais celui qui augmente principalement la largeur par en haut, eſt capable d'effets ſi marqués. La formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3\,dx}{p}$ indique la même choſe ; & ce que la Théorie enſeigne ici, les Conſtructeurs, ſans en ſçavoir la raiſon, l'ont éprouvé une infinité de fois.

IV.

Enfin, ſi ſans toucher aux largeurs, ni à la longueur de la carène, on ne fait que changer ſa profondeur ; ſi on la diminuë, par exemple ; le centre de gravité Γ s'élevera, puiſque $F\Gamma$ diminuera en même tems & en même raiſon que FE ; & outre cela le métacentre g s'élevera encore par raport au centre Γ. La diminution de la profondeur FE fera diminuer la ſolidité de la carène proportionellement : Mais le petit ſolide BFb qui n'aura pas changé, étant enſuite plus grand par raport à la carène, les petites diſtances 3Γ & 3γ ſeront plus grandes par raport à $\Gamma 1$; d'où il ſuit que $\Gamma\gamma$ ſera auſſi plus grande de

Digitized by Google

même que Γ*g*. On voit donc qu'outre l'élevation que reçoit le centre Γ, lorſqu'on diminuë la profondeur de la carène, la hauteur du métacentre *g* au-deſſus de ce centre, augmente encore en même raiſon que la profondeur de la carène eſt diminuée.

On peut repréſenter aiſément, & d'une maniere générale, les diverſes hauteurs du métacentre au-deſſus du fond de la carène pour tous les divers creux où toutes les diverſes profondeurs, par les ordonnées d'une hyperbole comparée à un de ſes diametres. Si on éleve une perpendiculaire EG (Fig. 59.) au bas de la verticale FE, qui marque la profondeur du Vaiſſeau, & que faiſant EM égale à la hauteur EΓ du centre de gravité Γ, & EG égale à la hauteur E*g* du métacentre, où MG égale à Γ*g*, on tire la droite FM, & qu'on trace par le point G l'hyperbole gGg entre les deux droites FB & FM, priſes pour aſymptotes, toutes les autres ordonnées, comme *eg* paralleles à EG, marqueront la hauteur du métacentre au-deſſus du fond *e* de la carène, pour toutes les diverſes profondeurs F*e* ou FE qu'on donnera au Vaiſſeau. Il eſt bien évident que comme le centre de gravité Γ dans ſes changemens de place, partagera toujours les profondeurs EF ou *e*F dans le même raport, lorſqu'on les diminuera ou qu'on les augmentera, les lignes *em* qui ont toujours même raport avec F*e*, que EM avec FE, ſeront égales aux hauteurs de ce centre de gravité au-deſſus du fond *e*. Mais puiſque la hauteur du métacentre au-deſſus de ce centre augmente en même raiſon que la profondeur de la carène diminuë, il n'eſt pas moins clair qu'auſſitôt que la ligne MG repréſente la hauteur Γ*g*, ou lui eſt égale, toutes les autres lignes *mg* interceptées entre l'aſymptote FM & l'hyperbole gG, ſeront continuellement égales aux hauteurs du métacentre au-deſſus du centre de gravité; & il réſulte de tout cela que les lignes entieres *eg* ſeront égales aux hauteurs du métacentre au-deſſus du fond de la carène; puiſque ces hauteurs ſont formées de celles du centre de gravité, & de celles du métacentre au-deſſus du centre de gravité. Fig. 59.

Digitized by Google

Fig. 59. Si l'on veut exprimer maintenant les hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de l'eau, il n'y aura qu'à retrancher des lignes EG, *eg*, &c. qui marquent les hauteurs au-dessus du fond du Vaisseau, les parties EN, *en*, &c. égales aux profondeurs mêmes FE, *Fe*; & les restes NG, *ng* seront égaux aux hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de la Mer. On retranchera tout d'un coup toutes ces parties, en tirant la droite FN, qui coupe l'angle droit BFE par la moitié. Le point *h*, où cette ligne coupera l'hyperbole, indique la profondeur Fe, qu'il faut donner à la carène, pour que le métacentre se trouve précisément dans la surface de l'eau. Lorsque les profondeurs seront plus grandes, les quantités *ng* seront négatives; ce qui marquera que le métacentre sera enfoncé dans l'eau: au lieu que pour peu que les profondeurs soient moindres, le métacentre s'élevera au-dessus de la surface de la Mer; & s'élevera même à une hauteur infinie, si l'on diminuë toujours de plus en plus la profondeur de la carène.

CHAPITRE VIII.

Des changemens que reçoit la force qu'a le Navire pour rester de Niveau, lorsqu'on change les dimensions de sa Carène, & premierement lorsqu'on change sa longueur.

I.

NOUS n'avons examiné jusqu'ici que les seuls changemens auxquels est sujette la hauteur du métacentre; mais il n'est pas difficile de découvrir ceux qu'il est beaucoup plus important de connoître, que souffre *la stabilité* même du Vaisseau, cette force avec laquelle il persiste à rester dans le même état, ou plutôt avec la-

Digitized by Google

quelle il travaille à retourner à ſa ſituation horiſontale, lorſqu'on la lui a fait perdre. Supoſé que ſans alterer ni la largeur, ni la profondeur de la carène, on ne change que ſa ſeule longueur, il eſt évident que *la ſtabilité* doit changer dans le même raport: L'alongement ou le racourciſſement de la carène, n'obligera en aucune façon à changer la diſtribution de la peſanteur : il faudra ſeulement rendre cette peſanteur plus ou moins grande, ou charger le Navire d'un plus grand ou d'un moindre poids, à proportion des diverſes eſpaces que ſa carène occupera dans la Mer. Le centre de gravité ne montera donc ni ne deſcendra, & le métacentre reſtera auſſi toujours dans la même place : ainſi le bras de levier auquel la peſanteur du Navire ſera appliquée, ſera toujours exactement de même longueur. Il eſt bien vrai qu'on ne doit pas prendre pour le levier toute la quantité dont le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. Dans la figure 55, par exemple, on voit clairement que la pouſſée de l'eau qui s'exerce ſelon la direction γg, n'eſt appliquée qu'à la diſtance TG du centre de gravité G, ou qu'elle n'agit qu'avec le bras du levier TG, pour relever le Navire, & le reſtituer dans la ſituation horiſontale. Mais puiſqu'il ne s'agit ici que d'une certaine inclinaiſon déterminée, & la même dans tous les Navires, dont on veut comparer *la ſtabilité*, la diſtance TG eſt toujours la même partie de Gg, & on eſt par conſéquent authoriſé à ne conſiderer que Gg. Il ſuit de tout cela que le moment de la peſanteur totale, ou ſa force relative, ou pour le dire encore autrement, la ſtabilité du Navire, ne recevra ici de changement que parce que la peſanteur ſera plus ou moins grande : & puiſque cette peſanteur eſt proportionelle à la longueur de la carène, auſſi-tôt que les autres dimenſions ſont les mêmes, la force relative dont il eſt queſtion, ſera auſſi proportionelle à ces longueurs.

Il n'importe, pour l'exactitude de cette propoſition, que la peſanteur totale ſe réuniſſe dans un point plus haut ou plus bas que le centre de gravité de la carène ;

pourvû que lorſqu'on allonge ou qu'on racourcit le Navire, le centre de gravité commun (comme cela eſt très-naturel) ne monte ni ne deſcende: car le moment ne recevra toujours alors tout ſon changement que de la ſeule force abſoluë, ou de la peſanteur. Ainſi le Théoreme eſt général: *dans les Navires qui ne différent que par leurs longueurs, les ſtabilités ſont en même raiſon que ces longueurs.*

II.

Du changement que reçoit la ſtabilité des corps flotans, lorſqu'on change leurs profondeurs.

Si au lieu de changer la longueur, on ne change que les profondeurs du Navire, ſans toucher à ſes largeurs, il faudra rendre encore la peſanteur plus ou moins grande; & outre cela elle ſera appliquée à un levier different; parce que le métacentre montera ou deſcendra par raport au centre de gravité de la carène, dans lequel nous ſupoſons d'abord que tout le poids ſe réunit. Mais il ſe fera toujours une exacte compenſation dans le produit, & le moment ne changera pas; parce que ſi la peſanteur eſt plus grande, la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité ſera plus petite dans le même raport. Pour obtenir le moment, il faut multiplier la peſanteur totale p par la quantité $\Gamma g = \frac{\frac{1}{3}Sy^3dx}{p}$, dont le centre de gravité Γ eſt au-deſſous du métacentre; mais il viendra la quantité $\frac{1}{3}Sy^3dx$, qui ne dépend, comme on le voit, que des ſeules dimenſions de la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, dont y déſigne les largeurs, & dx les petites parties élementaires de la longeur. Qu'on change donc la figure de la carène ou de tout le Vaiſſeau, pourvû que ſa premiere tranche faite à fleur d'eau, reſte la même, & que ſa peſanteur totale ſe réuniſſe dans le centre de gravité de la carène, la force qu'aura le Navire pour conſerver ſa ſituation horiſontale, ne ſera point ſujette à changer, elle ſera toujours égale à $\frac{1}{3}Sy^3dx$.

Digitized by Google

Si l'expreſſion algébrique de la hauteur Γ*g*, nous offre à la premiere vûë la vérité de ce Théoreme, il eſt tout auſſi facile d'en appercevoir la cauſe ou la raiſon phyſique. Supoſé que ſans toucher aux largeurs AB (Fig. 54.) qu'a la carène par en haut, ni à ſa longueur, on change par en bas ſa ſolidité ou capacité AEB, & qu'on l'augmente du double ou du triple; elle ſera enſuite deux ou trois fois plus grande par raport aux petits ſolides FB*b* & AF*a*, qui entrent dans l'eau ou qui en ſortent par l'inclinaiſon, & qui ne ſouffriront aucun changement: les deux centres de gravité Γ & γ des parties ſubmergées, lorſque le Navire eſt de niveau, & lorſqu'il eſt incliné, ſeront donc deux ou trois fois plus voiſins l'un de l'autre; la hauteur Γ*g* ſera en même tems deux ou trois fois plus petite; & par conſéquent la peſanteur totale *p*, qui eſt proportionelle à la ſolidité AEB, formera toujours le même produit, lorſqu'on la multipliera par cette hauteur Γ*g* qui ſert de levier, & qui change toujours en raiſon inverſe. Ainſi il eſt démontré *que les Vaiſſeaux de figures & de ſolidités, ou de peſanteurs différentes, mais dont la tranche horiſontale faite à fleur d'eau, eſt la même, ont toujours exactement la même ſtabilité, auſſi-tôt que leur peſanteur ſe réunit dans le centre de gravité de leur carène, ſupoſée homogène.* Fig. 54.

Nous ferons remarquer en paſſant que ce principe qui peut avoir des uſages fort étendus, nous donne lieu de trouver une expreſſion géométrique fort ſimple de la ſtabilité de tous les corps flotans, dont nous n'avons encore qu'une expreſſion algébrique. Lorſque nous ne nous propoſions dans l'Article IV. du Chapitre III. que de découvrir la hauteur du métacentre, & que nous cherchions d'abord par aproximation la valeur de l'intégrale $\frac{1}{3}\int y^3 dx$, nous trouvions ſans y penſer la ſtabilité même du Navire; & il ne reſtoit plus qu'à multiplier la quantité trouvée par 72 livres, qui eſt le poids du pied cubique d'eau marine, pour l'évaluer entierement en meſures ordinaires & connuës. Nous pouvons maintenant en obtenir

Digitized by Google

Fig. 54. avec facilité une expreſſion plus ſimple, ou au moins plus propre à fixer nos idées. Puiſque cette force ne dépend aucunement de la figure qu'à la carène dans toute ſa partie inférieure, nous n'avons qu'à former par la révolution de la coupe faite à fleur d'eau un demi-ſphéroïde; & la force qu'il aura pour conſerver ſa ſituation horiſontale, ſera exactement la même que celle de tous les autres corps qui n'auront rien de commun avec le ſphéroïde, que la premiere tranche faite à fleur d'eau. Le métacentre de ce dernier ſolide ſera exactement dans ſon axe, & ſa ſtabilité ſera exprimée par ſa ſolidité multipliée par la quantité dont ſon centre de gravité ſera au-deſſous de l'axe, ou au-deſſous de la ſurface de l'eau. Les autres corps pourront avoir leurs métacentres plus ou moins élevés; mais leur peſanteur en récompenſe, nous le diſons encore, ſera moindre ou plus grande, préciſément en raiſon inverſe; & le moment total ſera par conſéquent toujours le même. Il eſt donc clair que le ſphéroïde que nous venons de ſpécifier, fournit un moyen fort ſimple de trouver pour tous les corps flotans la force de permanence que nous examinons, ſans qu'il ſoit néceſſaire d'avoir égard à l'irrégularité de leur figure par en bas, ni de paſſer par la recherche de leur métacentre; & on pourroit paſſer aiſément au contraire, ſi on le vouloit, à la connoiſſance de ce point par celle de leur ſtabilité: Il ſuffira toujours de connoître la ſolidité de ce demi-ſphéroïde que nous leur ſubſtituons, de même que la quantité dont ſon centre de gravité eſt au-deſſous de ſon axe: la ſtabilité de ce corps ſera la ſtabilité de tous les autres.

Au lieu de ſubſtituer un ſphéroïde à la place des ſolides dont on veut avoir la ſtabilité, on peut auſſi leur ſubſtituer un corps dont toutes les coupes verticales, perpendiculaires à ſa longueur, ſoient des triangles rectangles, dont l'angle droit eſt en bas. Ce ſolide, comme nous l'avons montré dans le Chapitre IV. aura toujours ſon métacentre autant élevé au-deſſus de la ſurface de

de l'eau, que ſon centre de gravité ſera au-deſſous de cette ſurface. Ainſi il n'y aura qu'à multiplier ſa ſolidité par la quantité, dont ſon centre de gravité eſt enfoncé dans l'eau, & prendre le double du produit, pour découvrir ſa ſtabilité, & en même tems celle de tous les autres corps qui ont par en haut préciſément les mêmes largeurs. Fig. 51.

Mais nous ne ſçaurions avertir trop expreſſément que les expreſſions précédentes de cette force, ne ſont exactes, que lorſque la peſanteur du Navire ſe réunit exactement dans le centre de gravité Γ de la carène, ou de la partie ſubmergée, ſupoſée homogène; & que ſi elle ſe réuniſſoit dans un point plus haut ou plus bas, la force dont il s'agit, ſeroit moindre ou plus grande de tout le produit de la peſanteur totale, ou de la ſolidité de la carène, par la quantité dont un des centres de gravité ſeroit au-deſſus de l'autre. Supoſé que K ſoit le centre de gravité commun de tout le Vaiſſeau, il faudra pour avoir la ſtabilité ou le moment qui la conſtituë, multiplier la peſanteur totale p par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$. Ainſi cette force ſera alors formée de deux parties, dont l'une $\frac{1}{3} Sy^3 dx = p \times \Gamma g$ ſera toujours conſtante, quelque figure qu'ait la carène par en bas, & ſera égale à la ſtabilité du demi-ſphéroïde formé par la révolution de la coupe horiſontale faite à fleur d'eau. L'autre partie $p \times \Gamma K$, peut être au contraire plus ou moins grande; parce que la peſanteur totale p ſera différente, & parce que l'intervalle ΓK entre les deux centres de gravité ne ſera pas la même.

On voit donc en général, que plus on augmentera la profondeur FE de la carène, plus la force relative dont il eſt ici queſtion, $\frac{1}{3} Sy^3 dx + p \times \Gamma K$ deviendra grande, à cauſe de ſa ſeconde partie; & que l'excès deviendroit même infini, ſi on augmentoit infiniment la profondeur. Mais la loi ſelon laquelle ſe fait l'augmentation, ne peut pas être ramenée à des raports ſimples; à cauſe de l'hérérogéneïté de toutes les diverſes parties du Navire & de celles de ſa charge.

III.

Du changement que ſouffre la ſtabilité des corps flotans, lorſqu'on change leurs largeurs.

Fig. 54 Supoſons maintenant que ſans toucher aux autres dimenſions de la carène, on ne change que ſes largeurs, & toutes proportionellement. La force qu'a le Navire pour reſter de niveau, doit alors changer par deux endroits dans les cas mêmes où la peſanteur totale ſe réunira exactement dans le centre de gravité de la carène. Elle changera, parce que la force abſoluë, la peſanteur totale ſera différente, & plus ou moins grande préciſément en même raiſon que les largeurs : elle changera en ſecond lieu, parce que le bras de levier auquel cette force ſera appliquée, ſera plus ou moins long, puiſque, comme nous l'avons vû dans l'Article III. du Chapitre précédent, la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité de la carène, croît ou décroît comme le quarré des largeurs, lorſque toutes les autres circonſtances ſont les mêmes. Or il ſuit de-là que la ſtabilité change en raiſon triplée ou comme les cubes des largeurs, puiſque ces cubes doivent être proportionels aux peſanteurs qui changent comme les largeurs, multipliées par la longueur du bras de levier qui change comme le quarré. Si, ſans alterer les autres dimenſions, on rend, par exemple, toutes les largeurs deux fois plus grandes; la peſanteur totale ſera double, & le métacentre ſera quatre fois plus haut, ce qui donnera au Navire huit fois plus de force pour perſiſter dans ſon état, conformément au raport des cubes.

On voit la même vérité en jettant les yeux ſur la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, ou ſur l'expreſſion, $\frac{2}{3}Sy^3dx$ qui en réſulte de la ſtabilité. Cette quantité, ainſi qu'on le voit, change comme les cubes des largeurs y, auſſi-tôt que la

longueur x de la carène ne souffre point de changement ; Fig. 54.
& on s'eſt convaincu d'ailleurs dans l'Article précédent, que les diverſes profondeurs de la carène, n'influënt en rien dans la circonſtance marquée ſur la force qu'a le Navire pour conſerver ſa ſituation horiſontale. Ainſi ce nouveau Théoreme qui ſera utile dans l'Architecture Navale, eſt parfaitement établi : que *lorſque les Vaiſſeaux ſont de même longueur, leurs ſtabilités ſont comme les cubes de leurs largeurs.*

Comme on donne maintenant dans la Marine une très-grande largeur aux Navires, il n'eſt plus permis de l'augmenter beaucoup ; mais on peut changer les autres largeurs vers l'avant & vers l'arriere, & lorſqu'on les augmentera, on conferera une nouvelle force au vaiſſeau pour perſiſter dans ſa ſituation horiſontale. On peut aiſément comparer le Navire qui ſeroit cilindrique depuis une extrémité juſqu'à l'autre, avec le Navire qui ſeroit formé de deux cônes, l'un pour la prouë & l'autre pour la poupe : ou ce qui eſt plus général, mais ce qui revient au même, on peut comparer le Navire, dont la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, eſt un rectangle, parce que toutes les largeurs dans cet endroit ſont égales entr'elles, avec le Navire dont la coupe faite à fleur d'eau, eſt formée de deux triangles, l'un du côté de l'avant, & l'autre du côté de l'arriere ; parce que la prouë & la poupe ſe terminent exactement en pointes. Le premier Navire aura préciſément quatre fois plus de ſtabilité que le ſecond. Car dans le premier cas, toutes les largeurs y étant égales, il faudra multiplier le cube y^3 par la longueur x du Navire, pour avoir l'intégrale Sy^3dx : au lieu que dans le ſecond où les largeurs vont en diminuant en progreſſion arithmétique, il faudra, pour avoir la ſomme de leurs cubes, ou l'intégrale Sy^3dx, ne multiplier le plus grand cube y^3 que par le quart de la longueur x du Navire, qui en repréſente la multitude.

Il faut au ſurplus mettre encore ici la même reſtriction que ci-devant : c'eſt-à-dire que pour l'exacte vérité de ce

Fig. 54. que nous avançons actuellement, il eſt toujours néceſſaire que le poids de tout le Navire ſe réüniſſe dans le centre de gravité de la carène. Si le poids total ſe réunit dans le point K, le moment dont il s'agit ici, ne ſera plus le produit de la peſanteur p par $\Gamma g = \frac{\frac{1}{3}Sy^3dx}{p}$, mais par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$, & ſera donc, comme on l'a déja vû, plus grand que $\frac{1}{3}Sy^3dx$ de tout le produit de la peſanteur p, par la quantité ΓK, dont le centre de gravité commun K ſera au-deſſous du centre de gravité Γ. Lorſqu'on élargira ou qu'on retrecira le Vaiſſeau, il eſt naturel que ſon centre de gravité K reſte toujours dans la même place; mais la peſanteur p changeant comme les largeurs, ſon produit par $K\Gamma$ changera dans le même raport. Ainſi les deux parties dont le moment $p \times \Gamma g \pm p \times \Gamma K$, ou $\frac{1}{3}Sy^3dx \pm p \times \Gamma K$, eſt formé, à conſiderer la choſe d'une maniere générale, ſont ſujettes à changer, ſelon deux différentes loix. Pendant que la premiere partie qui n'eſt autre choſe que la ſtabilité du Navire, lorſque ſa peſanteur ſe réunit dans le centre de gravité de ſa carène, change comme les cubes des largeurs; la ſeconde partie qu'il faut ajouter ou ſouſtraire de la premiere, ſelon que le centre de gravité K eſt au-deſſous ou au-deſſus de Γ, ne change ſimplement que comme les largeurs.

Il nous reſte à dire que quoique ce cas général ſoit plus compliqué, il eſt cependant très-facile de trouver le changement que reçoit la ſtabilité du Navire dont on change toutes les largeurs proportionellement, pourvû qu'on connoiſſe la premiere ſituation des trois points g, Γ & K, du métacentre, du centre de gravité de la carène, & du centre de gravité du Vaiſſeau. La peſanteur p ſe multipliant toujours par $Kg = \Gamma g \pm \Gamma K$, nous pouvons prendre la quantité ſimple $\Gamma g \pm \Gamma K$, pour repréſenter le moment ou la ſtabilité; & il n'y aura qu'à faire attention qu'après le changement fait aux largeurs, ce moment ſera encore exprimé par $\Gamma g \pm \Gamma K$, mais dont on aura fait changer la partie Γg, ſelon le raport des cubes des lar-

geurs, & ΓK selon le raport simple de ces mêmes largeurs. Supoſé qu'on élargiſſe le Vaiſſeau par tout proportionellement d'une vingt-quatriéme partie, ſa ſtabilité deviendra plus grande dans le raport de $\Gamma g \pm \Gamma K$ à $\frac{15625}{13824}\,\Gamma g \pm \frac{25}{24}\,\Gamma K$. Fig. 54.

IV.

Du changement que reçoit la ſtabilité du Vaiſſeau, lorſqu'on ſe ſert de leſt d'une peſanteur ſpécifique différente.

Enfin, ſans qu'il ſoit néceſſaire de toucher aux dimenſions de la carène, on peut encore faire augmenter la force relative dont il s'agit, en ſe ſervant de leſt d'une peſanteur ſpécifique plus grande. Il ne faudra toujours mettre dans la cale que le même poids de ce leſt plus peſant; mais, comme il y occupera moins de place, ſon centre de gravité ſera plus bas, ce qui fera deſcendre le centre de gravité commun K, & fera donc augmenter la ſeconde partie $p \times \Gamma K$ du moment total. Si, à un leſt deux ou trois fois plus peſant que l'eau marine, on ſubſtituë un leſt qui le ſoit quatre fois ou cinq fois plus, il eſt certain que le centre K deſcendra conſidérablement; & il le fera encore beaucoup plus, ſi le leſt eſt d'une matiere encore plus peſante, quoique cette deſcente du centre de gravité K devienne toujours plus lente, & que la ſtabilité ait une limite à laquelle il n'eſt pas même poſſible qu'elle parvienne jamais. Il faudroit en effet que la peſanteur de toutes les parties du Navire fût nulle, & que le leſt fût au contraire d'une peſanteur ſpécifique infinie, pour que le centre de gravité K deſcendît juſqu'en E; & alors la ſtabilité du Navire qui n'eſt exprimée que par $\frac{2}{3} Sy^3 dx = p \times \Gamma g$, lorſque la peſanteur totale p ſe réunit en Γ, ſeroit exprimée par $p \times \Gamma g + p \times \Gamma E$, & ne ſeroit donc augmentée que dans le même raport que gE eſt plus grande que $g\Gamma$. On ne peut, en em-

ployant du lest plus pesant, qu approcher de cette plus grande force relative, sans jamais l'atteindre : c'est un terme qui est inaccessible, quoiqu'on doive l'avoir toujours en vûë. Mais on reconnoît en même tems que les matieres viles qui sont sept à huit fois plus pesantes que l'eau Marine, & dont on peut disposer avec facilité, procureront sensiblement, quand on le voudra, tout l'avantage possible à cet égard.

CHAPITRE IX.

Examen plus particulier du changement que reçoit la stabilité du Navire, lorsqu'on ajoute à sa carène, ou qu'on en retranche quelque partie par en bas.

I.

LA grande importance de ce sujet nous invite à nous en occuper davantage, & à examiner plus attentivement les effets que doit produire, non pas le changement total fait à une des trois principales dimensions de la carène ; mais l'addition particuliere, ou le retranchement de quelque espace peu étendu.

Il suit déja de l'Article II. du Chapitre précédent, que lorsqu'on ajoute à la carène deux espaces AH*E*h, & BH*E*h, (Fig. 60.) sans toucher aux dimensions de la coupe horisontale faite à fleur d'eau, & que le nouveau poids dont il faut charger le Navire de plus, à cause du plus grand espace qu'il occupe dans la Mer, se réunit dans le centre de gravité de ces espaces ajoutés, la stabilité est toujours exactement la même ; aussi-tôt que la pesanteur totale qu'avoit auparavant le Navire, se réunissoit dans le centre de gravité de sa carène. Car si l'addition des deux espaces augmente l'étenduë de la carène, & fait changer son centre de gravité, l'addition du nouveau poids produira

Fig. 60.

d'un autre côté le même changement à l'égard du centre de gravité commun de tout le Vaiſſeau, & le fera toujours concourir avec le centre de gravité particulier de la carène ſupoſée homogène. Or il n'en faut pas davantage, auſſi-tôt que la coupe horiſontale faite à fleur d'eau eſt toujours la même, pour que le Navire, malgré ſa plus grande peſanteur, ou la plus grande ſolidité de ſa carène, n'ait toujours que la même force, pour conſerver ſa ſituation horiſontale. Fig. 60.

Mais ce qui eſt très-digne de remarque, & ce qui donne une généralité infiniment plus grande à notre propoſition, c'eſt qu'elle ſe trouve également vraie, quoique la peſanteur totale du Vaiſſeau ſe réuniſſe dans un autre point que le centre de gravité de la carène. Nous tâcherons de nous expliquer plus clairement. *Si après avoir renflé la carène* AHEHB *par en bas, en lui ajoutant les deux parties* AHE*h* *&* BHE*h*, *qui ſupoſées homogènes, ont leur centre de gravité en* I, *on fait enſorte que le nouveau poids dont il faudra charger le Vaiſſeau, ait pour centre de gravité les mêmes points* I *ou le point* K, *qui eſt exactement au milieu ſur la ligne droite qui les joint, la ſtabilité du Navire ſera toujours préciſément la même, ſans qu'il importe en quel endroit ſoit le centre de gravité commun* G1.

Lorſqu'on ajoute à la carène les deux parties AHE*h*, & BHE*h*, que nous ſupoſons infiniment petites pour plus de facilité, quoique nos raiſonnemens ſoient généraux, le centre de gravité Γ1 de la carène conſidérée comme homogène, doit deſcendre, & il eſt évident qu'il le doit faire de la petite quantité Γ1Γ2, qui a même raport à Γ1K, que les deux parties ajoutées AHE*h*, BHE*h* à toute la carène. Ainſi ſi la hauteur du métacentre *g*1 au-deſſus du centre de gravité de la carène, ne devoit recevoir aucun changement, le métacentre ſe trouveroit enſuite en *g*2, & le petit eſpace *g*1*g*2, dont il ſeroit plus bas, ſeroit égal à Γ1Γ2. Mais la hauteur du métacentre à l'égard même du centre de gravité Γ2, doit diminuer en même raiſon qu'on a fait croître la ſolidité de la

Digitized by Google

Fig. 60. carène ; il eſt donc clair que la ſituation du métacentre g_1 ſouffre deux petits changemens : l'un g_1g_2 qui eſt égal à $\Gamma_1\Gamma_2$, & qui eſt proportionel à Γ_1K ; & l'autre g_2g_3 qui eſt proportionel à Γ_1g_1, & qui a même raport à Γ_1g_1, que les deux eſpaces AHE*h* & BHE*h* à toute la carène. Or il ſuit de-là que le changement total g_1g_3 eſt proportionel à toute la hauteur Kg_1 ; de ſorte que la hauteur du métacentre par raport au point K, diminuë toujours préciſément en même raiſon que la ſolidité de la carène augmente.

D'un autre côté le centre de gravité commun G_1 du Vaiſſeau, de ſon propre corps, de ſes agréils, de ſa charge, &c. doit recevoir auſſi quelque changement par l'addition du nouveau poids en I & en I. Ces nouveaux poids doivent faire le même effet que s'ils étoient appliqués en K ; & ils doivent faire diminuer la hauteur KG_1 de la petite quantité G_1G_2, en même raport que la ſolidité de la carène ou que la peſanteur du Vaiſſeau, eſt plus grande qu'elle n'étoit. Mais puiſque nous avons vû que Kg_1 en devenant Kg_3, diminuë en même raiſon, il ſuit (*dividendo*) que l'excès g_1G_1 d'une de ces hauteurs ſur l'autre, diminuë auſſi proportionellement. La ſtabilité du Vaiſſeau eſt donc exactement la même dans les deux circonſtances, puiſque la hauteur du métacentre par raport au centre de gravité du Navire, reçoit en moins préciſément le même changement, que la ſolidité de la carène, ou que la peſanteur du Navire reçoit en plus ; & on ſçait que le produit de deux grandeurs qui ne varient qu'en raiſon réciproque, eſt conſtamment le même.

On peut prouver la même vérité d'une maniere beaucoup plus ſimple ; mais en ſupoſant ce que nous avons dit dans le Chapitre précédent, touchant les deux parties dont la ſtabilité du Navire eſt formée, lorſque la peſanteur totale ne ſe réunit pas dans le centre de gravité de la carène. L'addition des deux parties AHE*h*, BAE*h* fait également diminuer les hauteurs $K\Gamma_1$ & KG_1 des centres de gravité de la carène & du Vaiſſeau, en raiſon inverſe

inverſe des ſolidités de la carène dans les deux états. On Fig. 60.
en conclut (*dividendo*) que les diſtances $G_2\Gamma_2$ & $G_1\Gamma_1$ de ces centres de gravité, ſont en raiſon réciproque des deux différentes ſolidités, ou des deux différentes peſanteurs totales du Vaiſſeau, & que par conſéquent le produit de la peſanteur totale par la diſtance actuelle des deux centres, eſt toujours la même. Or c'en eſt aſſez pour que la ſtabilité ne change point; puiſque ſa premiere partie eſt toujours conſtante, & que le produit ou le moment dont nous venons de parler, conſtituë la ſeconde.

II.

Mais puiſque la ſtabilité du Navire eſt toujours exactement la même, lorſque le nouveau poids qu'il faut ajouter à la charge, ſe réunit dans le centre de gravité des eſpaces ajoutés à la carène; il eſt clair que ce ne ſera plus la même choſe auſſi-tôt que cette condition ne ſera pas remplie; ainſi que cela arrivera preſque toujours. Comme le leſt eſt au moins une fois & demie, ou deux fois plus peſant que l'eau de Mer, celui qu'on ajoutera à la charge, ne remplira qu'une partie des eſpaces AHE*h*, BHE*h*, & quand même il ſeroit de même peſanteur ſpécifique que l'eau, on ne l'étendroit pas juſqu'au haut A & B de ces eſpaces; mais on le rejetteroit en partie vers le milieu de la cale. L'addition qu'on eſt obligé de faire au leſt, auſſi-tôt qu'on donne une plus grande ſolidité par en bas à la carène, a donc toujours dans les cas ordinaires & actuels, ſon centre de gravité *i* au-deſſous de celui I de l'eſpace ajouté; & il ſuit de-là que ſa force relative doit être plus grande, ou que le Vaiſſeau acquiert une nouvelle ſtabilité. La force relative doit être plus grande de tout le produit du nouveau poids par la quantité K*k*, dont ſon centre de gravité *i* ſe trouve au-deſſous de I.

Si E marque l'étenduë ou la ſolidité AHEHB de la carène, & *e* l'étenduë des deux parties AHE*h* & BHE*h* qu'on lui ajoute enſuite; ces étenduës étant proportio-

Fig. 60. nelles, & à la premiere pesanteur qu'avoit le Vaisseau, & au poids qu'il faut ensuite lui donner de plus, la stabilité sera dans le premier état exprimée par ExGIgi, & dans le second par ExGIgi + exKk. C'est-à-dire que *lorsqu'on ajoute quelque étendue à la carène par en bas, la stabilité du Navire se trouve toujours augmentée ou diminuée de tout le produit du nouveau poids qu'il faut ajouter en même tems, multiplié par la quantité dont son centre de gravité est au-dessous ou au-dessus de celui de l'espace ajouté.* La stabilité sera plus grande, si le nouveau poids est plus bas ; & elle sera au contraire plus petite, si le nouveau poids est plus haut.

III.

Il ne nous reste plus qu'un pas à faire, pour voir encore plus distinctement l'effet que doivent produire tous les changemens qu'on peut faire à la carène par sa partie inférieure. Supposons d'abord qu'elle ait la forme ABPP
Fig. 61. (Fig. 61.) & que ne changeant toujours rien à ses largeurs par en haut, on l'accroisse par en bas des deux petits triangles rectilignes ou mixtilignes OP*p*, qui sont égaux, en augmentant le plat PP des varangues de la petite quantité P*p* par chaque extrémité. La carène occupant ensuite un plus grand espace dans la Mer, il faudra donner à la charge ou au lest un plus grand poids, & la pesanteur de ce poids ajouté, doit être égale à celle du volume d'eau, dont les deux triangles OP*p*, occupent la place. Mais si la matiere du lest est, par exemple, six fois plus pesante que l'eau Marine, le poids ajouté au lieu d'occuper entierement les petits triangles OP*p*, n'en occupera que la sixiéme partie. Je suppose que ce nouveau lest se trouve comme ramassé autour des points I, & que sa pesanteur se réunisse dans ces mêmes points. La stabilité du Navire, selon l'Article I. ne sera nullement augmentée : mais il faudra nécessairement achever de remplir les triangles OP*p*, OPp, & ce doit être avec le premier lest qui parvenoit auparavant dans la cale jusqu'à

Digitized by Google

la ligne MM, & qui ne parviendra plus enſuite que juſqu'à *mm*, après que toute la quantité MM*mm* aura été employée à occuper le reſte des deux eſpaces triangulaires OP*p*. Or cette ſimple tranſpoſition fera augmenter la ſtabilité du Navire, parce que le poids ſera appliqué plus bas qu'il n'étoit, ou qu'il ſera appliqué à un bras de levier plus long; & ſon moment ſe trouvera plus grand de tout ſon produit par la quantité dont ſon centre de gravité ſera plus bas. Fig. 61.

Comme ce leſt tranſpoſé n'occupe pas les eſpaces triangulaires entiers, mais ſeulement les cinq ſixiémes, ou cinq fois plus d'eſpace que n'occupe le leſt ajouté, & qui environne immédiatement les centres de gravité I, ſa peſanteur ſera repréſentée par cinq fois l'étenduë des deux petits triangles, à proportion de celle du leſt ajouté, qui n'eſt repréſenté que par l'étenduë même de ces triangles. D'un autre côté, il aura également pour centre de gravité les points I dans chaque eſpace : car ayant ſupoſé le nouveau leſt tellement recueilli autour des points I, qu'il a ces deux points pour centre de gravité, l'eſpace qui reſte autour doit avoir encore les mêmes points pour centres. Ainſi la ſtabilité du Navire ſera ſimplement augmentée du produit du leſt tranſpoſé, multiplié par KH qui eſt la quantité dont il eſt porté plus bas. Si nous nommons, comme ci-devant, E l'étenduë entiere AOPPOB, & *e* celle des deux eſpaces triangulaires, nous aurons toujours pour la ſtabilité du Navire dans le premier état, E×G*g*, produit de l'étenduë E, qui repréſente le poids total par la quantité G*g*, dont le centre G eſt au-deſſous du métacentre *g* : mais dans le ſecond état la ſtabilité ſera augmentée du produit de la peſanteur du leſt tranſpoſé, qui eſt égale à 5*e*, multipliée par KH. C'eſt-à-dire qu'elle ſera E×G*g*+5*e*×HK.

Si le leſt au lieu d'être ſix fois plus peſant que l'eau de Mer, ne l'eſt que trois fois plus, le nouveau leſt qu'il faudra ajouter lorſqu'on augmentera l'étenduë de la carène, occupera le tiers des deux petits triangles PO*p*. Il reſte-

Fig. 61. ra donc les deux autres tiers qu'il faudra remplir avec une double quantité d'ancien leſt, & qui peſera par conſéquent deux fois plus. Ainſi la ſtabilité ſera augmentée de $2e \times HK$ produit de HK par $2e$ qui eſt alors la peſanteur du leſt tranſpoſé double de celle du leſt ajouté. Si le leſt eſt deux fois plus peſant que l'eau Marine, on verra de la même maniere que la ſtabilité du Navire ſera augmentée par l'addition des deux triangles POp, de $e \times HK$, qui eſt le produit de HK par l'étenduë ſimple de ces deux triangles. Enfin, nous avons ce Théoreme général qui doit être d'un grand uſage, & qui répand un nouveau jour ſur toute cette matiere, que *ſi* n *exprime le nombre de fois dont la peſanteur ſpécifique du leſt eſt plus grande que celle de l'eau Marine, la ſtabilité du Vaiſſeau qui étoit exprimée par* $E \times Gg$, *reçoit par l'addition des deux petits triangles* OPp, *ou de tout autre eſpace ajouté vers le bas de la carène, une augmentation toujours exprimée par le produit du multiple* $n-1$ *de l'étenduë* e *de ces eſpaces multipliés par la quantité verticale* HK, *dont leur centre de gravité commun* H *eſt au-deſſous de la ſurface ſupérieure du leſt, ou au-deſſous, pour parler dans la derniere préciſion, du centre de gravité de* MM*mm*.

Il n'eſt pas, je crois, néceſſaire d'avertir que ce Théoreme n'a lieu que lorſque les eſpaces ajoutés à la carène, ne ſont pas au-deſſus de la ſurface ſupérieure du leſt: Si ces eſpaces étoient ajoutés au niveau de cette ſurface, il ne ſe feroit aucune tranſpoſition de leſt, qui le portât plus bas; & le nouveau leſt qu'il faudroit ajouter, n'augmenteroit auſſi en rien la ſtabilité qui reſteroit donc la même à cet égard, conformément au Théoreme. Mais ſi les petits eſpaces qu'on ajoute à la carène ſont au-deſſus de la ſurface du leſt, on gagne alors réellement, parce que le leſt qu'il faut joindre à l'ancien, ne ſe met pas dans ces eſpaces mêmes, mais s'étend ſur l'ancien. C'eſt pourquoi la ſtabilité du Navire eſt augmentée du produit des eſpaces ſimplement ajoutés *e*, par la quantité dont leur centre de gravité eſt élevé au-deſſus de la ſurface du leſt.

Digitized by Google

IV.

Il réſulte de tout ce qu'on vient de dire, qu'il y a toujours réellement de l'avantage, & un avantage conſidérable à augmenter la ſolidité de la carène par en bas & par les côtés, comme dans les figures 60 & 61; & il eſt également clair qu'auſſitôt que ſes plus grandes dimenſions ſont déja fixées, ſa longueur, ſa plus grande largeur, ſa profondeur, on ne peut pas lui donner de forme préferable à celle d'un parallelipipede rectangle; puiſqu'en ajoutant continuellement de nouvelles parties AHE*h*, ou OP*p*, on conſére toujours au Vaiſſeau une nouvelle ſtabilité. Toutes les figures ſeroient abſolument indifférentes ou également parfaites, nous le répetons encore, ſi le nouveau poids qu'il faut néceſſairement donner de plus à la charge, quand on augmente la carène, étoit placé dans le centre de gravité de l'eſpace ajouté, ou ſi toute la maſſe du leſt ne deſcendoit pas: mais auſſi-tôt qu'on ne peut pas ſe diſpenſer de mettre le poids plus bas, il y aura toujours à gagner du côté de la grandeur du moment, ou de cette force avec laquelle le Navire conſerve ſa ſituation horiſontale. On a donc ici des moyens infaillibles de corriger les projets qu'on aura trouvé défectueux, ou qui n'auront pas pû ſoutenir l'examen expliqué dans le Chapitre VI. & on le pourra faire avec le même ſuccès, ſoit qu'on touche à la largeur de la carène, ſoit qu'on touche à ſa profondeur, ſoit enfin qu'on ne faſſe que changer la peſanteur ſpécique du leſt. On a vû combien ce dernier moyen eſt efficace; & il ne faut pas douter que certains Vaiſſeaux qu'on regarde comme inutiles, ne devinſſent très-capables d'aller en Mer, ſi on leur donnoit un leſt entierement de fer. Fig. 60 & 61.

V.

Pour revenir aux dimenſions de la carène, la largeur, telle qu'elle eſt fournie actuellement par les régles ordinaires, eſt accommodée à la groſſeur de l'artillerie, & au

nombre d'hommes dont on veut que l'équipage ſoit formé; de ſorte qu'on peut dire qu'auſſitôt qu'on ſe propoſe de faire un Vaiſſeau d'un certain rang, ou d'un certain nombre de canons, ſa largeur eſt comme *donnée*: Elle l'eſt par toutes les conditions ajoutées par l'uſage auquel on deſtine le Vaiſſeau. Mais qu'on s'arrête à la largeur qu'on voudra, il n'y aura toujours pour rendre le Navire plus ſtable, qu'à donner plus de profondeur à ſa carène, ou qu'à la groſſir par en bas, en donnant plus de plat à ſes varangues. On pourroit enfin augmenter la profondeur à l'infini, & avec avantage; au lieu qu'il y a toujours du riſque à la trop diminuer. Ainſi s'il nous reſte quelque choſe à faire, c'eſt de chercher cette moindre profondeur qui ſert de terme, ou celle qu'il faut au moins donner au Navire pour le mettre en ſureté.

CHAPITRE X.

Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la Carène des Vaiſſeaux qui ſont très-chargés par en haut, pour que leur centre de gravité ſoit effectivement au-deſſous du métacentre.

I.

IL s'agit principalement dans les plus grands Vaiſſeaux de faire enſorte que leurs batteries ne ſoient pas noyées, ou qu'elles ſoient aſſez élevées au-deſſus de la ſurface de la Mer. Nous commencerons par remplir d'abord cette condition qui occupe aujourd'hui ſi fort, & avec raiſon, les Conſtructeurs: Nous regarderons comme donnée la quantité dont le bord du Vaiſſeau doit être élevé au-deſſus de l'eau; & nous travaillerons enſuite à remplir les autres vûës. Nous venons de reconnoître que plus les coupes de la carène faites perpendiculairement à la lon-

Digitized by Google

gueur, approchent d'avoir la figure de rectangles, plus le Vaiſſeau a de ſtabilité: Nous ne ſçaurions donc mieux faire que de lui attribuer la forme d'un parallelipipede rectangle; cela n'empêchera pas que l'examen que nous allons entreprendre, ne nous fourniſſe des vûës générales, qui auront leur application aux Vaiſſeaux de toutes les figures.

Je ſupoſe que AEB (Fig. 62.) eſt la carène du Vaiſſeau, ou plutôt ſa coupe verticale faite perpendiculairement à ſa longueur; c'eſt-à-dire que AB eſt la longueur ou la grandeur du bau, & FE eſt le creux ou la profondeur. Je regarde comme déja déterminée la longueur du Vaiſſeau, de même que la largeur AB, le nombre de ſes ponts, ſon artillerie, les dimenſions de ſa mâture, la hauteur des ponts au-deſſus de la ſurface de la ſurface de l'eau. Tout cela conſtituë le Vaiſſeau d'un certain rang ou d'une certaine grandeur, & il s'agit ſimplement de trouver la profondeur FE que doit avoir la carène. Les dimenſions en un mot de tout ce qui doit être au-deſſus de la ſurface de l'eau, ſont arrêtées; & il n'eſt queſtion que de déterminer la grandeur de la carène qu'on doit mettre en-deſſous. Sa profondeur doit être au moins aſſez grande, pour que la *pouſſée verticale* de l'eau puiſſe ſoutenir la peſanteur de toutes les choſes que nous venons de ſpécifier. Mais il s'agit de trouver de combien on doit l'augmenter encore, afin que la partie ſubmergée étant plus grande que ne l'exige la peſanteur particuliere du Vaiſſeau, on puiſſe mettre dans la cale, s'il le faut, une certaine quantité de leſt, & faire enſorte que le centre de gravité du tout ſe trouve au-deſſous du métacentre. Je nomme *c* la moindre profondeur que puiſſe avoir la carène; cette profondeur qui lui eſt néceſſaire pour que la peſanteur particuliere du Vaiſſeau ſans leſt, ne vainque pas la pouſſée verticale de l'eau. Je nomme *a* la demi-largeur de la carène; *b* la quantité GF, dont le centre de gravité particulier du Vaiſſeau, de ſon artillerie & de ſes agréils, eſt élevé au-deſſus de

Fig. 62.

Digitized by Google

Fig. 62. la surface de l'eau : la situation de ce centre pourra toujours se trouver aisément par les calculs du Chapitre V. puisque toutes les parties du Vaisseau qui forment principalement la pesanteur, sans même excepter la carène jusqu'à la profondeur c, sont données; & à l'égard de ce qui est au-dessous de ce terme, on peut le confondre avec le lest. On rendra d'ailleurs b plus ou moins grande, selon qu'on voudra que le Vaisseau soit plus ou moins élevé au-dessous de l'eau. Enfin je désigne par m & n le raport de la pesanteur spécifique de lest à celle de l'eau de Mer; & par x la profondeur inconnuë FE que doit avoir la carène, ou la seule partie sujette à se plonger.

II.

Solution Analytique.

Puisque la pesanteur du Vaisseau dans ses différens états, est proportionelle à la solidité de ses parties submergées, & que ces parties, à cause de la forme de la carène en parallelipipede rectangle, sont exactement proportionelles à leurs profondeurs, nous pouvons exprimer la pesanteur particuliere du Vaisseau, de son artillerie & de ses agréils par c, & la pesanteur particuliere du lest par l'excès $x - c$ d'enfoncement qu'il produit. Mais quoique la pesanteur du lest soit exprimée par $x - c$, ce n'est pas à dire pour cela qu'il occupera dans la cale toute la hauteur $x - c$. Il l'occuperoit s'il étoit de même pesanteur que l'eau de Mer; mais comme il est plus ou moins pesant dans le raport de m à n, il doit occuper une hauteur EK plus petite ou plus grande dans le même raport, & il évident que cette hauteur sera exprimée par $\frac{n}{m} \times \overline{x - c}$. Le centre de gravité H du lest doit se trouver au milieu de cette hauteur, c'est-à-dire qu'il sera élevé au-dessus de la quille ou du fond de la carène, de $\frac{n}{2m} \times \overline{x - c}$; & puisque la pesanteur qui se réunit dans ce centre,

centre, eſt repréſentée par $x - c$, nous aurons $\frac{n}{2m}$ Fig. 62, $\times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ pour ſon moment par raport à la quille. Il eſt encore plus facile de trouver l'expreſſion du moment de la peſanteur particuliere du Vaiſſeau qui ſe réunit dans le centre de gravité G. Ce centre eſt élevé au-deſſus de la ſurface de l'eau de la quantité $GF = b$, & ſa hauteur au-deſſus du fond de la carène, eſt donc $b + x$. Or n'y a qu'a multiplier cette hauteur par l'enfoncement c de la carène qui exprime la peſanteur particuliere du Vaiſſeau auquel il ne manque que ſon leſt, & il viendra $bc + cx$. Enfin ajoutant ce moment avec celui $\frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ du leſt, & en diviſant la ſomme $bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ par celle des peſanteurs, ou par x qui la repréſente; puiſque x eſt la ſomme de c & de $x - c$, & qu'il déſigne l'enfoncement total de la carène, nous trouverons $\frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$ pour la hauteur EG1 du centre de gravité G1 commun du Vaiſſeau & de ſon leſt, &c.

Ainſi il n'eſt plus queſtion que de chercher l'expreſſion de la hauteur Eg du métacentre g, & de faire enſorte que cette hauteur ſoit plus grande que la précédente. Selon ce qu'on a vû au commencement du Chapitre IV. la hauteur du métacentre g au-deſſus du centre de gravité de la carène conſiderée comme homogène, eſt $\frac{a^2}{3x}$, & puiſque ce dernier centre qui eſt au milieu de la profondeur x, eſt déja élevé de $\frac{1}{2}x$, nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ pour la hauteur totale Eg du métacentre au-deſſus du fond de la carène; & c'eſt donc cette hauteur qui doit néceſſairement être plus grande que celle EG1 $\left(= \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}\right)$ du centre de gravité G1 commun du Vaiſſeau & de ſon leſt. C'eſt-à-dire que

Digitized by Google

Fig. 62. nous aurons $\frac{a^2}{3x}+\frac{1}{2}x > \frac{bc+cx+\frac{n}{2m}\times x^2-2cx+c^2}{x}$, ou si k désigne la quantité précise dont on veut que le métacentre soit au-dessus du centre de gravité commun G1, on aura $\frac{a^2}{3x}+\frac{1}{2}x = k+\frac{bc+cx+\frac{n}{2m}\times x^2-2cx+c^2}{x}$, dont on tirera la formule . . . . . .

$$x = \frac{mk+\overline{m-n}\times c+\sqrt{\overline{m-n}\times 2mbc-\overline{m+n}\times\frac{1}{3}ma^2+\overline{m-n}\times 2mkc+m^2k^2+\overline{m-n}\times mc^2}}{m-n}$$

qui satisfait à la question.

Si cependant le lest étoit de même pesanteur spécifique que l'eau marine, je crois qu'il vaudroit mieux chercher la valeur de x immédiatement dans l'équation $\frac{a^2}{3x}+\frac{1}{2}x = k+\frac{bc+cx+\frac{n}{2m}\times x^2-2cx+c^2}{x}$, que dans la formule même. Alors $m=n$, & le Problême devient simple; on trouve $x=\frac{\frac{1}{3}a^2-bc-\frac{1}{2}c^2}{k}$, qui nous apprend que $\frac{1}{3}a^2$ doit être absolument plus grande que $bc+\frac{1}{2}c^2$, & qu'aussitôt que cette condition a lieu, le centre de gravité commun du Vaisseau & de la charge, est toujours, comme il le doit être, au-dessous du métacentre. Il l'est en effet de la quantité $k=\frac{\frac{1}{3}a^2-bc-\frac{1}{2}c^2}{x}$, que la condition que nous venons de spécifier, rend nécessairement positive; au lieu que si $\frac{1}{3}a^2$ étoit moindre que $bc+\frac{1}{2}c^2$, la quantité k deviendroit négative, & par conséquent le métacentre ne se trouveroit plus au-dessus du centre de gravité commun G1 du Vaisseau & de sa charge, mais au-dessous; ce qui causeroit la perte inévitable du Vaisseau. Ainsi il faudroit alors refondre le projet dès le commencement: il faudroit ou diminuer le nombre des ponts, ou rendre l'artillerie beaucoup moins pesante, ou enfin augmenter la demi-largeur a de la carène.

Nous ne pouvons pas nous empêcher de le répeter,

Digitized by Google

qu'en même tems que cette condition de $\frac{1}{3}a^2$ plus grande que $bc+\frac{1}{2}c^2$ est indispensable dans la supposition que le lest ne pese pas plus que l'eau marine, son observation fait tout; puisqu'aussitôt qu'elle a lieu, le centre de gravité G est nécessairement au-dessous du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène : de sorte qu'alors il n'y a point à se tromper. Cette régle doit être d'un usage d'autant plus étendu, & applicable aux Vaisseaux qui ont une figure plus différente du parallelipipede rectangle, qu'elle est tirée du cas même le moins favorable; car le lest aura ordinairement une pesanteur spécifique, presque double de celle de l'eau marine, & quelquefois trois ou quatre fois plus grande; ce qui donnera au Navire une nouvelle force pour conserver sa situation horisontale. On sçaura donc si un projet de Vaisseau doit réussir par ce simple calcul. *On ajoutera la quantité* (b), *dont son centre de gravité particulier est élevé au-dessus de l'eau, avec la moitié de la moindre profondeur* (c), *que doit avoir la carène, pour que la M r puisse le soutenir, lorsqu'il n'a point de charge étrangere : on multiplira cette somme par la moindre profondeur* (c), *& il ne restera plus qu'à voir si le produit* ($cb+\frac{1}{2}c^2$) *est effectivement moindre que le tiers du quarré de la demi-largeur* (a) *du Navire.* Fig. 61.

Cet examen ne sera absolument nécessaire que pour les plus grands Navires, dans lesquels les Constructeurs sont le plus sujets à ne pas réussir; c'est pour cela que nous prendrons pour exemple un Vaisseau du premier rang. Je suposé qu'on a déja cherché de combien doit être la moindre profondeur de la carène pour soutenir le poids de sa mâture, de ses agréils, de son artillerie, des ponts, des dunettes, de l'équipage même, & qu'on examine en même tems combien le centre de gravité de toutes ces choses est élevé au-dessus de l'eau. Si la moindre profondeur est de 10 pieds, & la hauteur du centre de gravité de 11, pendant que la largeur du Vaisseau est de 48; on aura $a=24$; $c=10$, & $b=11$. & comme le tiers 192 du quarré de a est considérablement plus grand que 160,

qui eſt la valeur de $bc + \frac{1}{2}c^2$, ce ſera une marque que le projet peut réuſſir, & qu'on peut donner à la carène quelle profondeur on voudra, plus grande que c. Lorſque $\frac{1}{3}a^2$ ſurpaſſera $bc + \frac{1}{2}c^2$ d'une moindre quantité, il y aura moins de ſureté, & il faudra quelquefois ſe réſoudre à retranche quelque choſe des parties ſupérieures du Vaiſſeau, à moins qu'on ne puiſſe remedier au mal, comme nous l'avons dit, en faiſant le leſt d'une plus grande peſanteur ſpécifique.

III.

Conſtruction géométrique du même Probléme.

On peut pour répandre un plus grand jour ſur toute cette matiere, repréſenter les hauteurs du centre de gravité commun du Vaiſſeau & de ſon leſt, à peu près de la même maniere que nous avons repréſenté celles du métacentre dans le Chapitre VII. * On ſe reſſouvient que les hauteurs de ce dernier point ſont repréſentées par les ordonnées eg, Fg d'une hyperbole ggg, (Fig. 63.) comparée à la droite FD, dont les parties FE, FD repréſentent les profondeurs variables du Vaiſſeau. L'hyperbole ggg a pour aſymptotes les lignes FB & FM; & pendant que mg ou Mg marque la hauteur qu'a le métacentre, par raport au centre de gravité de la carène ſupoſée homogène, les parties em & EM qui ſont proportionelles aux profondeurs Fe ou FE, marquent la quantité dont ce dernier point eſt élevé au-deſſus du fond de la carène; & de cette ſorte les ordonnées entieres eg ou E, marquent les hauteurs completes du métacentre au-deſſus de ce même fond. Dans le cas que nous examinons actuellement, les hauteurs du métacentre ſont exprimées par $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$, le ſecond terme répond à em ou EM, & le premier à mg ou à Mg.

* Article IV.

Fig. 63.

Nous avons trouvé d'un autre côté que la hauteur du centre de gravité commun du Vaiſſeau & de la charge,

Digitized by Google

est représentée par $\frac{cb + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x}$ à laquelle on Fig. 63.
peut donner cette forme $\frac{m-n}{m} \times c + \frac{n}{2m} x + \frac{\frac{n}{2m} c^2 + cb}{x}$
qui contient trois termes distincts, dont le premier est absolument constant; le second proportionel à la profondeur de la carène, & le troisiéme suit la raison inverse de cette même profondeur. Je représente le premier terme par les constantes *el*, ou EL, terminées entre FD & la parallele CL, qui en est éloignée de la distance $FC = \frac{m-n}{m} c$. Je viens à bout de représenter le second terme $\frac{2m}{n} x$ par *lk* ou LK, en tirant du point C la ligne CI, de maniere que CL soit à LK comme $2m$ est à n; & enfin le troisiéme terme $\frac{\frac{n}{2m} c^2 + bc}{x}$, est représenté par les parties *k*G ou KG, qui se terminent à l'hyperbole GGG, qui a CB & GI pour asymptotes, & dont $\frac{n}{2m} c^2 + bc$ est la puissance. Ainsi les ordonnées entieres *e*G, EG marquent les hauteurs du centre de gravité commun du Vaisseau & de son lest au-dessus du fond de la carène pour toutes les différentes supositions ou hypothèses de profondeurs de carène. On voit aisément entre toutes ces hypothèses celles qu'il faut exclure, ou celles qu'on peut adopter, parce qu'elles rendent la hauteur du centre de gravité commun plus grande ou plus petite que la hauteur du métacentre. Ces deux hauteurs ne font encore que commencer à devenir égales, lorsque FE est la profondeur de la carène; mais qu'on rende cette profondeur un peu plus grande, qu'on la fasse égale à FD, le métacentre se trouvera au-dessus du centre de gravité, de toute la quantité Gg, dont Dg est plus grande que DG; & si on veut avoir la stabilité du Vaisseau, il n'y aura qu'à multiplier Gg par la profondeur FD qui est ici proportionelle à la pesanteur totale. On n'a garde de don-

Digitized by Google

Fig. 63. ner cette conſtruction du Problême pour la plus ſimple; mais on ne peut s'empêcher de dire qu'elle eſt la plus lumineuſe de toutes : c'eſt ce qui nous la fait choiſir.

Si la peſanteur ſpécifique du leſt eſt égale à celle de l'eau marine, nous aurons $m = n$; & l'expreſſion $\frac{m+n}{m}c + \frac{n}{2m}x + \frac{\frac{n}{2m}c^2+bc}{x}$ de la hauteur du centre de gravité du Vaiſſeau, ſe réduira à $\frac{1}{2}x + \frac{\frac{1}{2}c^2+bc}{x}$. Ainſi l'intervalle FC deviendra nul, la ligne CI tombera ſur FM, comme dans la figure 64, & les deux hyperboles GGG & & *ggg*, qui auront les mêmes aſymptotes, ne différeront entr'elles qu'à cauſe de leur différentes puiſſances $\frac{1}{2}c^2+bc$, & $\frac{1}{2}a^2$. Lorſque la puiſſance de la premiere GGG ſera plus grande que celle de la ſeconde *ggg*, les hauteurs du centre de gravité ſeront conſtamment plus grande que celles du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène; & il faudra par conſéquent retourner ſur ſes pas pour corriger tout le projet de plus loin. Mais ſi $\frac{1}{2}a^2$ eſt plus grand que $\frac{1}{2}c^2+bc$, l'hyperbole *gg* qui marque les hauteurs du métacentre, ſera en-dehors de l'autre hyperbole, & alors on pourra donner quelle profondeur on voudra à la carène. On ne pourra pas lui en donner une plus grande ſans ſe trouver obligé de donner auſſi plus de peſanteur au Vaiſſeau; mais comme dans ce cas particulier la quantité *Gg*, dont le centre de gravité ſera au-deſſous du métacentre, diminuera en même raiſon, la ſtabilité du Navire ſera toujours la même; ce qui eſt conforme à ce que nous ſçavions déja.

Fig. 64.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

Trouver par une expérience très-ſimple dans les Vaiſſeaux déja conſtruits, ſi le centre de gravité a la ſituation qu'on ſe propoſoit de lui donner.

IL ſera ſans doute très-avantageux, après que le Vaiſſeau ſera conſtruit & tout-à-fait armé, de pouvoir vérifier dans le Port même, & avant le départ, ſi le centre de gravité & le métacentre ſont effectivement diſpoſés l'un par raport à l'autre, comme ils doivent l'être. Quelquefois pluſieurs choſes ſont arrangées & placées différemment; la conſommation des munitions dans une longue campagne va auſſi très-loin: & il eſt commode de voir tout d'un coup les changemens qui réſultent de tout cela. C'eſt ce qu'on peut toujours ſçavoir par une expérience très-ſimple, dont nous devons la premiere idée au Pere Hoſte.

Si l'on met à côté du Navire OEC (Fig. 55) en-dehors un aſſez grand poids P, à l'extrémité Q d'une piéce de bois placée en travers, ce poids fera incliner le Vaiſſeau juſqu'à un certain terme; juſqu'à ce qu'il y ait équilibre de part & d'autre de la direction γZ de la pouſſée verticale de l'eau, entre le poids d'un côté & la peſanteur du Vaiſſeau de l'autre. Le centre de gravité commun G, eſt exactement dans la même verticale que le métacentre *g*, lorſque le Navire étant laiſſé à lui-même, eſt dans ſa ſituation horiſontale. Mais à meſure que l'inclinaiſon augmente, le centre de gravité G s'éloigne de la verticale γZ du métacentre; & il eſt évident que la diſtance GT à cette ligne, eſt continuellement proportionelle au ſinus de l'inclinaiſon, au moins lorſque le Navire s'incline très-peu. Or connoiſſant cette diſtance & de plus la peſanteur totale du Vaiſſeau, on aura ſon moment ou la force re- Fig. 55.

Digitized by Google

Fig. 55. latiye avec laquelle cette pesanteur travaille à rétablir le niveau. Mais puisqu'on connoît également la situation & la pesanteur du poids qui produit l'inclinaison, on pourra voir si un moment est égal à l'autre, celui du poids à celui de la pesanteur du Navire, ou à sa stabilité effective : & on reconnoîtra aisément de cette sorte si le centre de gravité a réellement la place qu'on vouloit lui donner.

On ne sçauroit dans cette expérience mesurer l'inclinaison du Vaisseau avec trop de précision ; car c'est delà que dépend tout le succès de l'examen. On se servira pour cette mesure ou de la ligne qui est à très-peu près de niveau, que fournit l'horison sensible de la Mer, ou bien d'un fil à plomb qu'on attachera vers la tête du mât, & dont on examinera en bas la distance au mât dans les deux états du Navire, lorsqu'il est censé de niveau, & lorsqu'il est incliné. L'usage du fil à plomb me paroît principalement commode, parce qu'il fournit immédiatement le raport selon lequel le centre de gravité s'éloigne de la verticale du métacentre : car il est facile de voir que ce centre s'éloigne toujours sensiblement de la verticale de l'autre point, dans le même raport que le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât. On sera attentif aussi pendant toute la durée de l'opération, de rendre toutes les circonstances absolument les mêmes, afin d'être sûr que l'inclinaison produite, ne vient que de l'application du poids sur le côté du Navire. On aura sans doute besoin du secours de plusieurs personnes pour disposer tout ; mais il faudra les faire ensuite retourner à leur place, pendant qu'on examinera seul la distance du fil à plomb, & qu'on prendra les autres mesures. La pesanteur de deux ou trois personnes, & quelquefois de huit ou dix, peut se négliger dans cette rencontre : au lieu que le poids de tous les hommes qui forment l'équipage, doit produire des changemens si sensibles, que je crois qu'on pourroit s'en servir dans les expériences, comme de celui dont on dispose le plus aisément,

Digitized by Google

sément, ou qu'il est le plus facile de faire passer d'un endroit à l'autre. Fig. 55.

On apprendroit par le même moyen la situation du centre de gravité du Vaisseau, si on ne connoissoit seulement que celle du métacentre. Car sçachant la quantité du poids P qui produit l'inclinaison, & examinant sa distance RZ au métacentre, ou à la verticale qui passe par ce point, & sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau, on a son moment ou sa force relative qui est égale, à cause de l'équilibre, à celle de la pesanteur du Navire, ou à sa stabilité. Ainsi il n'y a qu'à diviser ce moment par la pesanteur totale du Vaisseau, & il viendra au quotient la quantité dont le centre de gravité G est éloigné de la verticale γZ du métacentre. Si le poids qui fait incliner le Navire est de 5 tonneaux, & qu'il soit éloigné de 30 pieds de la direction γZ, son moment sera exprimé par 150, & si on divise ce moment par la pesanteur totale du Navire que je supose de 1800 tonneaux, on apprendra que le centre de gravité est éloigné de la verticale γZ de $\frac{5}{60}$ pied ou d'un pouce. Il sera facile après cela de découvrir combien le centre de gravité est au-dessous du métacentre g : puisque, comme nous l'avons déja vû, il y a toujours même raport de la quantité dont le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât, à la hauteur même du mât, que de l'intervalle GT (1 pouce) qu'il y a entre le centre de gravité G & la verticale γZ du métacentre, à la quantité Gg, dont un de ces points est au-dessous de l'autre. Si le fil à plomb sur une longueur de 50 pieds, s'éloigne du mât par en bas d'un pied, on aura cette proportion ; 1 est à 50, comme la distance (1 pouce) du centre de gravité à la verticale du métacentre, est à 50 pouces, ou à 4 pieds 2 pouces pour la quantité requise Gg, dont le centre de gravité est au-dessous de l'autre point. On peut remarquer que pour rendre cette détermination exacte, il n'est pas nécessaire d'une connoissance bien précise de la situation du métacentre : on pourra souvent supoſer ce point au milieu de la largeur

OC du premier pont. Plus auſſi le poids dont on ſe ſervira pour faire incliner le Vaiſſeau, ſera petit, plus il faudra le mettre à une grande diſtance; & plus l'erreur de quelques pouces qu'on pourra commettre ſur ſa diſtance horiſontale au métacentre, deviendra inſenſible.

Enfin, dans les cas mêmes où l'on ne connoîtra ni la ſituation du centre de gravité, ni celle du métacentre, l'expérience dont il s'agit, aura au moins cette utilité très-conſidérable, d'apprendre ſi ces deux points ſont toujours diſpoſés de la même maniere, l'un par raport à l'autre. On ſe trouvera de cette ſorte en état de profiter des tentatives qu'on aura faites dans les autres voyages, & de retrouver aiſément cette diſpoſition du Vaiſſeau qui contribuë le plus à la viteſſe de ſon ſillage, & que les Marins nomment ſon *aſſiette*. Ce n'eſt que par des eſſais répetés une infinité de fois qu'on a pû ſaiſir juſqu'à préſent cette diſpoſition. Quoique les Conſtructeurs n'oublient jamais de marquer dans leur plan la *ligne d'eau*, ou la ligne juſqu'à laquelle ils ſe propoſent de faire caler leur Navire, il n'eſt que trop vrai qu'ils n'ont aucune méthode réelle pour reconnoître s'il ne ſeroit pas plus avantageux qu'il plongeât plus ou moins, & qu'ils ignorent également combien il doit plus enfoncer par la poupe que par la prouë; témoin la régle que nous avons refutée dans le Chapitre X de la premiere Section du premier Livre. C'eſt pourquoi il faut ſouvent en Mer ſe donner de ſi grandes peines, & quelquefois inutilement, pour trouver l'état dans lequel un Navire ſingle le mieux.

Il s'eſt quelquefois trouvé des Marins qui ont réuſſi d'une maniere toute particuliere dans cette recherche. Je vis en paſſant à Breſt à la fin de 1730, qu'on y convenoit aſſez généralement que feu M. le Chevalier de Goyon * qui vivoit alors, étoit plus heureux ou plus adroit qu'un autre dans ces ſortes de tentatives. Bien perſuadé que ſes eſſais pouvoient lui ſervir dans les occaſions les plus importantes, il faiſoit faire dans ſon Vaiſſeau une infinité de

* Capitaine de Vaiſſeau & Commiſſaire General d'Artillerie.

Digitized by Google

différens changemens, jusqu'à ce qu'il parvenoit à lui donner une disposition avantageuse qu'on ne lui avoit point encore vuë. Il mettoit tout en mouvement, il essayoit toutes les situations; & de cette sorte il tiroit souvent partie du plus mauvais voilier. Mais malheureusement c'étoit un art tout particulier qu'avoit cet habile Officier; & des essais pareils aux siens, ou même faits avec plus de méthode, se borneront toujours à la seule utilité présente, si lorsqu'on a eu le bonheur de trouver *l'assiette*, on n'a pas le soin de la constater, & de prendre, pour ainsi dire, des repaires, pour pouvoir la retrouver infailliblement une autrefois. Ce n'est pas assez de se souvenir en général, que tel Navire demande à être plus chargé vers l'arriere que vers l'avant, ou qu'il faut sur-tout bien prendre garde de ne pas *rendre ses hauts trop pesants*. Des connoissances aussi vagues, dont on s'est contenté jusqu'à présent, n'empêchent pas qu'on ne soit obligé de recommencer un nouveau tâtonnement chaque campagne, & même sans être sur de réussir.

Tous les Vaisseaux ayant sur leur étrave & sur leur étambot une espece *d'échelle* ou de graduation en pieds & en pouces pour marquer la quantité de l'enfoncement de la proüe & de la poupe; on peut, avec cette graduation, sçavoir toujours avec facilité, & si la pesanteur totale est la même, & si elle est outre cela distribuée de la même maniere par raport à la longueur du Vaisseau, si le centre de gravité est plus vers l'avant ou plus vers l'arriere. Cette connoissance qui est déja très-importante, ne suffisant pas, puisque la pesanteur totale, quoique la même, & quoique distribuée de la même maniere dans le sens horisontal, peut avoir son centre plus ou moins haut, il faut avoir recours à l'expérience que nous proposons. Les Pilotes n'oublient jamais de mentionner dans leurs Journaux de combien de tonneaux leur Navire est chargé, la quantité dont il plonge; ils n'obmettent pas même le nombre de canons dont il est armé : ils n'auront qu'à se faire une loi de spécifier aussi toujours le poids qu'il faut

mettre sur son flanc pour le faire incliner d'une quantité déterminée. Et ils pourront observer la même chose à l'égard de quelques autres particularités distinctives que nous indiquerons dans la suite.

Il semble après cela que nous n'ignorerons aucune des circonstances de la pesanteur qui contribuent à la sureté & à la perfection de la Navigation : car que connoître de plus que la quantité de cette pesanteur, & le point précis dans lequel elle se réunit ? Il ne paroît pas même que les Mathématiciens qui ont examiné le plus cette matiere, y ayent soupçonné autre chose. Nous avons cependant à pousser nos Recherches encore plus loin, si nous voulons rendre notre examen complet. La pesanteur d'un Vaisseau peut être précisément la même, se réunir très-exactement dans le même centre, ou dans un point également élévé & également situé par raport à la longueur de la carène, & que ses effets soient très-différens. Ses effets seront précisément les mêmes, tant que le Vaisseau conservera un parfait repos, ou pour parler plus exactement, tant qu'il conservera la même situation ; mais ils commenceront à devenir différens aussi-tôt que le Navire sera sujet à ces balancemens qu'on nomme *roulis*, qui se font d'un côté à l'autre, & qui ont même lieu, lorsque le Navire ne single pas. Si quelque cause extérieure, comme l'agitation presque continuelle de la Mer, ou le choc irrégulier de quelques vagues, lui fait perdre sa situation horisontale, il y revient de lui-même avec viteſſe : il contracte dans son retour un mouvement qui le fait s'incliner de l'autre côté, & ses oscillations durent quelquefois assez long-tems, pour que la cause extérieure se renouvelle & agisse une seconde fois ; ce qui perpetuë le mouvement. Les Lecteurs Géométres voient déja le raport qu'ont ces balancemens avec le mouvement des Pendules qu'on a si fort examiné depuis Galilée & M. Descartes. Mais il s'en faut beaucoup que le raport soit parfait ; il admet des différences qu'on ne doit pas manquer de discuter.

Digitized by Google

TROISIE'ME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par raport au mouvement du roulis.

CHAPITRE PREMIER.

Du point autour duquel le Vaisseau fait les balancemens qu'on nomme roulis, & de la part qu'a la pesanteur dans ces balancemens.

I.

AUSSI-TÔT que quelque cause extérieure a fait incliner le Navire, deux forces, comme nous l'avons assez montré, travaillent toujours à le redresser, pourvû que le centre de gravité & le métacentre soient disposés comme ils doivent l'être. L'une de ces forces est la poussée verticale de l'eau, qui agissant de bas en haut, suspend, pour ainsi dire, le Navire en le tirant en haut; & l'autre force est la pesanteur même du Vaisseau qui agit & tire en bas. Le Navire, en revenant à sa situation horisontale, doit tourner sur un certain point; & la premiere question qui se présente à résoudre, & qui est, peut-être, la plus difficile, est de déterminer quel est ce point. On est d'abord tenté de croire qu'il est précisément entre les deux centres dans lesquels se réunissent la poussée de l'eau & la pesanteur du Navire; & cela, parce qu'on voit

que ces deux forces qui agiſſent ſeules dans cette rencontre, ſont parfaitement égales; les deux forces réſident l'une au centre de gravité du Navire, l'autre au centre de gravité de la partie ſubmergée; elles doivent donc faire tourner le Vaiſſeau ſur le point du milieu. On n'a pas fait autant d'attention à cette queſtion d'Hydroſtatique qu'elle le méritoit; peu de perſonnes en ont traité: mais c'eſt ſous cette même face qui eſt effectivement très-plauſible, qu'elle s'eſt offerte à preſque tous ceux qui l'ont examinée. Je n'ai vû enfin aucun Auteur qui ne ſe ſoit trompé dans cette Recherche. Borelli a prétendu, par exemple, dans ſon Traité *de motu animalium*, que les corps ſubmergés tournoient autour de leur centre de figure, & il n'en a été cenſuré que par quelques perſonnes qui tomboient dans l'autre erreur, dont je viens de parler *.

* Ceci étoit exactement vrai, lorſque je l'écrivois. Ce n'eſt qu'à mon retour du Pérou que j'ai vû que M. Bernoulli avoit réſolu le même Problême dans le quatriéme Tome de ſes Oeuvres publiées en 1742. M. Euler en avoit, déja donné une autre ſolution, qui ne peut pas manquer d'être auſſi très-élegante; mais elle ne m'eſt pas encore tombée entre les mains.

Il eſt vrai que ſi deux puiſſances égales appliquées aux deux extrémités d'un levier, agiſſent perpendiculairement à ce levier en ſens contraires, elles le feront tourner préciſément ſur ſon milieu: car ſur quel autre point le feroient-elles tourner? L'égalité parfaite qui ſe trouve entre les deux puiſſances, de même qu'entre leurs diſpoſitions, fait qu'il n'y a pas plus de raiſon pour que *le centre de converſion* ſoit plus vers une extrémité que vers l'autre; il eſt donc, non pas phyſiquement, mais métaphyſiquement, néceſſaire qu'il ſe trouve au milieu. Mais ce n'eſt que lorſque le levier eſt d'une peſanteur égale dans toute ſa longueur, ou que lorſqu'on fait abſtraction de ſa peſanteur: car s'il eſt plus peſant vers une extrémité, ce ſera une raiſon pour que le centre de rotation s'en approche; puiſque cette extrémité ſera moins facile à mouvoir, pendant que l'autre ſera plus mobile. Il eſt clair encore que plus le centre de gravité du levier avancera vers la même extrémité, ou que plus cette extrémité ſera peſante par raport à l'autre, plus le centre de converſion doit s'en approcher. Or on doit faire attention que dans le cas dont il s'agit actuellement, le centre de gra-

Digitized by Google

vité, bien loin d'être au milieu du levier auquel la pouſſée de l'eau & la peſanteur du Navire ſont appliquées, ſe trouve à l'extrémité même dans laquelle agit la peſanteur, ou l'une des deux forces. Ainſi le centre de converſion ne doit pas être au milieu, mais beaucoup plus près du centre de gravité du Vaiſſeau. C'eſt ce qu'on voit déja avec évidence; & ſi on examine la choſe avec un peu plus d'attention, on s'appercevra que le centre de converſion eſt dans le centre de gravité même. Fig. 65

II.

Si dans la figure 65 le point g eſt le métacentre auquel on peut ſupoſer qu'eſt attachée la force verticale de l'eau, puiſque l'action d'une puiſſance eſt la même dans tous les points de ſa direction; & que G ſoit le centre de gravité commun du Vaiſſeau & de ſa charge; nous pouvons négliger la partie de la pouſſée verticale de l'eau, de même que celle de la peſanteur totale du Navire, qui agiſſent ſelon le levier même gG, pour ne conſiderer que les ſeules parties qui agiſſent perpendiculairement. Les deux forces abſoluës, la pouſſée verticale de l'eau & la peſanteur totale du Navire, ſont parfaitement égales; les parties de ces mêmes forces qui agiſſent perpendiculairement à gE, & qui ne ſe détruiſent pas, parce qu'elles s'exercent ſur des lignes qui ne ſont pas directement opoſées, le ſont donc auſſi: c'eſt-à-dire que pendant que le Vaiſſeau eſt incliné, ou que gE n'eſt pas verticale, le métacentre g eſt pouſſé ſelon gZ, préciſément avec la même force que le centre de gravité G eſt pouſſé vers S. Ce ſont ces deux forces relatives qui font prendre à la ligne gE, la ſituation verticale *ge*, en faiſant tourner le Vaiſſeau ſur le centre G, ou ſur quelqu'autre point: mouvement qui ne peut pas ſe faire, ſans que preſque toutes les parties du Navire changent de place. Le point g étant tranſporté en *g*, & le point E en *e*, les autres points changent à proportion: & comme ils ont tous de *l'inertie*, ou qu'ils

Digitized by Google

Fig. 65. ne prennent du mouvement qu'en y réſiſtant, la réſiſtance que ſont tous les points qui ſont au-deſſus du centre de converſion G, fait le même effet qu'une puiſſance qui agiroit de M vers P dans le ſens contraire au mouvement; en même tems que la réſiſtance de tous les points qui ſont au-deſſous du centre de converſion, & qui ſe meuvent de E vers *e*, doit faire le même effet qu'une puiſſance égale qui agiroit de N vers Q. Cette réſiſtance ou cette force de *l'inertie* que Képler a reconnu le premier, eſt inconteſtable. Tous les phénomenes nous l'annoncent; elle ne ſe manifeſte pas moins, lorſquil s'agit de communiquer du mouvement aux corps, que lorſqu'il s'agit de le détruire : de ſorte qu'elle eſt réellement la force avec laquelle chaque choſe perſiſte dans ſa maniere d'être, & le nom *d'inertie* n'exprime qu'imparfaitement ſa nature, puiſqu'il ne répond bien qu'à une de ſes proprietés.

Nous avons donc en tout quatre forces à conſiderer; ſçavoir, les deux premieres qui agiſſent ſelon gZ & ſelon GS, & les deux ſecondes qui s'exercent ſelon MP & NQ, & qui ne ſont que paſſives, puiſqu'elles ne doivent leur action qu'à celle des deux premieres. Il eſt évident que ces quatre forces doivent être dans un parfait équilibre. Car ce n'eſt que cet équilibre qui peut limiter l'effet des deux premieres puiſſances, & qui peut l'empêcher d'être plus grand, par cette loi de la Nature qui eſt toujours inviolablement obſervée, que l'action & la réaction ſont égales. Or pour que les quatre forces dont il s'agit, ſoient effectivement en équilibre, il faut que la force compoſée des deux qui agiſſent ſelon les directions paralleles gZ & NQ, ſoit parfaitement égale à la force compoſée des deux autres qui agiſſent ſur les directions GS & MP paralleles entr'elles, & directement contraires à gZ & à NQ. Et ſi l'on fait attention que ces forces compoſées ſont égales à la ſomme des forces qui les compoſent, à cauſe du paralleliſme des directions, & qu'outre cela la force qui agit ſelon GZ, & qui nait de

la

la pouſſée de l'eau, eſt parfaitement égale à la force qui agit ſelon GS, & qui naît de la peſanteur totale du Navire, on conclura que les deux autres forces, qui agiſſent ſelon MP & NQ, doivent être auſſi néceſſairement égales. C'eſt-à-dire que la quantité du mouvement que reçoivent toutes les parties qui ſont au-deſſus du centre de converſion, doit être égale à la quantité de mouvement que reçoivent les parties qui ſont au-deſſous. Fig. 65.

III.

Ainſi la queſtion ſe réduit à découvrir quel eſt le point autour duquel il faut que tourne un corps, pour que les quantités de mouvemens que reçoivent les parties ſupérieures & inférieures, ſoient toujours parfaitement égales. Mais comme tous les Lecteurs qui ſont un peu verſés dans les Mécaniques, ſçavent qu'il n'y a que le centre de gravité qui ait cette proprieté ſinguliere, par laquelle il eſt même caracteriſé, le Problême eſt tout réſolu; il n'eſt plus permis de douter que ce ne ſoit autour de ſon centre de gravité que le Vaiſſeau fait ſes balancemens. S'il étoit poſſible qu'il les fît autour de quelqu'autre point au-deſſus de G, le mouvement que recevroient les parties inférieures, ſeroit plus grand que celui que recevroient les ſupérieures, & il n'y auroit plus d'équilibre; la réſiſtance ou la force ſelon NQ, ſeroit trop grande, & elle retarderoit le tranſport de toutes les parties GE; ce qui feroit néceſſairement deſcendre le centre de converſion. Il arriveroit tout le contraire, ſi le Vaiſſeau tournoit d'abord autour de quelque point ſitué au-deſſous de G. Ce n'eſt enfin que lorſque le mouvement ſe fait exactement autour du centre de gravité, que le centre de converſion ne change point. Il faut remarquer qu'on néglige ici la réſiſtance que fait l'eau aux balancemens du Navire; de même qu'on néglige ordinairement la réſiſtance que fait l'air au mouvement des pendules. Cette réſiſtance eſt comme nulle, par raport

Fig. 65. aux autres forces que nous considérons, parce que quelque grandes que soient les oscillations du Navire, il n'a jamais, à cause de sa figure, que peu d'eau à déplacer, & qu'il ne la choque qu'avec assez peu de vitesse. On suppose encore que les inclinaisons alternatives ne sont pas assez grandes, pour que le métacentre change sensiblement de hauteur par raport au centre de gravité.

IV.

Aussi-tôt qu'on s'est convaincu que le Vaisseau fait ses balancemens autour de son centre de gravité, on voit évidemment que la pesanteur ne doit plus tendre à le faire tourner, elle ne travaille qu'à conserver au point G sa stabilité; & les Balancemens ne sont produits que par la seconde puissance qui agit selon gZ, & qui naît de la force verticale qu'a l'eau pour pousser en haut. Cette puissance agit contre l'inertie, ou contre la résistance que font toutes les parties du Vaisseau à se mouvoir, ou à tourner autour du centre de gravité G; mais cette puissance, quoique la même, aura plus d'avantage pour vaincre cette inertie, & pour faire balancer le Vaisseau avec viteſſe, toutes les fois qu'elle sera appliquée à un bras de levier Gg plus long. Ainsi on voit que toutes les autres circonstances étant les mêmes, plus le centre de gravité du Vaisseau sera bas, plus les mouvemens du roulis doivent être prompts. Ceci est d'autant plus paradoxe, qu'il semble que ce qu'on sçait du mouvement des pendules, dont la longueur rend les vibrations plus lentes, devoit faire attendre autre chose. Mais ce que la Théorie vient de nous apprendre avec évidence, l'expérience l'a déja confirmé une infinité de fois, au grand étonnement de plusieurs personnes. On est obligé dans plusieurs occasions, de mettre dans la cale une partie de l'artillerie & des autres choses pesantes qui sont sur le pont; mais on n'a jamais manqué d'éprouver sur le champ que les oscillations du roulis acquerroient une plus grande promptitude.

Digitized by Google

V.

Sans changer le centre de gravité de place, on peut encore faire varier la durée des balancemens du Vaiſſeau, ſelon la ſituation qu'on donnera aux parties plus ou moins peſantes par raport à ce centre. Si on éloigne de part & d'autre les choſes qui ont le plus de poids, & qu'on raproche au contraire les plus legeres, ces parties plus peſantes auront enſuite plus de mouvement à prendre dans les oſcillations du Navire; elles réſiſteront par conſéquent davantage par leur inertie; & outre cela cette réſiſtance ſera appliquée à un bras de levier plus long. C'eſt une double raiſon pour que les oſcillations ſe faſſent enſuite avec moins de promptitude. Si les choſes peſantes ſont à deux ou trois fois plus de diſtance, elles réſiſteront quatre fois ou neuf fois davantage. Ce ſera tout le contraire, lorſqu'on approchera de part & d'autre du centre de gravité les parties d'un grand poids, & qu'on en éloignera les legeres: car les parties peſantes n'ayant enſuite que des arcs de petit cercle à décrire, ou que peu de mouvement à recevoir, elles feront moins reſſentir leur inertie, & les vibrations deviendront donc plus promptes. Cependant le centre de gravité ſera toujours dans le même endroit, & l'action de la peſanteur totale ſera abſolument la même, tant qu'il ne s'agira pas des mouvemens que nous conſidérons actuellement. On reconnoît donc maintenant la vérité de ce qu'on a avancé ci-devant, qu'il ne faut pas ſe contenter d'examiner la quantité de la peſanteur totale du Vaiſſeau, & la ſituation du centre dans lequel elle ſe réunit; mais qu'il y a encore une troiſiéme particularité à laquelle il faut être extrémemet attentif; ſçavoir à la diſtribution des parties plus legeres & plus peſantes, dont cette peſanteur eſt formée.

VI.

On peut au reſte conſtater toujours fort aiſément cette

Digitized by Google

distribution, & reconnoître si elle ne change pas pendant le voyage, ou si elle est la même dans une campagne que dans une autre; afin de pouvoir ensuite y apporter les modifications convenables. On ne manque jamais dans les Vaisseaux d'avoir pour les besoins indispensables du Pilotage, plusieurs horloges ou sabliers d'une minute, ou d'une demi-minute. Il est toujours facile, après qu'on s'est assuré par les moyens déja expliqués que la pesanteur du Navire est la même, & qu'elle se réunit exactement dans le même centre, de voir combien le roulis fait faire de balancemens ou d'oscillations dans une minute, ou dans tout autre tems. S'il en fait toujours faire le même nombre, ce sera une marque que la distribution des choses pesantes & legeres, sera exactement la même; au lieu que si l'on y trouve de la différence, on apprendra non-seulement que la distribution est différente, on sçaura ce qu'il y aura à y changer. Il faudra pour faire l'expérience avec succès, choisir exprès le tems où la Mer est peu agitée; car ce n'est qu'alors que les oscillations du Vaisseau sont sensiblement isochrones. Il est bien clair que si pendant que le Vaisseau *roule*, une force étrangere vient lui imprimer de nouveaux balancemens, elle alterera presque toujours la régularité des premiers. J'ai remarqué plusieurs fois, en m'en revenant sur *le Triton*, petit Navire de Nantes d'environ 180 tonneaux, que chaque oscillation étoit d'un peu plus de $4\frac{1}{2}''$, & souvent ce Navire en faisoit 14 ou 15 de suite; au lieu que d'autres Bâtimens en font 30 ou 40.

Le roulis est-il trop vif, & craint-on qu'il fasse tomber les mâts? on pourroit remedier à cet inconvénient en élevant le centre de gravité; mais comme le Navire porteroit ensuite moins bien la voile, & qu'on courroit de plus grands risques, il vaut infiniment mieux, en laissant toujours le centre de gravité dans la même place, ou même en le portant encore plus bas, en éloigner le plus qu'on peut les choses qui sont d'un plus grand poids, & en raprocher au contraire celles qui sont plus legeres. Lors-

Digitized by Google

que dans le Chapitre III. de la premiere Section de ce ſecond Livre, on a parlé du ſouffage ou du renflement qu'on fait quelquefois à la carène, on a montré, contre le ſentiment ordinaire, qu'il ne pouvoit pas faire tort à la Navigation par ſa peſanteur: il n'étoit pas tems de dire alors, & on ne nous eût pas cru, qu'il nuiſoit plus ſouvent par ſon trop de legereté, ſur-tout lorſqu'au lieu d'appliquer les nouveaux bordages ſur les anciens, on les poſe ſur des tacquets. On voit maintenant qu'on ne ſçauroit le former de matieres trop peſantes, ni en introduire auſſi de trop peſantes dans le doublage. Ce ſera déja un leſt placé avantageuſement que le Vaiſſeau portera toujours avec lui; & il n'y aura qu'à en mettre une moindre quantité d'autre. Il y a toute apparence que ce qu'on vient de dire, ſuffit pour l'uſage ordinaire : Nous croyons avoir déja répandu un grand jour ſur tout ce que les Marins nomment *arrimage :* afin néanmoins d'éclaircir davantage toute cette matiere, nous allons ajouter encore la ſolution de quelques Problêmes qui y appartiennent.

CHAPITRE II.

Connoiſſant la figure du Vaiſſeau & la diſtribution de ſes parties, trouver la durée de ſes oſcillations, ou de ſes balancemens dans le roulis.

I.

ON ne ſçauroit mieux exprimer la durée des oſcillations d'un Vaiſſeaux ſujet au roulis, que par la longueur d'un pendule ſimple, dont les vibrations ſoient ſynchrones ou de même durée. C'eſt donner à cette durée une meſure connuë : car on ſçait les tems qu'employent dans leurs oſcillations les pendules de toutes les diverſes longueurs : ces temps ſont comme les racines quarrées des longueurs; de ſorte qu'un pendule 4 fois ou 9 fois plus long, ne met que deux ou trois fois plus de

Fig 65. & 66. tems à faire ſes vibrations. Je nomme z la longueur de ce pendule qui s'accorderoit dans ſes balancemens avec le Navire, & g la viteſſe que lui donneroit la peſanteur. Je déſigne par P la peſanteur ou maſſe totale du Vaiſſeau formée des maſſes particulieres T, t, &c. (Fig. 66) de toutes les parties qui ſont éloignées du centre de gravité G des diſtances D, d, &c.

Toutes ces parties doivent dans le roulis recevoir d'autant plus de viteſſe, qu'elles ſont plus éloignées du centre de gravité G, puiſqu'elles décrivent des arcs de plus grand cercle; & comme les oſcillations du Vaiſſeau ſont ſynchrones avec celle du pendule, nous pouvons faire cette analogie: la longueur z de ce pendule eſt à la viteſſe g, comme les diſtances D ou d, &c. ſont aux viteſſes $\frac{gD}{z}$ ou $\frac{gd}{z}$, &c. que prendront les différentes parties du Vaiſſeaux, ſelon leur diſtance du centre de gravité autour duquel elles ſe balancent. Les viteſſes de ces parties multipliées par leur maſſe ou par leur peſanteur particuliere T, t, &c. nous aurons $T \times \frac{gD}{z}$, $t \times \frac{gd}{z}$, &c. pour le mouvement de rotation de ces parties, mouvement qui eſt produit par l'action de la pouſſée verticale de l'eau appliquée en g. Mais ce mouvement qui ne ſe reçoit qu'avec peine, réſiſte, comme nous l'avons déja aſſez expliqué, & réſiſte d'autant plus qu'il eſt appliqué à une plus grande diſtance du centre de gravité qui ſert dans la circonſtance préſente de point d'apui ou d'hypomoclion. Il faut donc multiplier les mouvemens $T \times \frac{gD}{z}$ & $t \times \frac{gd}{z}$, &c. par les diſtances D & d, &c. pour en avoir le moment ou l'énergie; & il viendra $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z} +$ &c. pour le moment de la réſiſtance que font toutes les parties du Vaiſſeau à tourner autour du centre G.

Ce moment doit être égal à celui de la pouſſée de l'eau, qui tend à faire tourner le Navire. Cette pouſſée étant égale à la peſanteur du Vaiſſeau, eſt exprimée par le

Digitized by Google

produit Pg de la masse P par la vitesse g, que communique la gravité par son action simple. Mais la force Pg étant appliquée en g au bras du levier $gG = k$, a pour moment Pgk. Ainsi nous avons l'équation $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z} + \&c. = Pgk$, dont on tire la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$ qui nous donne cette régle générale pour trouver la longueur z du pendule simple, dont les oscillations sont de même durée que celle du Vaisseau. *C'est de multiplier la pesanteur de toutes les parties du Navire par le quarré de leur distance particuliere en centre de gravité* G, *& de diviser la somme* ($T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.$) *de tous ces produits par la pesanteur totale* P *du Vaisseau multipliée par la quantité* (k), *dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre; & il viendra au quotient la longueur requise du pendule synchrone.* Fig. 66.

Cette régle, ou ce qui est la même chose, la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$, nous confirme les remarques faites dans le Chapitre précedent, & peut nous en sugerer de nouvelles, sur le plus ou le moins de promptitude des oscillations du roulis. Puisque ces oscillations s'accordent avec celles du pendule, dont les longueurs z sont en raison inverse de k, il doit arriver, comme nous l'avons déja dit dans les balancemens du Vaisseau, le contraire de ce qui arrive dans le mouvement des pendules simples. *Les durées des oscillations qui sont comme les racines quarrées de* z, *doivent être en raison inverse des racines quarrées des quantités* k, *dont le centre de gravité du Vaisseau est au-dessous du métacentre.* Si cette quantité k est quatre fois plus petite, les oscillations se feront avec deux fois plus de lenteur : si k est 100 fois plus petite, les mouvemens du roulis seront dix fois moins vifs : car la longueur z du pendule synchrone sera 100 fois plus grande; & un pendule 100 fois plus long, met 10 fois plus de tems à faire ses vibrations.

On voit avec la même évidence que plus les diverses

Digitized by Google

Fig. 66. parties du Vaiſſeau ſeront éloignées du centre de gravité, plus le pendule ſynchrone aura de longueur, & on voit même que cette longueur eſt proportionelle aux quarrés des diſtances D : d'où il ſuit que les durées des oſcillations qui ſont comme les racines quarrées des longueurs des pendules ſeront comme les diſtances mêmes D. C'eſt-à-dire, que ſi toutes les diſtances ſont trois ou quatre fois plus grandes, les oſcillations du roulis ſe feront trois ou quatre fois plus lentement.

Nous ſuprimons quelques autres refléxions pour nous borner à cette derniere : *Que ſi deux Vaiſſeaux ſont parfaitement ſemblables, ou s'ils ont ſimplement pour coupes verticales, faites perpendiculairement à leur longueur, des figures ſemblables, la durée de leurs oſcillations ſera comme la racine quarrée de la largeur ou de quelqu'autre dimenſion ſimple des coupes;* de ſorte que ſi la largeur de l'un eſt, par exemple, quatruple de celle de l'autre, le premier fera ſes balancemens deux fois plus lentement. Il n'y a, pour en voir la raiſon, qu'à ſupoſer que les deux Vaiſſeaux ſont diviſés en un égal nombre de parties; mais de parties plus petites ou plus grandes proportionellement. De là il s'enſuivra que le raport des peſanteurs particulieres T à la peſanteur totale P ſera toujours le même, & que la longueur z du pendule ſynchrone ne variera qu'à cauſe du changement que reçoit le raport ou la fraction $\frac{D^2+d\ +\&c.}{k}$. Or comme ces diſtances D & la quantité k changent dans le même raport, la fraction $\frac{D^2+d^2+\&c.}{k}$ doit changer dans la raiſon ſimple des diſtances D, ou en même raiſon que les largeurs du Navire. C'eſt-à-dire, que ſi le Navire eſt deux ou trois fois plus large, le pendule ſynchrone ſera deux ou trois fois plus long, & les durées des oſcillations ſeront donc comme les racines quarrées de deux ou de trois; ou en général comme les racines quarrées des largeurs.

III.

Au ſurplus, l'aplication de notre régle ne ſera jamais difficile

difficile, soit qu'on considere le Vaisseau comme un corps géométrique homogene, soit qu'on le considere dans son état actuel & comme formé d'un nombre fini de parties de différentes pesanteurs. Supposé que le Navire ait la figure d'un parallelipipede rectangle dont la pesanteur soit également distribuée par tout, & qu'on exprime la largeur & la profondeur par a & b, on trouvera $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$ pour le moment du mouvement de toutes les parties autour du centre de gravité. C'est ce moment qu'il faut diviser par le produit de la pesanteur totale du Navire multipliée par la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité. Cette hauteur est $\frac{a^2}{12c} + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}b$*, aussi-tôt qu'on nomme toujours a la largeur du Bâtiment & c la quantité dont il plonge dans la Mer; & si on multiplie cette hauteur par le rectangle ab, qui est la coupe verticale faite perpendiculairement à la longueur du Navire, & qui doit représenter la pesanteur totale dans le cas present, on aura le produit $\frac{a^3b}{12c} + \frac{1}{2}abc - \frac{1}{2}ab^2$, par lequel il faut diviser le moment $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$; & il viendra $\frac{b^3c + a^2c}{a^2 + bc^2 - 6bc}$ pour la longueur du pendule synchrone.

Fig. 66.

* Voyez le Chap. III. de la Sect. précédente.

S'il s'agissoit particulierement de l'Arche de Noé qui avoit 50 coudées de largeur, & qu'on supposât, comme nous l'avons déja fait, que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du Déluge de 10 coudées, ou du tiers de sa hauteur, on auroit alors $\frac{b^3 + a^2b}{3a^2 - 4b^2}$, qui nous aprend que le pendule simple synchrone étoit de $26\frac{2}{3}$ coudées. On ne sçait pas avec certitude le raport de cette ancienne mesure avec les nôtres; mais si on la supose de $1\frac{1}{2}$ pied, le pendule synchrone sera de $39\frac{2}{13}$ pieds dont les oscillations sont de $3''\ 33'''$ à proportion du pendule simple de 36 pouces $8\frac{1}{9}$ lignes, qui en France & dans tous les autres païs qui sont à peu près par la même latitude, bat exactement les secondes, ou qui met 60 tierces à faire chaque oscillation simple. C'est ce qu'on trouve par cette analogie; 36 pouces $8\frac{1}{9}$

Fig. 66. lignes en à 3600 quarré de 60 tierces, comme $39\frac{1}{13}$ pieds eſt à 45496 dont la racine quarrée eſt 213 tierces ou 3 ſecondes 33 tierces. Ainſi les balancemens de l'Arche devoient être extrémement vifs ; à moins que la diſtribution de ſa charge, comme il y a lieu de le croire, ne contribuât à les rendre plus lents.

IV.

C'eſt la même choſe dans tous les Navires qui n'ont point d'artillerie & qui ſont démâtés. La mâture, quoique peu peſante par raport au reſte du Vaiſſeau, s'opoſe extrémement à la viteſſe des balancemens, parce que ſa grande hauteur fait qu'elle a un grand arc de cercle à décrire où beaucoup de mouvement à recevoir, & qu'elle y réſiſte à proportion, en ne prenant ce mouvement qu'avec difficulté. Il lui arriveroit même ſouvent, ſans les haubans, les étrays & tous les autres cordages qui la ſoutiennent, ce qui arrive quelquefois à une baguette, qui ſe refuſant à la trop grande viteſſe que la main tend à lui imprimer, ſe rompt par le bas, pendant que ſon extrémité ſupérieure reſte en arriere. Il eſt évident qu'on peut ſe ſervir de notre regle pour trouver immédiatement la longueur du pendule ſynchrone, auſſi-bien pour les Vaiſſeaux mâtés que pour ceux qui ne le ſont pas : mais après qu'on aura fait cette recherche pour le Navire conſideré, il n'importe en quel état, on peut, lorſqu'on fait quelque changement, quoique conſidérable à la diſtribution de la charge ou de quelqu'autre partie, s'aider toujours de la premiere détermination, & ſe contenter de découvrir l'effet particulier que doit produire le nouvel arrangement.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Trouver le changement que doit apporter aux balancemens du roulis la tranſpoſition de quelques parties dans le Vaiſſeau, avec quelques remarques ſur le tangage.

I.

SOIT qu'on mâte un Vaiſſeau qui ne l'étoit pas, ou qu'on lui faſſe quelqu'autre changement, il n'y aura jamais de difficulté à découvrir par les regles ordinaires de la Statique, combien ſon centre de gravité aura changé de place. Lors qu'on augmente ou qu'on diminue la peſanteur totale du Navire, il arrive auſſi que la carène ou la partie ſumergée n'eſt plus la même, & que par conſéquent le métacentre ſe trouve plus haut ou plus bas. Mais toutes les fois qu'on ne fera qu'une ſimple tranſpoſition de parties dans le Vaiſſeau, le métacentre ne changeant point, il n'y aura que le centre de gravité qui ſouffrira quelque variation. Nous ſupoſons ce changement déja découvert, & que le Vaiſſeau (Fig. 66) qui avoit ſon centre de gravité en G, l'a maintenant en γ; il eſt donc principalement queſtion de trouver combien le moment ou l'énergie du mouvement de toutes les parties du Vaiſſeau, augmente ou diminue lorſque le mouvement de rotation ſe fait autour du centre γ, au lieu de ſe faire autour de G. On nommera S ce moment total par raport au centre G: ſi on ne l'a pas encore trouvé par l'aplication de la régle, on le découvrira toujours aiſément par l'expérience, en examinant avec un ſablier la durée des oſcillations du roulis. Supoſé que P déſigne encore la peſanteur totale du Vaiſſeau; *k* la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité, & z la longueur du pendule ſynchrone, Fig. 66.

Digitized by Google

Fig. 66. on aura $z = \frac{S}{Pk}$ dont on tirera $S = Pkz$, qui exprime en grandeurs parfaitement connuës la ſomme S qu'on vouloit avoir, de tous les momens par raport au centre G. Cette ſomme totale des momens eſt égale, comme on le voit, au produit de la peſanteur du Navire par la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité, & par la longueur du pendule ſynchrone ou du pendule qui fait ſes oſcillations préciſément dans le même tems que le Vaiſſeau fait ſes balancemens.

II.

Mais ce moment ne doit plus être le même auſſi-tôt que le Vaiſſeau roule ſur un autre point γ. Si ce nouveau centre de gravité eſt plus bas, toutes les parties ſupérieures comme T, en ſeront plus éloignées, & le quarré des diſtances $T\gamma$, par lequel la maſſe de chaque partie doit être multipliée, ſera préciſement plus grand de la quantité dont le quarré de $I\gamma$ eſt plus grand que celui de IG. Il ne faut pour le voir que faire attention que le quarré de $T\gamma$ eſt égal au quarré de TI & de $I\gamma$; au lieu que celui de TG étoit égal à ceux de TI & de IG. Ainſi le quarré de la diſtance $\Gamma\gamma$ eſt plus grand que celui de TG de deux rectangles de IG par $G\gamma$, & outre cela du quarré de $G\gamma$. Le quarré de la diſtance des parties inférieures comme r, changera en même tems & par la même raiſon du quarré de $G\gamma$, moins deux rectangles de Gi par $G\gamma$. Mais le produit de toutes les parties variables GI par la peſanteur des parties ſupérieures correſpondantes T étant égal (à cauſe de la propriété du centre de gravité) au produit de toutes les parties variables Gi par la peſanteur des parties inférieures, les produits multipliés de part & d'autre par $G\gamma$, ou par le double de $G\gamma$, doivent être encore égaux; & puis qu'ils ſont poſitifs pour les parties ſupérieures & négatifs pour les inférieures, ils doivent ſe détruire dans la ſomme totale, laquelle ne doit par conſéquent recevoir aucune alteration par cet endroit. Il n'y a donc que les quarrés de $G\gamma$ qui étant additifs de

Digitized by Google

part & d'autre, doivent, en se multipliant par toutes les parties tant supérieures qu'inférieures du Vaisseau, faire augmenter la somme des momens. Ainsi cette somme qui étoit désignée auparavant par S, le doit être maintenant par $S+P\times\overline{G\gamma}^2$. Et il est donc démontré qu'aussi-tôt que le Vaisseau ou tout autre corps tourne sur un point différent de son centre de gravité, le moment des mouvemens de toutes les parties se trouve toujours plus grand; & qu'il l'est du produit de la masse du corps par le quarré de la distance du centre de rotation au centre de gravité. Fig. 66.

III

Il ne reste plus après cela qu'à remarquer que dans l'expression $S+P\times\overline{G\gamma}^2$ du moment total, la transposition des parties n'est comptée pour rien, & que le changement découvert ne vient simplement que de ce qu'on considere le mouvement de rotation autour du point γ, au lieu de le considerer autour du point G. Ainsi lorsqu'on a ajouté quelques nouveaux poids ou lorsqu'on en a transposé quelques uns, il faut encore examiner expressément le moment particulier de ces parties ou le changement qu'il a reçû & l'ajouter à $S+P\times\overline{G\gamma}^2$. S'il s'agit de parties simplement transposées, & qu'elles fussent éloignées de la distance D du centre γ dans leur premiere situation, & de la distance d dans la seconde, & qu'on désigne par p leur pesanteur, le changement que souffrira le moment de leur mouvement sera représenté par $p\times d^2-\overline{D^2}$, & ce sera cette quantité qu'il faudra ajouter à $S+P\times\overline{G\gamma}^2$ pour avoir le moment total $S+P\times\overline{G\gamma}^2+p\times d^2-\overline{D^2}$, eu égard à tout. Enfin divisant ce moment selon la régle par la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par k, qui désigne la quantité dont le nouveau centre de gravité γ est au-dessous du métacentre, il viendra $\frac{S+P\times\overline{G\gamma}^2+p\times d^2-\overline{D^2}}{P\times k}$ pour la lon-

VILLE DE LYON
Bibloth. du Palais des Arts

Digitized by Google

Fig. 66. gueur requise du pendule, dont les oscillations sont précisément de même durée que celles du Navire, après le changement fait dans la situation de ses parties.

IV.

Prenons pour exemple un Vaisseau dont la pesanteur totale P est de 3000 tonneaux, dont le centre de gravité est quatre pieds au-dessous du métacentre & dont les balancemens dans le roulis sont de 5 secondes, ou sont de même durée que celles d'un pendule simple d'environ 76 $\frac{1}{2}$ pieds. Si en abattant la mâture qui peut peser 70 tonneaux, on remplace sa pesanteur par un poids égal mis à 10 pieds de distance de l'endroit où se trouvera ensuite le centre de gravité, qui aura, on le suppose, descendu de 1 $\frac{1}{2}$ pieds, on aura $P \times \overline{G\gamma}^2 = 6740$, (produit de 3000 tonneaux par le quarré de 1 $\frac{1}{2}$ pied) qu'il faudra ajouter à $S = Pkz = 918000$, & il viendra 924750 pour $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Mais comme la mâture, lorsqu'elle étoit en pied, faisoit à peu près le même effet que si elle avoit été réunie dans un point élevé de 83 $\frac{1}{2}$ pieds au-dessus du centre de gravité G, & de 85 au-dessus de γ, la valeur de $p \times \overline{d^2 - D^2} = 70 \times \overline{10}^2 - \overline{85}^2 = 498750$ sera négative, & nous aurons par conséquent 426000, pour le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}$. Enfin si l'on divise ce moment par 16500 qui est le produit de 3000 tonneaux par la valeur 5 $\frac{1}{2}$ pieds qu'a actuellement k, puisque le centre de gravité du Vaisseau est descendu de 1 $\frac{1}{2}$ pied, il ne viendra pas tout à fait 26 pieds pour la longueur du pendule, dont les oscillations seront synchrones avec celles du roulis. Cela nous aprend que les balancemens du Vaisseau seroient beaucoup plus vifs; ils le seroient en même raison que la racine quarrée de 76 $\frac{1}{2}$ pieds est plus grande que celle de 26; puisque les durées des oscillations sont comme les racines quarrées des longueurs des pendules. Le Vaisseau

Digitized by Google

qui employoit 5 ſecondes à faire chaque balancement ſimple, c'eſt-à-dire, à tomber d'un bord à l'autre, en employeroit enſuite moins de 3 ; il n'employeroit que 2 ſecondes 53 tierces. La différence peut, de cette ſorte, aller aſſez loin, pour qu'il ſoit quelquefois impoſſible aux meilleurs Matelots de ſe tenir ſur le Pont, & pour qu'on ait auſſi tout à craindre d'un roulis ſi rude.

V.

Il faut remarquer qu'on ne peut rien apliquer de ce que nous venons de dire, aux balancemens du tangage, parce qu'ils ne ſe perpetuent pas de la même façon que ceux du roulis. Le Navire ne pouvant pas faire d'oſcillations dans le ſens de ſa longueur, ſans déplacer beaucoup d'eau vers l'avant & vers l'arriere par le grand mouvement que reçoivent ſes deux extrémités, ces balancemens ne peuvent continuer d'eux mêmes ; ils ne doivent ſe réperer qu'autant qu'ils ſont reproduits derechef par l'agitation de la Mer qui ne ceſſe pas. Le fort de la ſécouſſe ſe fait reſſentir lorſque la prouë ou la poupe ceſſant d'être aſſez ſoutenuë, retombe tout à coup par ſon poids. L'arcaſſe qui en eſt ébranlée eſt quelquefois frapée avec tant de violence, que le plus grand nombre des Marins croyent que certains Navires ſont ſujets à *acculer* ; c'eſt-à-dire, à reculer pendant quelques inſtans de leur marche ; comme ſi un Vaiſſeau qui ſingle à toutes voiles, qui fait deux ou trois lieuës par heure, & 10 à 12 pieds par ſeconde, pouvoit aller tout à coup en ſens contraire, & reprendre dans le même inſtant toute ſa viteſſe dans le premier ſens. Nous avons dit dans le premier Livre qu'il n'y a qu'à groſſir un peu la prouë & la poupe, afin qu'elles retrouvent plutôt en tombant le ſoutien dont elles ont beſoin. On doit pour ſe conformer à ce conſeil, ou à ce précepte, ſe ſouvenir entre autres choſes de ne pas trop augmenter la hauteur des façons, principalement par devant. Lorſque cette hauteur eſt portée trop loin, ou lorſque le corps proprement dit de la prouë eſt trop élevé au-deſſus de la quille, pour peu que la Mer

Digitized by Google

ſe retire de deſſous, toûte l'extrémité du Navire ſe trouve en l'air. Ce ne ſera pas la même choſe, lorſque la hauteur des façons ſera médiocre, quoique la proüe ſoit plus étroite: ſa partie d'en bas occupera toujours quelque place dans l'eau dont elle ne ſortira jamais; & la pouſſée verticale de la Mer moderera néceſſairement la viteſſe de la chute.

Un dernier moyen qui ſupléera à tous les autres, au moins dans les Corvettes & dans tous les autres Navires dont il n'eſt queſtion que d'accelerer la marche; c'eſt d'accumuler le leſt vers le milieu de la carène & d'en débaraſſer totalement les extrémités, qu'on s'attachera en même tems à rendre les plus legeres qu'il ſera poſſible. Il eſt d'uſage de rejetter vers la proüe & vers la poupe pluſieurs choſes très-peſantes, qu'on pourra ſouvent mettre ailleurs, en ſe gênant un peu. Il faut outre cela diſtribuer le leſt tout le long de la cale, & faire enſorte que chaque endroit du Navire peſe à proportion de l'eſpace qu'il occupe dans la Mer, lorſqu'on veut empêcher le Navire de s'arquer; mais ſi on mépriſe ce dernier inconvenient, comme cela eſt permis dans certaines rencontres, l'expédient que nous propoſons, doit être infaillible. Tout le poids étant raſſemblé vers le milieu de la longueur du Navire, ce poids ne ceſſera jamais d'être ſuffiſamment ſoutenu par la Mer, & les deux extrémités étant vuides, ne pourront retomber qu'avec lenteur, lorſqu'elles ſe trouveront en l'air; puiſqu'elles n'auront pas la force d'imprimer du mouvement au reſte, & de l'entraîner tout à coup en vainquant ſon inertie. Ce moyen, pour ſuſpendre les mauvais effets du tangage, n'empêchera pas de prendre toutes les meſures que nous avons indiquées contrele roulis. On peut porter le plus grand poids vers le milieu de la carène, & mettre avec la même facilité le centre de gravité plus haut ou plus bas; de même qu'éloigner ou raprocher de l'axe qui paſſe par ce point, les parties les plus peſantes de la charge.

VI.

Digitized by Google

VI.

Au reſte nous ne plaignons pas les détails dans leſquels nous ſommes entrés au ſujet de la diſpoſition du centre de gravité du Vaiſſeau, & de la diſtribution de ſa charge ou de ſon leſt. Ces détails ſont de la derniere importance : le Lecteur qui nous a ſuivi dans les recherches précédentes, en conviendra ſans doute : le plus grand des intérêts, le ſalut des Marins y eſt attaché, & d'un autre côté preſque tous les ſuccès de la Navigation en dépendent. On voit tous les jours que les Conſtructeurs entreprennent de donner à deux Vaiſſeaux préciſément les mêmes gabaris, afin de les rendre également bons voiliers ; ils réuſſiſſent même à leur donner ſi exactement la même figure qu'on n'y remarque pas la moindre inégalité. Mais à peine les Vaiſſeaux ſortent-ils du Port que leur différence ſe manifeſte, & qu'on voit avec le plus grand étonnement, qu'ils ont par raport à la marche des qualités très-différentes. Nous n'avons garde d'attribuer ces varietés aux cauſes * chimeriques (nous ne pouvons pas employer d'autres termes) auſquelles on s'eſt trouvé ſouvent obligé de recourir. Mais d'où peut donc venir la différence, ſi ce n'eſt de ce que le centre de gravité, dont on ne ſe donne pas la peine d'examiner la ſituation, n'eſt pas préciſement dans le même endroit : ou ſupoſé que ce centre ſe trouve par hazard dans la même place, de ce qu'on a donné ſans s'en aper-

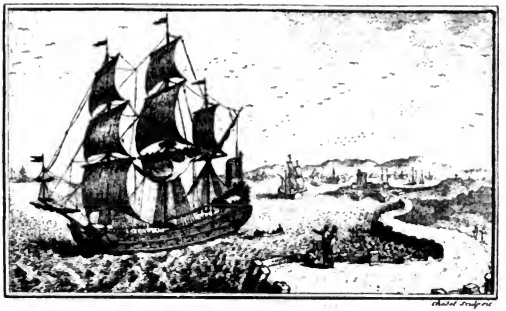
* On s'eſt ſouvent imaginé que la marche plus ou moins rapide dépendoit de quelques coins mis en certains endroits, d'un cordage tendu ou lache, d'un certain pavillon expoſé au vent, d'un poids très-médiocre, comme de 15 ou 20 livres ſuſpendu en quelque endroit, &c. Il n'y a preſque point de Marins, qui faute de connoître les vraies cauſes des changemens qu'il a quelquefois aperçû, n'aſſure avoir expérimenté quelque choſe de ſemblable. Il eſt auſſi très-ordinaire dans les cas preſſans de ſcier le vibord du Navire & de délier pluſieurs pieces qui ne ſçauroient être trop jointes. Leur jeu ou leur frémiſſement devient plus grand ; & on penſe que le mouvement du Navire eſt plus rapide, parce qu'il eſt devenu plus ſenſible. C'eſt à peu près comme ſi quelqu'un s'imaginoit aller plus vite dans une Chaiſe de poſte mal ſuſpendue, parce qu'il ſe ſent plus cahoté.

Digitized by Google

cevoir une autre diſtribution à la peſanteur par raport à ce point ? L'inclinaiſon étant pouſſée plus ou moins loin, ou les balancemens du roulis plus ou moins grands, la partie ſubmergée de la carène n'eſt plus la même, & le Navire devient enſuite, pour ainſi dire, un Vaiſſeau tout différent, & qui n'a plus les mêmes qualités.

Fin du ſecond Livre.

Digitized by Google



TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE TROISIÉME.

Du Vaiſſeau conſideré en mouvement.

Jam vagus irrupit Pelago. *Claud.*

APRES avoir traité du Vaiſſeau lorſqu'il flote en repos, nous devons le conſiderer en mouvement, & diſcuter ſes bonnes & ſes mauvaiſes qualités dans cet état. Nous devons principalement examiner s'il obéira aiſément à tous les mouvemens qu'on voudra leur imprimer, s'il ſera ſujet à peu de dérive dans les routes

Digitized by Google

obliques, s'il ſinglera avec viteſſe; en même tems que nous ne pouvons pas nous diſpenſer de diſtinguer toutes les circonſtances dont ces qualités dépendent, les relations qu'elles ont entr'elles, les loix qu'elles ſuivent dans leurs changemens. On voit aſſez que ces matieres tiennent à beaucoup d'autres, & que le ſujet eſt extrémement compliqué; ainſi nous décompoſerons le tout par parties, afin d'avoir la liberté de paſſer des unes aux autres toutes les fois que nous croirons gagner quelque choſe du côté de la facilité ou de la clarté.

Digitized by Google

PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les Fluides obſervent dans leur choc ; le Vent en frapant les Voiles, & l'Eau en rencontrant la partie antérieure de la Carène.

CHAPITRE PREMIER.

De la maniere dont l'impulſion du Vent ſur la Voile & le choc de l'Eau ſur la Prouë, contribuent au ſillage du Navire.

TANT que le Vaiſſeau flote librement dans le Port, il n'eſt ſujet, comme on la vû dans le Livre précedent, qu'à l'action de deux puiſſances, l'action de ſa propre peſanteur & celle de la *pouſſée verticale* de l'eau. Auſſitôt qu'il eſt ſous voile & qu'il ſingle, il y a deux autres forces à conſiderer, l'impulſion du vent ſur les voiles & la réſiſtance de l'eau contre la prouë. L'impulſion du vent fait avancer le Navire, le met en mouvement ; & de ce mouvement naît néceſſairement la réſiſtance de l'eau ou ſon impulſion ſur la prouë, ou ſur le flanc de la carène, ſelon que la route eſt directe ou oblique. Ce ſont en tout quatre forces ; & puiſque nous avons déja examiné en particulier les deux premieres ; il eſt maintenant queſtion de conſiderer principalement les deux dernieres, & de voir ce qui réſulte de leur combinaiſon avec les deux autres.

Digitized by Google

Il faut bien distinguer le choc de l'eau sur la proüe, de la *poussée verticale*, ou de cette force avec laquelle la Mer pousse continuellement en haut. Au lieu que cette derniere ne dépend que du volume d'eau dont la carène occupe la place & ne reçoit aucun changement du plus ou du moins de rapidité du sillage, le choc que souffre la proüe doit augmenter ou diminuer, selon que la viteſſe du Vaiſſeau eſt plus ou moins grande; puiſque la proüe ne peut pas rencontrer l'eau avec plus de rapidité, ſans en être repouſſée avec plus de force. On ne doit enfin négliger l'action d'aucune des quatre puiſſances que nous venons de ſpécifier; car il eſt certain qu'elles ſont les ſeules cauſes & du mouvement du Vaiſſeau & de toutes les ſituations qu'il prend.

Le Navire en partant du Port n'acquerre ſon mouvement que par dégrés infiniment petits; à peu près de la même maniere que les graves dans leur chute, ne parviennent à une certaine viteſſe que par une action réiterée une infinité de fois de la part de la peſanteur. D'abord l'impulſion du vent lui imprime de trop grands dégrés de viteſſe, pour que la réſiſtance de l'eau puiſſe les détruire entierement. Car la viteſſe du ſillage étant dans les premiers inſtans très-petite, la réſiſtance de l'eau qui en dépend doit être auſſi très-foible; mais à meſure que le Navire ſe meut plus vite, il ſe ſouſtrait pour ainſi dire davantage à l'action du vent; & les voiles ſont frapées avec moins de force: au lieu que c'eſt tout le contraire de l'impulſion de l'eau contre la proüe, parce qu'elle augmente par la vélocité du Navire. Ainſi les nouveaux dégrés que l'effort de la voile ajoute au mouvement du Vaiſſeau, vont continuellement en diminuant, pendant que ceux que retranche la réſiſtance de l'eau contre la proüe croiſſent au contraire ſans ceſſe. Tant que les dégrés ajoutés ſont plus grands que les dégrés retranchés, le ſillage accelere ſa viteſſe: mais enfin ces divers dégrés ſont-ils parvenus à l'égalité, ou l'impulſion du vent ſur les voiles a-t-elle aſſez perdu de ſa force, pour ne pas plus agir dans un ſens que la réſiſtance de l'eau con-

Digitized by Google

tre la proüe dans le ſens opoſé, le Navire ne doit plus augmenter ſa viteſſe, & doit ſe mouvoir d'un mouvement parfaitement uniforme. Fig. 67.

Tout cela s'accomplit en très-peu de tems, en beaucoup moins qu'il n'en faut ordinairement pour développer toutes les voiles & pour les diſpoſer. Ce qui nous diſpenſe de montrer que le Problême de l'accéleration du ſillage ſe réduit aux Logarithmes ou dépend de la quadrature de l'hyperbole : car nous évitons avec ſoin toutes les diſcuſſions géométriques qui ne ſont pas d'une néceſſité indiſpenſable. Le grand poids du Navire peut être cauſe qu'il tarde un peu à parvenir à ſa plus grande viteſſe, mais ce poids ne fait rien au degré même de cette viteſſe ; & auſſi-tôt que le Navire l'a une fois acquiſe, il avance enſuite par ſon ſeul mouvement propre ou intrinſeque ; & il ne doit ni recevoir de nouveaux dégrés ni en perdre. Il doit ſe mouvoir comme s'il ſe mouvoit par ſes propres forces dans le vuide, ſans être déſormais ſujet ni à l'action du vent ſur les voiles, ni à celle de l'eau contre la proüe. Si à chaque inſtant, l'impulſion de l'eau tend encore à détruire quelques petites parties de ſa viteſſe, l'impulſion du vent ſur les voiles qui eſt parfaitement ſimultanée, tend à les reparer : de cette ſorte ſon mouvement ne ſouffre aucune altération. Mais on doit remarquer que ce n'eſt pas aſſez pour cela que les efforts du vent & de l'eau, dans le ſens horiſontal, ſoient parfaitement égaux ; il faut encore qu'ils ſoient directement contraires, autrement ils ne ſuſpendroient pas entierement l'effet l'un de l'autre ; les petits dégrés de viteſſe communiqués par le vent, ne ſeroient pas exactement détruits par l'impulſion de l'eau, & le Navire perdroit de l'uniformité de ſon ſillage.

Pour voir tout ceci plus évidemment, on n'a qu'à jetter les yeux ſur la Figure 67, qui repréſente la coupe horiſontale du Vaiſſeau fait à fleur d'eau ; A eſt la proüe & B eſt la poupe ; DE la voile & VC la direction du vent qui ſouffle de V vers C. Il faut bien remarquer que la direction CF, ſelon laquelle la voile DE eſt pouſſée, n'eſt pas la

Digitized by Google

Fig. 67. même que la direction du vent, & qu'elle ne dépend que de la seule situation de la voile avec laquelle elle fait toujours un angle droit. Le vent ne peut agir que selon le seul sens perpendiculaire; parce que l'autre partie de son mouvement, celle qui s'exerce dans le sens parallele à la voile ne peut faire aucune impression. Ainsi que le vent frape la voile plus ou moins perpendiculairement, il fera une impression plus ou moins grande; de même qu'une pierre qui rencontre une muraille avec la même viteſſe ſous divers angles, la frape plus ou moins fort: mais l'action à laquelle la voile DE ſera ſujette, ne tombera toujours que ſur la perpendiculaire CF & tout le reſte de l'effort ſe trouvera perdu. Par une raiſon ſemblable, quoique le Navire ſe meuve ſelon la ligne CH ou que cette ligne CH ſoit ſa route qui différe de la direction de la quille BA, parce que la voile le pouſſe de côté; & quoique ce ſoit préciſement le même cas que ſi le Vaiſſeau étoit en repos, & que les parties de l'eau en mouvement vinſſent choquer la proüe en ſuivant la ligne HC & des paralleles à cette ligne, il n'eſt pas cependant repouſſé par l'eau ſelon la ligne HC, mais ſelon une autre ligne qui dépend de la figure de la proüe & de la diſpoſition de toutes les parties de ſa ſurface courbe les unes par raport aux autres. Chaque partie eſt pouſſée par la rencontre de l'eau ſelon le ſens perpendiculaire, & de tous ces efforts particuliers, il en réſulte un dernier ou total, qui s'exerce ſur une direction moyenne. Or comme nous l'avons dit, ce n'eſt pas aſſez que la réſiſtance de l'eau ou ſon choc contre la proüe ſoit parfaitement égal à l'impulſion du vent ſur la voile, ſi ces deux forces n'agiſſent pas ſur la même ligne CF en ſens directement opoſés. Sans cela l'effort de la voile ſelon CF imprimeroit ſans ceſſe quelque nouveau dégré CI de mouvement au Vaiſſeau; & ce mouvement ſe joignant ou ſe compoſant avec celui CH qu'a déja le Navire ſelon la route CH qu'il ſuit, formeroit le mouvement C*h* exprimé par la diagonale du parallelogramme CH*h*I; & le Navire embraſſeroit donc continuellement une nouvelle route C*h*. Ce ne ſera plus la même

même chose, auſſi-tôt que la réſiſtance de l'eau égale à l'impulſion du vent, s'exercera ſur la direction FC en ſens exactement contraire ; car elle détruira ſur le champ le dégré de viteſſe CI communiqué par la voile, & rien ne pouvant alterer le mouvement déja acquis CH, le Vaiſſeau ne pourra pas manquer de ſuivre conſtamment la même route. Fig. 67.

L'angle ACH formé par la route CH qui ſuit le Vaiſſeau, & par ſa quille, eſt nommée par les Marins *angle de la dérive*, lequel eſt plus ou moins grand, ſelon que la voile DE étant ſituée plus ou moins obliquement par rapport à la quille, pouſſe le Navire plus ou moins de côté. Cet angle de déviation ou de *dérive* nuit extrémement aux avantages de la navigation dans les routes obliques, mais il n'eſt pas poſſible de le détruire. Il ne ſe réduit à rien, ou ce qui revient au même, le Navire ne ſingle exactement ſelon ſa longueur, que lorſque la voile fait un angle droit avec la quille ; parce que ce n'eſt qu'alors que le Vaiſſeau n'eſt pas pouſſé de côté, ou qu'il ne l'eſt que dans le ſens direct, quel que ſoit la direction du vent. Mais pour peu que la voile ſoit ſituée obliquement, ou qu'on lui donne une diſpoſition aprochante de celle que repréſente la Figure, le Navire en paſſant ſucceſſivement d'une route à l'autre, n'en embraſſe conſtamment une, que lors que la direction du choc de l'eau ſur la prouë, ſe trouve exactement contraire à la direction CF de l'effort de la voile. Il ne doit pas ſuivre la direction même CF de l'effort du vent ; car on le repete, les fluides ne pouſſent pas les ſurfaces ſelon leur propre direction, & ſi le Navire ſuivoit FC, le choc de l'eau s'exerceroit ſelon quelqu'autre ligne, & ne ſe trouvant pas exactement opoſé à l'effort de la voile, ces deux forces ne pourroient pas ſe détruire mutuellement. C'eſt ſur cette opoſition & ſur l'égalité parfaite, qui doivent ſubſiſter entre les impulſions de l'eau & du vent, qu'eſt fondée toute la Théorie de la Manœuvre des Vaiſſeaux. Ce principe général & fécond paroît maintenant de la derniere évidence : les écrits s'étoient néanmoins multipliés

inutilement; & c'eſt au célébre M. Bernoulli à qui toutes les Mathématiques ſont ſi redevables, que la ſcience Nautique a encore cette obligation, d'avoir le premier découvert la vérité dans cette matiere *.

* Voyez l'Eſſai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre des Vaiſſeaux, imprimé à Baſle en 1714.

CHAPITRE II.

De la meſure des chocs abſolus de l'Eau & du Vent.

I.

LORSQUE l'eau, ou tout autre fluide, vient rencontrer un plan, il eſt évident que chacune de ſes molécules doit faire plus ou moins d'impreſſion, ſelon qu'elle frape plus ou moins perpendiculairement. L'effort particulier doit être exprimé par le ſinus de l'angle d'incidence, ou le ſinus de l'angle que fait la direction du fluide avec la ſurface; puiſque ce ſinus repréſente la quantité de l'accès de la molécule vers le plan. Ceci ſe raporte à ce que nous avons dit d'une pierre qui rencontre obliquement un mur, & qui au lieu d'agir par ſon mouvement abſolu, n'agit que par la partie qui s'exerce dans le ſens perpendiculaire. Mais en même tems que chaque particule du fluide fait plus ou moins d'impreſſion, le nombre de ces mêmes particules qui contribuent au choc, eſt encore plus ou moins grand, ſelon que la ſurface ſe préſente plus ou moins directement; & ce nombre de particules eſt encore exprimé par le ſinus de l'angle d'incidence. Ainſi le ſinus de cet angle contribue doublement au choc: & l'impulſion doit être proportionelle à ſon quarré. Dans la Figure 70, l'angle LBA repréſente l'angle d'incidence que fait la direction LB du fluide avec la ſurface AB, & l'impulſion, ſelon ce que nous venons de voir, ſera proportionelle au quarré du ſinus de cet angle. Quoique la molécule L du fluide parcoure tout l'eſpace LB, elle n'avance vers la ſurface que de la quantité LM qui réſulte de la décompoſition du mou-

Fig. 70.

Digitized by Google

vement absolu BL, en mouvement perpendiculaire LM à la surface, lequel est exprimé par le sinus d'incidence, & en mouvement parallele LN, qui ne produit ici aucun effet. Mais en même tems que l'effort relatif de chaque molécule suit le raport du sinus de l'angle d'incidence LBA, la multitude des mêmes molécules suit le même raport: car la surface AB n'est frapée que par le seul fluide contenu entre A & O, ou qui passe entre ces points; & cette largeur AO est encore proportionelle au sinus de l'angle d'incidence. Lorsque cet angle sera droit, l'impulsion sera la plus grande de toutes: au lieu que si l'angle LBA n'est que de 30 dégrés, chaque molécule fera la moitié moins d'impression, parce qu'elle n'en fera que par sa vitesse d'accès qui ne sera que la moitié de sa vitesse absolue; & il y aura aussi la moitié moins de molécules qui contribueront au choc, parce que la surface présentera une moindre largeur au cours du fluide. De cette sorte l'effort total sera quatre fois moindre. Fig. 70.

Mais ce n'est pas seulement par le plus ou le moins d'obliquité avec laquelle le fluide fait son choc, que son impulsion est différente; c'est encore par le plus ou le moins de vitesse absolue qu'il a indépendament de son obliquité. Aussi-tôt que le fluide se meut plus vite, il fait une impression plus grande, & elle est proportionelle au quarré de sa vitesse; parce que le fluide se mouvant plus vite, chaque de ses molécules frape avec plus de force, & qu'il y a outre cela un plus grand nombre de molécules qui surviennent dans le même tems & qui contribuent à l'impulsion. Si l'eau, par exemple, qui rencontre une surface, acquerre trois fois plus de vitesse, chaque de ses parties, prises séparement, fera une impression trois fois plus grande; mais comme il y aura encore, puisque la vitesse sera trois fois plus grande, trois fois plus de parties dont l'action s'achevera dans le même tems, l'impulsion totale sera neuf fois plus forte. C'est ce qui est commun à tous les fluides, & c'est par cette raison qu'ils deviennent quelquefois capables d'efforts prodigieux. L'eau marine, par exem-

ple, ne fait que très-peu d'effet lorſqu'elle ne parcourt qu'un pied dans une ſeconde; mais qu'elle ſe meuve dix fois plus vite, auſſi-tôt ſon impulſion augmentera cent fois: capable alors de renverſer les digues les plus épaiſſes, elle jettera ſouvent ſur ſes bords les plus grands poids, qui étoient plongés à une très-grande profondeur.

Il ſuit de ce que nous venons de dire, que lorſque le même fluide frape la même ſurface avec différentes viteſſes, & avec différentes obliquités, les impulſions ſont comme les produits des quarrés des viteſſes par les quarrés des ſinus des angles d'incidence, puiſqu'elles dépendent également de chacun de ces quarrés. Il eſt vrai que dans tout ceci nous n'avons pas égard à quelques irrégularités Phyſiques qui peuvent altérer un peu l'une & l'autre proportion. Après que les parties les plus avancées du fluide ont fait leur effet, il faudroit qu'en ſe retirant, elles laiſſaſſent agir librement les autres: au lieu qu'en ſe refléchiſſant après le choc, elles heurtent celles qui les ſuivent, & mettent obſtacle à l'action que ces dernieres doivent produire à leur tour. L'expérience apprend néanmoins que ces irregularités, qui ſont à peu près ſemblables, ou proportionelles dans tous les cas, ne tirent pas à conſéquence. Dailleurs on peut dans de pareilles matieres, négliger une préciſion trop rigoureuſe, lorſqu'il eſt queſtion de ne pas rendre les régles trop compliquées.

Si la viteſſe du fluide eſt non-ſeulement différente, de même que le ſinus de l'angle d'incidence; mais que la ſurface ſoit auſſi plus ou moins grande, l'impulſion changera encore ſelon l'étendue de cette ſurface. Ainſi les impreſſions du même fluide ſont ſenſiblement comme les produits du quarré de ſa viteſſe & du quarré du ſinus de l'angle d'incidence, multipliés par l'étendue du plan qui reçoit le choc. Je dis que les impulſions du même fluide ſuivent ſenſiblement ce raport: car outre les irregularités dont je viens de faire mention, il ſe peut faire encore que des plans de diverſes étenduës ne ſouffrent pas des impulſions proportionelles à la grandeur de leur ſurface. Peut-être que le

Digitized by Google

plan deux fois plus grand, par exemple, ne reçoit pas un choc préciſement double, & cela à cauſe du plus ou du moins de facilité que trouvent les parties du fluide à ſe retirer après avoir accompli leur choc, ſelon que la ſurface eſt plus ou moins grande. Il n'eſt pas permis à tout le monde de faire des expériences ſur ces matieres; parce qu'il faudroit leur donner beaucoup d'étenduë, les faire en grand, & examiner principalement les cas extrêmes.

Il arrive peut être auſſi des varietés que nous ne connoiſſons nullement, au choc que ſouffrent les ſurfaces qui ſe meuvent, par exemple, dans l'eau & qui ſont plongées à une grande profondeur; & toutes ces particularités veulent être étudiées, non pas par de ſimples méditations, mais par des épreuves faites avec beaucoup d'adreſſe. Je ſoupçonne que c'eſt en partie à la difficulté qu'a l'eau de ſe retirer & de paſſer ſous la carène, qu'il faut attribuer la proprieté qu'ont les Navires qui ſont plus profonds, d'être toujours ſujets à moins de dérive dans les routes obliques. Les Navires qui ont plus de *creux* gliſſent de côté ſur les eaux avec de facilité; parce que les molécules d'eau qui ſont frapées, ont plus de viteſſe à prendre ou plus de chemin à faire pour s'échaper; ce qui fait qu'elles réſiſtent davantage au mouvement latéral du Vaiſſeau. Quoi qu'il en ſoit, ſi on admet les régles précédentes, il ſuffira de faire quelques eſſais ſur le choc d'un fluide, pour ſe mettre en état de juger de la force de ſon impulſion dans tous les autres cas. On peut prendre, par exemple, pour principe d'expérience, que l'eau marine en choquant perpendiculairement une ſurface d'un pied quarré avec une viteſſe à parcourir un pied par ſeconde, fait une impreſſion égale à très-peu près à une livre ſept onces. Si la viteſſe eſt plus grande, l'impulſion augmentera en raiſon doublée; ſi la ſurface eſt plus étenduë, l'impulſion croîtra dans le même raport que la ſurface; & enfin ſi le choc ſe fait avec obliquité, l'impulſion changera comme le quarré du ſinus de l'angle d'incidence.

Digitized by Google

II.

Les impulsions du vent sont foibles en comparaison de celles de l'eau ; parce que l'air a peu de densité, ou contient beaucoup moins de matiere sous le même volume. M. Mariote a trouvé que sa densité étoit 576 fois moindre que celle de l'eau ; & comme toutes les autres circonstances étant les mêmes, les impulsions des fluides doivent être proportionelles à leur densité, puisqu'ils n'agissent que par leur masse ou par la quantitité de matiere qu'ils contiennent, le vent avec la même viteſſe que l'eau, doit faire une impulsion 576 fois moindre. Ainsi lorsqu'il parcourt un espace de 50 pieds dans une seconde, il fait, en rencontrant perpendiculairement une surface d'un pied quarré, un effort d'environ 6 livres. Mais nous avons tout lieu de croire que les expériences qui ont fourni cette détermination, ont été faite en hiver, lorsque l'air étoit extrémement condensé : car il est certain que ce fluide qui reçoit le plus aisément de tous, les impressions de la chaleur, est beaucoup plus dilaté en Eté. Les impulsions qu'il fait alors par son choc, sont donc plus foibles : & peut-être sont-elles plus de 1000 fois moins fortes que celles de l'eau. On remarque souvent qu'un simple rayon du Soleil qui passe entre des Nuages, suffit pour produire un changement considérable à l'état de l'air, de même que l'ombre d'un seul nuage détaché est capable de causer un changement tout contraire. L'air privé au-dessous de la chaleur immédiate du Soleil, se refroidit, & se condense tout-à-coup ; & le vent, quoiqu'avec la même viteſſe, a réellement plus de force, parce qu'il agit avec plus de masse. Enfin son impulsion varie encore, selon qu'il est plus ou moins chargé de vapeurs : indépendamment des autres causes de différences, celle-ci produit des effets très-sensibles.

Il n'y a point de doute après tout cela, que si on peut toujours conclure assez exactement la force du choc de l'eau & de presque tous les autres fluides, aussi-tôt qu'on

Digitized by Google

connoît leur viteſſe, ce n'eſt pas la même choſe à l'égard du vent. Les denſités de l'air ſont trop variables, & ſes variations ne ſont preſque jamais aſſez connuës. Ainſi il vaut beaucoup mieux tâcher de déterminer immédiatement la force du vent, que de s'arrêter à la déduire de la meſure de ſa viteſſe. On a déja imaginé pour cela pluſieurs inſtrumens ſous le nom d'anémometres, entre leſquels on doit diſtinguer celui que nous a donné M. Wolff dans ſes Elemens d'Aerométrie, & un autre qui indique, non-ſeulement la force du vent, mais qui en tient pour ainſi dire Regiſtre, que M. d'Ons-en-Bray a communiqué dans les Mémoires de l'Académie. M. le Marquis Poleni dans la Diſſertation qui a remporté le prix de 1733, a auſſi propoſé un de ces inſtrumens, qui eſt fort ingenieux & qu'il eſt facile de rendre exact. C'eſt un plan ſuſpendu par en haut, lequel étant expoſé au choc du vent, doit s'éloigner plus ou moins de la ſituation verticale, ſelon que l'impulſion eſt plus ou moins grande. C'eſt par la quantité de l'inclinaiſon que M. Poleni prétend juger de la force de l'impulſion. On peut employer toutes ces machines avec ſuccès; & à leur défaut on pourra ſe ſervir de celle que je vais propoſer, qui eſt très-ſimple, & que j'ai trouvé commode dans l'uſage que j'en ai fait.

Deſcription d'un Inſtrument pour meſurer la force du Vent.

Notre Anémometre n'eſt autre choſe qu'un morceau de carton très-leger apliqué à un eſpece de peſon d'Allemagne. Le morceau de carton qui eſt un quarré dont chaque côté a 6 pouces, eſt repréſenté dans la Figure 68 par le quarré ABDE, & eſt ſoutenu par la verge CF, qui entre dans le canon ou tuyau FG, & s'apuye contre un reſſort *à boudin* qui eſt dans le fond de ce canon. On expoſe le morceau de carton au choc du vent, & ſelon que l'impulſion eſt plus ou moins grande, la verge CF qui eſt ſoutenuë en F à ſon entrée dans le tuyau par un petit rouleau Fig. 68.

Fig. 68. mobile sur son axe, afin de diminuer le frotement, comprime plus ou moins le ressort à boudin; & on a en F sur la surface de la verge, qui est divisée en parties, la quantité de l'impulsion marquée en livres & en onces, de la même maniere qu'on a avec le peson d'Allemagne le poids des choses qu'on pese. Il se trouve cette seule différence entre ces deux Instrumens; que l'Anémometre est dans une agitation continuelle, à cause du peu d'égalité avec laquelle le vent souffle presque toujours. On observera ou la quantité moyenne de l'impulsion ou sa plus grande force, selon les diverses conséquences qu'on voudra tirer de cette connoissance. L'Anémometre dont je me suis servi étoit précisement tel que le représente la Figure; mais on pourroit lui donner diverses autres formes. On pourroit, par exemple, le mettre sur une petite table; le canon FG seroit porté par deux soutiens perpendiculaires, & la voile AD qui se reposeroit par sa partie inférieure AD sur la table, auroit deux petites roulettes en E & en D pour détruire le frotement.

Un des principaux avantages qu'a cet Instrument, c'est qu'il suffit de placer le morceau de carton parallelement à la surface des voiles, pour trouver l'impulsion que fait le vent sur chaque pied de surface, sans être obligé de faire attention à l'obliquité du choc. Il sera de cette sorte très-facile de sçavoir l'impulsion totale qui fait singler le Navire, & pour y mieux réussir, on peut au lieu de la feuille de carton, mettre dans un chassis un morceau de la même toile dont les voiles sont faites: on aprendra de cette sorte quand il y aura à craindre pour la rupture de la mâture, ou qu'il y aura encore quelque accident plus grand à éviter. Je ne crois pas qu'on doive jamais se hazarder à soutenir un effort de 6 livres sur chaque pied quarré. Pour que le vent fit une pareille impression, il faudroit, comme je l'ai déja dit, qu'il eût en Hyver en France une viteſſe à parcourir environ 50 pieds par seconde, & une d'environ 60 ou 63 pieds en Eté, & il faudroit qu'il en eût encore une plus grande dans presque tous les endroits de la Zone-Torride.

Ce

Ce ne seroit cependant encore là que sa viteſſe relative, ou celle qu'il auroit par raport au Vaiſſeau & avec laquelle il l'atteindroit : au lieu que la viteſſe abſoluë avec laquelle il choqueroit le Navire qui ſe mettroit en *pane* ou *côté à travers*, ſeroit beaucoup plus grande & le rendroit capable des plus grands efforts. A Terre les hommes auroient de la peine à ſe ſoutenir, les arbres ſeroient arrachés, quelques édifices ſeroient renverſés, &c. Fig. 68.

III.

La plus grande partie de notre Anémometre ſervira auſſi, lorſqu'au lieu de meſurer l'effort du vent, on voudra meſurer l'effort de l'eau. Rien n'eſt plus facile dans un Port de Mer & dans un Attelier de conſtruction, où on a toutes les choſes ſous la main, que de faire faire une petite prouë en bois parfaitement ſemblable à celle d'un Navire. Or ſi après l'avoir ſuffiſament chargée, on l'expoſe à une eau courante, & qu'ayant ôté de l'Anémometre (Fig. 68.) la voile ou ſurface AD, on ſoutienne avec l'extrémité de la verge CF la petite prouë, contre le choc auquel elle ſera ſujette, on apprendra la valeur de l'effort en livres ou en onces. On verra auſſi ſelon quelle direction ſe fait l'impulſion, puiſqu'elle ſera indiquée par la ſituation qu'il faudra donner à la verge CF, pour que la petite prouë ſe maintienne conſtamment dans le même état. Enfin ſi on réitere la même expérience, en expoſant au choc de l'eau une ſurface plane égale à la baſe du petit conoïde qui repréſente la prouë, on ſçaura, avec d'autant plus de préciſion, combien la ſaillie ou convexité de l'avant du Navire fait diminuer de fois l'impulſion qu'il reçoit, que cette connoiſſance ne ſe reſſentira pas des erreurs que nous ſommes expoſés à commettre dans les ſyſtêmes que nous formons ſur l'action des fluides.

Il eſt vrai que s'il n'étoit queſtion que de trouver ce dernier raport, on le découvriroit plus exactement par la Machine très-ſimple, dont je vais donner la deſcription, & qu'on peut nommer *balance nautique*, vû ſa conſtruction & ſes uſages. BADC (Fig. 69.) repréſente la petite prouë Fig. 69.

Fig. 69. faite en bois & parfaitement ſemblable à celle dont on veut ſçavoir les propriétés ; & FEG eſt une planche taillée exactement de la même grandeur que la baſe BCD du conoïde qui forme la petite proüe. On appliquera l'une & l'autre à une longue régle horiſontale OP, qui pouvant tourner ſur l'axe vertical KL, ſert comme de fleau à la balance. L'axe KL ſera une verge de fer, dont le mouvement de rotation ſera facilité par la maniere dont elle ſe terminera en pivot vers ſes deux extrémités, & les deux poupées M & N qui la ſoutiennent, pourront ſe placer en quel endroit on voudra du pieux vertical HI. Les deux poupées O & P qui ſoutiennent la petite proüe d'un côté & la petite ſurface plane de l'autre, pouront auſſi gliſſer le long de la régle horiſontale ; & on les arrêtera par des vis. La Machine étant conſtruite de cette ſorte, on la plongera dans une eau courante, en préſentant la petite proüe directement au courant, & en l'enfonçant juſqu'à ce qu'elle ſoit entierement ſubmergée, de même que la ſurface EFG : & il n'y aura plus qu'à changer leur diſtance à l'axe KL, juſqu'à ce que les deux impulſions ſoient en équilibre ; pour ſçavoir par la longueur des deux bras de levier auſquels elles ſeront appliquées, le raport qu'il y a entre les deux forces. Je n'ai que faire d'avertir que les deux impulſions ſeront en raiſon inverſe des longueurs des deux bras de levier. Le même Inſtrument ſervira auſſi, ſi on le veut, à comparer deux proüës immédiatement l'une à l'autre ; en apliquant à la balance deux petites proüës qui leur ſoient ſemblables : & on pourra, ſi on le veut, pour plus de commodité, expoſer la machine au vent, au lieu de l'expoſer au choc de l'eau. Au reſte, quoique ce moyen mécanique de juger de l'impulſion que ſouffrent les ſurfaces, puiſſe ſervir dans pluſieurs rencontres, il eſt cependant à propos d'en avoir d'autres, qu'on puiſſe employer ſans avoir recours à l'expérience. La méthode générale eſt de réduire les impulſions que ſouffrent les ſurfaces courbes, à celles que ſouffrent les ſurfaces planes : il faudra pour cela diviſer les ſurfaces courbes en parties aſſez petites, pour faire diſparoître leur courbure.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

De l'impulsion des Fluides sur différentes figures, & premierement sur une Prouë formée de deux lignes droites.

I.

NOUS commençons ce nouvel examen par le cas le plus simple de tous : nous suposerons que la prouë BAD, (Fig. 70.) est formée de deux lignes droites AB, AD, que l'eau rencontre selon une infinité de paralleles à l'axe AC. L'angle d'incidence sera égal à l'angle BAC, ou à la moitié de l'angle BAD ; & si on multiplie chaque côté AB ou AD par le quarré du sinus de cet angle, qu'il est toujours aussi facile d'exprimer par lignes que par nombres, on aura l'impulsion absoluë totale : impulsion qui s'exerce selon la perpendiculaire EF à chaque côté. Je supose que cette impulsion sur AB, est représentée par l'espace même EF ; & je forme le rectangle EGFH, dont les côtés EG & FH sont paralleles à l'axe AC, & les autres côtés perpendiculaires. Il est clair que EG ou HF représentera en même tems la partie de l'impulsion qui s'exerce dans le sens parallele à l'axe ; & il n'est pas moins évident que cette partie est plus petite que l'impulsion absoluë dans le même raport que BC est plus petite que AB ; puisqu'à cause des triangles semblables ABC & FEG, il y a même raport de BC à AB, que de EG à EF. Ainsi si au lieu de chercher les impulsions absoluës sur les côtés AB & AD, lesquelles se détruisent en parties, parce qu'elles sont en parties contraires, on ne veut avoir que les impulsions relatives directes, qui s'exerçant dans le sens exactement parallele à l'axe, s'aident mutuellement, il ne faut pas multiplier le quarré du sinus d'incidence par la longueur de chaque côté AB ou AD ; car on auroit les im- Fig. 70.

Digitized by Google

Fig. 70. pulſions abſoluës : mais il faut multiplier ce quarré ſeulement par CB ou par CD. On aura de cette ſorte les deux impulſions relatives directes ; & il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du ſinus d'incidence par toute la baſe BD, pour avoir l'impulſion relative directe ſur toute la proüe.

Si l'angle en A formé par les deux côtés de la proüe, eſt de 60 degrez, l'angle d'incidence ſera de 30, & ſon ſinus étant la moitié du ſinus total, le quarré de ce ſinus ſera quatre fois plus petit ; d'où il ſuit que l'impulſion directe que recevra la proüe, ſera alors le quart de celle que recevroit la baſe BD, ſi elle étoit choquée par le fluide ; car cette derniere impulſion ſeroit exprimée par le quarré même du ſinus total, multiplié par BD. On voit de la même maniere que lorſque l'angle en A eſt droit, l'impulſion directe eſt la moitié de ce qu'elle ſeroit, ſi le fluide pouvoit fraper la baſe BD ; puiſque l'angle d'incidence eſt de 45 degrés, & que le quarré de ſon ſinus eſt la moitié du quarré du ſinus total.

I.

De l'impulſion de l'eau ſur une proüe formée par un demi-cercle.

Fig. 71. Prenons pour ſecond exemple un demi-cercle BAD, (Fig. 71.) choqué par un fluide qui vient rencontrer ſa convexité, ſelon des directions perpendiculaires au diametre BD, ou paralleles au rayon AC. Si on conçoit la circonference de ce cercle partagée en une infinité de parties infiniment petites E*e*, & qu'on abaiſſe des points E & *e* des perpendiculaires EG & *eg* ſur le diametre BD, ces perpendiculaires ſeront paralleles à la direction du fluide, & on pourra les prendre pour les ſinus des angles d'incidence, puiſque ces lignes ſeront les ſinus des angles BCE, qui ſont égaux à ceux E*e*F que fait la direction du fluide avec les petites parties E*e* de la circonference actuellement choquée. Ainſi pour avoir, conformément aux principes établis ci-devant, l'impulſion ſur la petite partie E*e*, il n'y a qu'à multiplier cette petite partie par le quarré de EG.

Digitized by Google

Il eſt vrai qu'on aura de cette ſorte l'impulſion abſoluë; c'eſt-à-dire celle qui agit ſelon le rayon EC, ou ſelon la perpendiculaire à la partie même, au lieu que nous voulons avoir la ſeule impulſion relative ſelon EG ou ſelon la détermination de l'axe, laquelle doit être plus petite que l'abſoluë, dans le même raport que EG, eſt plus petite que EC, ou que EF eſt plus petite que E*e*. Ainſi au lieu de multiplier le quarré du ſinus EG d'incidence par E*e*, nous n'avons qu'à le multiplier par EF, ou par G*g*. Or c'eſt la même choſe de toutes les autres parties de la circonference; & pour avoir par conſéquent l'impulſion directe que ſouffre la demi-circonference entiere, il ſuffit de chercher la ſomme de tous les produits des quarrés des ſinus EG par les parties correſpondantes G*g*. Fig. 71. & 72.

La Géométrie fournit divers moyens pour trouver la ſomme de ces produits; mais il me ſemble que voici le plus ſimple. On formera une pyramide triangulaire HBDI, (Fig. 72.) dont la hauteur BI ſera égale au diametre BD du demi-cercle qui eſt ſujet à l'impulſion, & dont la baſe ſera un triangle BDH, qui a un angle droit formé des deux côtés BD & DH qui ſeront égaux au même diametre. On fera les parties BG & B*g* égales à BG & à B*g* de la figure 71, & on imaginera des plans NOPG, *nopg* perpendiculaires à la baſe & paralleles à DH, qui partageront la pyramide en une infinité de tranches infiniment peu épaiſſes. Il eſt évident que chaque de ces tranches exprimera l'impulſion relative directe que ſouffrira chaque partie E*e* de la demi-circonference. Car GP étant égale à BG, de même que GN eſt égale à GD, le rectangle NGPO ſera égal au rectangle de BG par GD qui eſt égal, par la proprieté du cercle, au quarré de GE; & il ſuit delà que la tranche infiniment peu épaiſſe NGPO*ongp*, eſt égale au produit du quarré de GE par G*g*, & exprime par conſéquent l'impulſion relative directe ſur E*e*. Mais puiſque c'eſt la même choſe de toutes les autres tranches; qu'elles ſont continuellement proportionelles aux petites impulſions directes; il ſuffit de chercher la ſolidi-

Digitized by Google

Fig. 72. té entiere de la pyramide, qui a pour élemens toutes les tranches, ou de chercher la solidité de ses parties sensibles BGOI ou NGCMO, (ce qui sera toujours facile) pour avoir l'impulsion relative directe, ou sur toute la demi-circonference BAD, ou sur quelqu'une de ses parties BE ou EA.

La solidité de la pyramide entiere est égale aux $\frac{4}{3}$ du cube du sinus total ou du rayon CB. Car la base BDH est double du quarré du sinus total, ou égale à $2 \times \overline{BC}^3$; & il faut multiplier cette base par le tiers de BI ou par les deux tiers BC; ce qui donne pour la pyramide entiere $\frac{4}{3} \times \overline{BC}^3$. Cette solidité exprime l'impulsion que souffre toute la demi-circonference selon le sens direct: Mais si le fluide agissoit sur le diametre même BD & perpendiculairement, l'impulsion seroit égale au quarré $\overline{BC}^2$ du sinus total, multiplié par le diametre même, ou par le double de BC; de sorte qu'elle seroit exprimée par le double du cube du sinus total, ou par $\frac{6}{3} \times \overline{BC}^3$. Ainsi il est sensible que l'impulsion que reçoit la demi-circonference BAD, est à celle que recevroit le diametre BD, s'il étoit choqué perpendiculairement par le fluide, comme 4 est à 6, ou que l'une est les deux tiers de l'autre: ce qui nous apprend que la courbure ou la saillie du demi-cercle qui est cause que chaque partie est frapée avec moins de force, fait diminuer l'impulsion précisément d'un tiers.

Nous avons vû que lorsque la proüe est formée de deux lignes droites qui font en A un triangle droit, l'impulsion directe est diminuée de moitié. Cette proüe rectiligne éprouve donc moins de résistance de la part de l'eau que la proüe formée d'un demi-cercle: Les deux résistances sont dans le raport de 3 à 4; la premiere est d'un quart plus petite que l'autre. Mais nous démontrerons aussi que de toutes les proüës terminées par un simple trait, c'est la proüe rectiligne, qui ayant la même largeur BD, & la même saillie CA, est exposée à la moindre résistance

Digitized by Google

poſſible de la part du milieu dans lequel elle ſe meut. Si on cherche de la même maniere l'impulſion dans le ſens relatif direct que reçoit un arc de cercle BE de 60 degrés, on trouvera qu'elle eſt les $\frac{1}{12}$ de celle que recevroit dans le même ſens la baſe BG, ſi elle étoit expoſée au choc : Au lieu que l'impulſion que recevroit la corde de l'arc ſeroit ſeulement le quart ou les $\frac{3}{12}$ de celle que recevroit la baſe BG, & ſeroit donc les $\frac{1}{3}$ de celle que ſouffre l'arc.

III.

De l'impulſion que reçoit une parabole.

Supoſons maintenant que la proüe, au lieu d'être terminée par un arc de cercle, le ſoit par une parabole BAD, (Fig. 73.) dont AE eſt l'axe, & que le fluide, ſelon une infinité de lignes GB, *gb*, vienne la rencontrer parallement à cet axe. L'angle d'incidence GB*b* ſur une partie infiniment petite B*b*, ſera égal à l'angle FBE formé par l'ordonnée BE, & par la perpendiculaire BF à la courbe. Comme la ſouperpendiculaire EF eſt conſtante à cauſe de la proprieté de la parabole, qu'elle eſt égale à la moitié du parametre, nous la deſtinons à ſervir de ſinus total; & c'eſt donc par raport à cette ligne que nous travaillerons à exprimer le ſinus d'incidence & ſon quarré. Je tranſporte pour cela FE en AC; je trace du point C comme centre, l'arc de cercle AMO, & tirant du même point les lignes CG & C*g* juſqu'aux points G & *g*, où les paralleles BG & *bg* à l'axe rencontrent la tangente AG tirée au ſommet de la parabole, nous aurons le triangle CAG égal au triangle FEB; & par conſéquent l'angle CGA ſera égal à l'angle d'incidence du fluide ſur la petite partie B*b* de la parabole. Du point A j'abaiſſe enſuite la perpendiculaire AH ſur CG; & l'angle CAH étant encore égal à l'angle d'incidence, nous aurons CH pour ſon ſinus, pendant que AC qui eſt égale au demi-parametre, repréſentera le ſinus total. Cela ſupoſé, nous n'avons plus qu'à abaiſſer du point Fig. 73.

Digitized by Google

Fig. 73. H la perpendiculaire HI sur AC, & la partie interceptée CI représentera le quarré du sinus d'incidence. Car on aura la proportion continuë || AC | HC | CI, qui nous apprend que CI est égale au quarré de HC divisé par AC; & puisque AC est constante, le segment CI sera continuellement proportionel au quarré de HC, ou au quarré du sinus de l'angle d'incidence.

Il nous faudroit maintenant multiplier CI par la petite partie B*b* de la parabole, si nous voulions obtenir l'impulsion absoluë qu'elle reçoit, & qui s'exerce selon la perpendiculaire BF; mais voulant avoir la seule partie de l'impulsion qui agit dans le sens parallele à l'axe, il nous faut simplement multiplier CI par BI, ou par son égal G*g*. Je prend pour l'unité la constante CA, qui nous a déja servi de sinus total, & considerant que CA | G*g* || CI | KH, je reconnois que KH peut représenter le petit produit que nous cherchons, & qui exprime la perite impulsion relative directe sur B*b*. Car KH est égale à $\frac{CI \times Gg}{CA}$, & est donc toujours proportionelle à CI × G*g*. Enfin le petit triangle HLK étant semblable au grand CHA, il ne reste plus qu'à remarquer que KH est plus grande que HL dans le même raport que CA est plus grande que CH; mais que le petit arc M*m* du cercle AM, intercepté entre les lignes CG & C*g*, est aussi plus grand que HL précisément dans le même raport; puisque l'un est à l'autre comme AC ou MC est à HC: ainsi le petit arc M*m* est égal à HK, & exprime donc aussi l'impulsion directe du fluide sur la petite partie B*b* de la parabole. Or comme le même raisonnement peut s'appliquer à toutes les autres petites parties, il s'ensuit que l'impulsion relative dans le sens de l'axe, sur tout l'arc de parabole AB, est exprimée par la longueur entiere de l'arc de cercle AM.

Cette expression est générale & peut s'appliquer à tous les arcs de parabole. Si cette ligne courbe ne faisant que naître, nous considérons le petit arc qui part du sommet & qui ne differe pas de son ordonnée, nous aurons pour l'expression

preſſion de l'impulſion qu'il reçoit, le petit arc de cercle qui partant auſſi du point A, ne differe pas de ſa tangente & qui eſt de même longueur que le petit arc de parabole ou que ſon ordonnée. C'eſt-à-dire, que l'impulſion que ſouffrent les petites parties qui ſont expoſées perpendiculairement au choc, eſt repréſentée par leur longueur: & de là il ſuit que pendant que les arcs de cercle, comme AM, expriment les impulſions que reçoivent les arcs entiers AB de parabole, les impulſions que ſouffriroient les ordonnées EB, ſi le fluide pouvoit parvenir juſqu'à les fraper, ſeroient exprimées par la propre longueur de ces ordonnées ou par les tangentes AG qui leur ſont égales. Ces dernieres impulſions augmenteroient à l'infini à meſure qu'on prolongeroit la parabole; au lieu que la ligne courbe a cette proprieté ſinguliere, que l'impulſion qu'elle reçoit a un terme auquel elle ne parvient jamais: il faudroit étendre à l'infini chaque de ſes branches, pour que l'impulſion ſur chaque côté fût exprimée par l'arc AO qui eſt le quart du cercle. Si on fait paſſer par le foyer une ordonnée BD, la partie de la parabole retranchée vers le ſommet recevra ſeule autant d'impulſion que tout le reſte. En effet, l'impulſion pour chaque moitié ſera repréſentée par l'arc AM qui eſt de 45 dégrés; l'ordonnée BE étant dans ce cas égale à la moitié du parametre, & le triangle CAG étant iſocelle. Fig. 73.

CHAPITRE IV.

Méthode générale de trouver les impulſions des fluides ſur les lignes courbes, avec quelques remarques ſur ces impulſions.

ON peut découvrir avec le même ſuccès, en employant la ſeule Analyſe des Géométres, l'impulſion des fluides ſur pluſieurs autres lignes courbes: mais il n'eſt que trop

ſouvent néceſſaire pour réuſſir dans ces ſortes de recherches, d'avoir recours au calcul algébrique. C'eſt auſſi par ce ſeul moyen qu'on peut parvenir à des vûës plus étenduës ou plus univerſelles. Nous croyons donc qu'au lieu de continuer plus long-tems un examen qui ne ſeroit toujours que particulier, il vaut mieux nous hâter de nous élever à la conſideration générale de toutes les lignes courbes frapées par les fluides.

I.

De l'impulſion dans le ſens de l'axe.

Fig. 74. Soit BAD (Fig. 74.) une ligne courbe dont AC eſt l'axe & dont les deux branches AB & AD ſont parfaitement égales. Je nomme x les parties variables AC ou AH de l'axe & y les ordonnées correſpondantes BC ou EH ; pendant que dx exprimera les parties infiniment petites Hh de l'axe & dy les différentielles EF des ordonnées. Je ſupoſe de plus, pour n'être pas obligé d'y revenir une ſeconde fois, que le fluide ſe meut ſelon des lignes obliques LeI, LeI qui ſont avec l'axe de la courbe ou avec les paralleles eF à l'axe des angles FeI, dont m eſt la tangente & $\sqrt{n^2+m^2}$ la ſécante, pendant que n déſigne le ſinus total. Ces angles FeI repréſente l'obliquité de la route ou la quantité de la dérive, ſupoſé que la courbe BAD ſoit la proüe d'un Navire projetté ſur un plan horiſontal & que A ſoit ſon extrémité. L'angle d'incidence eſt ici EeI, lequel eſt plus grand d'un côté & plus petit de l'autre ; plus grand ſur la moitié de la courbe que le fluide frape plus directement. Du point I j'abaiſſe la perpendiculaire IK ſur la partie Ee ; & cette perpendiculaire repréſentera le ſinus de l'angle d'incidence, comparée à eI priſe pour ſinus total. Il eſt très-facile de trouver l'expreſſion de cette ligne IK : je cherche pour cela FI par cette analogie ; le ſinus total n eſt à la tangente m de l'angle FeI, comme $eF = dx$ eſt à $FI = \frac{mdx}{n}$ que j'ajoute à $EF = dy$, ou que j'ôte de cette petite ligne,

Digitized by Google

pour avoir $dy \pm \frac{mdx}{n}$ pour la valeur de EI. Je cherche eI par cette analogie ; le sinus total n est à la sécante $\sqrt{n^2+m^2}$ de l'angle FeI, comme $eF = dx$ est à $eI = \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$. Considerant ensuite que les petits triangles EKI & EFe sont semblables, je fais cette autre proportion, $Ee = \sqrt{dx^2+dy^2}$ | $Fe = dx$ || EI $= dy \pm \frac{m}{n}dx$ | KI $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n}dx^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$. Enfin, nous n'avons qu'à faire cette derniere analogie que nous fournit le triangle eIK, l'hypoténuse $eI = \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$ est au sinus total n, comme IK $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n}dx^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ est à $\frac{n^2dy \pm nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$, & nous aurons l'expression du sinus de l'angle d'incidence IeK. Cette expression en contient réellement deux ; la premiere $\frac{n^2dy+nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ convient à la moitié AB de la courbe, & la seconde $\frac{n^2dy-nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ à l'autre moitié. Fig. 74.

Si on vouloit avoir l'impulsion absoluë sur la petite partie Ee, il n'y auroit qu'à multiplier le quarré $\frac{n^4dy^2 \pm 2n^3mdxdy + n^2m^2dx^2}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ de ce sinus par la partie même $Ee = \sqrt{dx^2+dy^2}$. Mais comme toutes ces impulsions absoluës auroient des directions obliques les unes par raport aux autres, on ne pourroit pas sçavoir ensuite leur effet total ou commun par une simple addition ; au lieu que ce ne sera pas la même chose, si décompofant chaque impulsion absolue, on cherche l'impulsion relative dans le sens précisément parallele à l'axe AC. Il est d'ailleurs toujours permis de considerer la petite partie Ee de la courbe, comme si elle étoit une petite portion des côtés rectilignes AB ou AD de la proüe BAD de la figure 70 ; ainsi on peut exécuter ici ce qu'on a déja exécuté

Digitized by Google

Fig. 74. dans le Chapitre précédent. Le quarré du sinus de l'angle d'incidence, multiplié par E*e*, nous donneroit la petite impulsion absoluë, & ce même quarré multiplié par EF nous donnera l'impulsion ralative dans la détermination de l'axe ; parce que cette derniere impulsion est plus petite que l'autre, dans le même raport que EF est moindre que E*e*. La regle est générale : si on vouloit avoir l'impulsion relative que souffre E*e* dans le sens latéral perpendiculaire à l'axe AC, il faudroit multiplier le quarré du sinus d'incidence par *e*F qui est la partie E*e* projettée sur un plan ou sur une ligne perpendiculaire à la direction, selon laquelle on veut avoir l'impulsion relative. Enfin si nous multiplions $\frac{n^4dy^2 \pm 2n^3mdxdy + m^2n^2dx^2}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ par EF $= dy$, nous aurons $\frac{n^4dy^3 \pm 2n^3mdxdy^2 + m^2n^2dx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$, pour l'impulsion relarequise dans la détermination de l'axe ; & puisque l'impulsion relative directe sur toute la courbe est formée de toutes ces petites impulsions, nous n'avons qu'à en prendre la somme infinie ou l'intégrale $\int \frac{n^4dy^3 \pm 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$, & nous aurons l'impulsion relative directe sur chaque moitié de la courbe ; sur la moitié AB, lorsque nous employerons le signe + qui est au second terme, & sur l'autre moitié, lorsque nous nous servirons du signe —.

Au lieu de chercher l'impulsion sur chaque moitié de la courbe séparement, on peut la chercher aussi sur la courbe entiere, en ajoutant ensemble les deux impulsions particulieres $\int \frac{n^4dy^3 + 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy}$ & . . . . $\int \frac{n^4dy^3 - 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$: il viendra . . . . $\int \frac{2n^4dy^3 + 2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ qui exprime donc l'impulsion relative directe totale.

Digitized by Google

Cette derniere formule se réduit à $\int \frac{2n^2 dy^3}{dx^2+dy^2}$, lors que le fluide se meut parallelement à l'axe, ou que l'obliquité de la route est nulle; parce qu'alors la tangente devenuë égale à zero, fait disparoître les termes qu'elle multiplie. Il semble d'abord que l'entiere solution du Problême est plus difficile dans les autres cas; mais elle ne l'est pas réellement: car toutes les fois qu'on peut avoir l'intégrale exacte de $\int \frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$, on peut l'obtenir également de $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$. Cela vient de ce qu'on peut trouver une certaine grandeur, qui ajoutée au premier terme de la quantité $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ ne le rend pas plus difficile à intégrer, & qui soustraite en même tems du second terme, afin de conserver à la quantité totale la même valeur, rend toujours infailliblement ce second terme intégrable. Cette grandeur qu'on doit ajouter à un terme & soustraire de l'autre, est $\frac{2n^2 m^2 dy^3}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ de sorte que nous aurons pour la quantité élementaire totale . . . $\frac{2n^4 dy^3 - 2n^2 m^2 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy + 2n^2 m^2 dy^3}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ ou $\frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2+m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2+dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2+m^2} \times \frac{dx^2 dy + dy^3}{dx^2+dy^2}$ qui se réduit à . . . $\frac{2n^4 - 2m^2 n^2}{n^2+m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2+dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2+m^2} dy$, dont l'intégrale est effectivement $\frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2+m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2+dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2+m^2} y$.

Fig. 74.

Ainsi que le fluide se meuve parallelement à l'axe de la courbe, ou qu'il suive quelqu'autre direction, il n'y a pas sensiblement plus de difficulté à trouver l'impulsion relative directe dans un cas que dans l'autre: il n'y a toujours que la seule quantité $\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ à intégrer. Si cette intégration étant achevée, nous désignons par A, la quantité

Digitized by Google

Fig. 74. $2n^2\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$, ou l'impulsion que souffre la courbe entiere lorsque le fluide la choque parallelement à son axe, nous aurons aussi-tôt en termes parfaitement connus, l'impulsion $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ que souffre la même courbe, lorsque le fluide se meut selon toute autre direction.

Mais notre formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$, ou son équivalente $\int\frac{2n^2dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ devient encore beaucoup plus simple & acquerre même une simplicité capable de causer quelque sorte de surprise, lorsque l'obliquité de la route est exactement de 45 dégrés, ou lorsque la direction du fluide fait précisement un angle demi-droit avec l'axe de la courbe. La tangente m se trouve égale au sinus total n, & la formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ se réduit à n^2y, pendant que l'autre formule $\int\frac{2n^4dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ qui se change en $\int\frac{2n^4dy^3+2n^4dx^2dy}{2n^2\times dx^2+dy^2}$ & en $\int n^2dy$, se réduit à la même quantité.

On voit donc dans cette circonstance particuliere, que l'impulsion relative directe ne dépend ni de la nature de la courbe qui la reçoit, ni de sa saillie ou de la longueur de son axe AC, mais seulement de sa largeur BD ou de sa plus grande ordonnée. Que la courbe BAD soit un arc de cercle ou une parabole ou une hyperbole, qu'elle soit géométrique ou mécanique, &c. que son axe soit plus ou moins long; aussi-tôt qu'elle n'a que la même largeur BD, l'impulsion qu'elle reçoit dans le sens de son axe par un fluide qui vient la rencontrer avec une obliquité de 45 degrés, est toujours exactement la même, & est égale à la moitié du quarré du sinus total, multipliée par la largeur BD; c'est-à-dire, qu'elle est réduite à la moitié de celle que recevroit la largeur BD frapée perpendiculairement.

Digitized by Google

Cette impulsion est aussi la même que celle que recevroit la ligne droite BD frapée avec une obliquité de 45 degrés, puisque cette droite peut être considerée comme une courbe BAD dont l'axe AC est infiniment petit. J'avois déja indiqué * cette proprieté singuliere de toutes les courbes dont les deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe ; mais je ne l'avois pas démontrée. Je m'étois contenté de faire voir une proprieté correspondante dans les conoïdes, & de dire qu'il y avoit quelque chose de semblable dans toutes les autres figures. Fig. 74.

* Traité de la Mâture des Vaisseaux page 157.

Au reste, ce que l'Algébre vient de nous indiquer, & ce qu'on ne se seroit peut-être pas avisé de chercher, si le calcul Analytique ne l'avoit fourni, se peut voir maintenant, avec la derniere évidence, par les seules lumieres de la Géométrie la plus commune. Lorsque le fluide suit une direction qui fait un angle demi-droit avec l'axe AC, il fait beaucoup plus d'impression sur un côté de la courbe que sur l'autre : mais si on examine l'impulsion que reçoivent deux petites parties correspondantes ou également situées de part & d'autre de l'axe, on verra qu'il se fait une espece de compensation, & qu'autant que le quarré d'un des sinus d'incidence est plus grand que la moitié du quarré du sinus total, le quarré de l'autre sinus d'incidence est plus petit. C'est donc précisément la même chose que si ces deux petites parties étoient frapées avec une incidence dont le quarré fût égal à la moitié du quarré du sinus total : & cela est vrai quelque soit la situation des deux petites parties ; pourvû qu'elles soient également situées par raport à l'axe d'un côté que de l'autre. Tel est le dénouement du paradoxe que nous ne croyons pas devoir expliquer plus au long. Il ne nous reste plus qu'à dire un mot de l'impulsion relative latérale.

Digitized by Google

Fig. 74.

II.

De l'impulsion dans le sens latéral, ou dans le sens perpendiculaire à l'axe.

Il faut, conformement à ce que nous avons vû ci-devant, multiplier le quarré $\frac{n^4dy^2 \pm 2n^3mdxdy + n^2m^2dx^2}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ du sinus de l'angle d'incidence EeI par $eF = dx$; & nous aurons $\frac{n^4dy^2dx \pm 2n^3mdx^2dy + n^2m^2dx^3}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ pour l'impulsion relative latérale que reçoit chaque petite partie E*e*. Si on prend ensuite l'intégrale $\int \frac{n^4dy^2dx \pm 2n^3mdx^2dy + n^2m^2dx^3}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$, on aura l'impulsion latérale sur chaque moitié entiere de la courbe ; sur la moitié AB, ou sur la moitié AD, selon qu'on employera le signe + ou le signe —. Mais comme ces deux différentes impulsions latérales sont opposées, il ne faut pas les ajouter ensemble ; il faut au contraire soustraire la plus foible de la plus forte, pour avoir l'impulsion latérale qui prévaut ou que reçoit la courbe entiere. Il vient $\int \frac{4n^3mdx^2dy}{n^2+m^2 \times dx^2+dy^2}$ ou $\frac{4n^3m}{n^2+m^2} \int \frac{dx^2dy}{dx^2+dy^2}$, qui convient, de même que les formules précédentes, à toutes les courbes, dont les deux branches de part & d'autre de l'axe, sont parfaitement égales.

On peut remarquer que comme cette derniere formule a beaucoup de raport au second terme de l'impulsion relative directe sur toute la courbe, on peut l'integrer par le même moyen. On ne changera point la valeur de la quantité élementaire, en lui ajoutant $\frac{4n^3m}{n^2+m^2} \times \frac{dy^2}{dx^2+dy^2}$ aussitôt qu'on en soustraira cette même grandeur sur le champ. C'est-à-dire, qu'au lieu d'opérer sur $\frac{4n^3m}{n^2+m^2} \times \frac{dx^2dy}{dx^2+dy^2}$, ou

Digitized by Google

on peut la faire également, sur $\frac{4n^3mdx^2dy+4n^3mdy^3}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ — — Fig. 74.

$-\frac{4n^3mdy^3}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$. Or cette derniere expression se reduit à $\frac{4n^3mdy}{n^2+m^2}-\frac{4n^3mdy^3}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$, & son intégrale est $\frac{4n^3m}{n^2+m^2}y-\frac{4n^3m}{n^2+m^2}\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ ou $\frac{4n^3m}{n^2+m^2}y-\frac{2nm}{n^2+m^2}$A, si on met A, comme ci-devant, à la place de $2n^2\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ qui indique l'impulsion relative directe, lorsque le mouvement se fait exactement selon l'axe.

III

Ainsi on voit encore une fois que toute la difficulté qu'il y a dans ces sortes de discussions, ne consiste qu'à trouver l'impulsion relative directe A, pour le seul cas où le fluide se meut selon l'axe de la courbe. Cette impulsion étant trouvée, il n'importe de quelle maniere, on aura toujours $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}$A $+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ pour les impulsions relatives directes pour tous les autres cas, & on aura en même tems $\frac{4n^3my-2nmA}{n^2+m^2}$ pour l'impulsion relative latérale; il suffit de se ressouvenir que y désigne la moitié de la plus grande largeur, ou la moitié de l'ordonnée entiere BD de la courbe, & que m marque la tangente de l'obliquité de la direction du fluide, pendant que n désigne le sinus total. Supposé qu'on eût trouvé l'impulsion A par l'expérience, il n'y auroit qu'à chercher par le même moyen l'impulsion que recevroit la demi-largeur BC exposée directement au choc, & l'introduire à la place de y.

CHAPITRE V.

De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes.

ON peut examiner à peu près de la même maniere les surfaces courbes, par raport à l'impulsion qu'elles reçoivent; quoique la discussion en doive être ordinairement plus compliquée, à cause de l'attention expresse qu'il faut avoir à la double courbure dont elles sont capables. Je me contenterai de chercher les impulsions que souffrent deux differentes figures; l'une à cause de son extréme simplicité; l'autre à cause de l'application extrémement étenduë qu'on en peut faire.

I.

De l'impulsion que souffre une prouë conique.

Fig. 25. 1°. Supofons d'abord que la prouë DBLF (Fig. 25.) est un cône droit, ou pour parler plus exactement, est un demi-cône, dont BE est l'axe, & le demi-cercle DFL la base. Il est évident, vû la régularité de cette figure, que toutes les parties en seront frapées précisément avec la même obliquité, ou avec la même incidence, aussitôt que le mouvement de la prouë, ou le mouvement de l'eau qui viendra la rencontrer, se fera parallement à l'axe BE. Ainsi le quarré du sinus de l'angle d'incidence étant le même pour toutes les parties de la surface, il faudroit le multiplier par l'étendue de toutes ces parties, si on vouloit avoir la somme des impulsions absolues, qui s'exercent selon une infinité de différentes perpendiculaires à la surface. Mais puisque nous ne voulons obtenir que l'impulsion relative horisontale directe, ou l'impulsion particuliere qui s'exerce dans la détermination parallele à l'axe BE, il faut chercher la projection de chaque partie de la surface conique dans le plan de la base DFL, qui est perpendiculaire à la

Digitized by Google

direction dont il s'agit, & multiplier le quarré du sinus de Fig. 25.
l'angle d'incidence par l'étendue de ces projections. Or toutes ces projections jointes ensemble, forment la base entiere DFL ; d'où il suit que pour avoir l'impulsion relative directe que souffre la proue entiere, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par l'étendue de la base DFL.

L'impulsion relative directe est par conséquent diminuée par la saillie de la proue, dans le même raport que le quarré du sinus de l'angle d'incidence, qui est égal à l'angle LBE, que font les côtés du cône avec l'axe, est plus petit que le quarré du sinus total. Si l'angle LBE est de 45 degrés, le quarré du sinus de l'angle d'incidence sera la moitié du quarré du sinus total ; & la proüe conique ne recevra que la moitié de l'impulsion, que recevroit la base DFL, supposé que le fluide la frapât perpendiculairement. Par la même raison, si l'angle LBE est d'environ 18 degrés 26 minutes, ou si l'axe BE est triple du rayon EL de la base DFL, la figure aigue du cône sera cause que l'impulsion sera dix fois moindre : car le quarré de EL étant 1, le quarré de BE sera 9, & celui de BL sera 10 ; & il est évident que le quarré de BL comparé à celui de EL, marque le raport du quarré du sinus total au quarré du sinus de l'angle d'incidence. En général si n marque le nombre de fois dont l'axe est plus grand que le rayon de la base, le nombre $n^2 + 1$ marquera combien de fois l'impulsion directe est diminuée par la saillie du cône. Il est clair aussi que puisque toutes les parties du demi-cercle, multipliées par le quarré du sinus d'incidence, représentent également les impulsions relatives directes que souffrent les parties correspondantes de la surface conique, l'impulsion directe que souffre la proüe entiere, doit s'exercer sur une direction qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL.

2°. Il ne doit pas être plus difficile de découvrir l'impulsion que souffre la proüe dans le sens vertical, ou la quantité de la force dont elle est poussée verticalement de bas

Fig. 25. en haut par la rencontre du fluide. Il faut, pour avoir chaque des petites impulsions que souffrent dans ce sens les parties de la surface conique, multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par les petites parties correspondantes du plan DBL qui en sont les projections; & pour avoir l'impulsion relative verticale entiere, il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute l'étendue du triangle DBL.

3°. Il suit de tout cela que l'impulsion relative que souffre la prouë conique dans le sens horisontal de son axe, est à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens vertical, comme l'étendue du demi-cercle DFL est à l'étendue du triangle DBL. Ces deux étendues sont égales, l'une au rectangle de EL par la moitié FL de la demi-circonference DFL, & l'autre au rectangle de EL par EB. Ainsi elles sont l'une à l'autre comme FL est à EB; & par conséquent les impulsions relatives, directe & verticale sont entr'elles dans le même raport; l'une est à l'autre comme l'arc du quart de cercle FL est à l'axe EB. Si on veut donc obtenir la force absolue avec laquelle la proue est poussée par le concours de ces deux impulsions, il n'y a qu'à tirer une ligne horisontale VX, qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL, & une verticale VY, qui passe par le centre de gravité du triangle DBL. Ces deux lignes représenteront les directions des deux impulsions relatives; & si on prend depuis le point d'intersection V des espaces VX & VY, pour représenter ces deux forces, & qui soient en même raison que l'arc FL & la droite BE, il n'y aura conformément aux régles de la composition des mouvemens, qu'à achever le rectangle YVXZ; & sa diagonale VZ indiquera la direction de l'impulsion composée ou absolue, & exprimera en même tems la grandeur de cette impulsion.

4°. Au reste il est facile de remarquer que les mêmes raisonnemens sont aplicables à le prouë conique, qui ne plongeroit qu'en partie dans l'eau; qui n'enfonceroit, par exemple, que jusqu'au tiers ou au quart du rayon EF, &

Digitized by Google

qui auroit donc son axe BE élevé au-dessus de l'eau d'une certaine quantité. L'impulsion directe dans le sens horisontal seroit représentée par l'étendue du segment de la base DFL, qui se trouveroit submergé, & l'impulsion relative verticale par l'étendue de la coupe du cône faite à fleur d'eau parallelement à l'axe BE. Cette coupe sera une hyperbole qui redeviendra le triangle DBL, lorsque la proue sera entierement submergée. Dans tous ces cas les deux impulsions relatives s'exerceront toujours sur des directions qui passeront par le centre de gravité des surfaces qui les représentent. Fig. 25.

II.

De l'impulsion que souffre une proue conoïdale formée par la circonvolution d'un arc de cercle.

1. Courbons maintenant les côtés BL & BD de la proüe; & au lieu de lignes droites, faisons-en des arcs de cercle, & formons la proüe par la circonvolution d'un de ces arcs autour de l'axe BE. Nous pouvons de cette sorte imiter sensiblement la forme d'une infinité de différens conoïdes, selon que nous prendrons l'arc du cercle générateur BL en differens endroits du quart de cercle IBL. Lorsque nous ferons commencer l'arc BL à moins de distance du point I, ou que nous prendrons pour axe BE de la proüe un sinus qui aprochera davantage d'être égal au rayon IH, nous obtiendrons une proüe plus obtuse: ce sera le contraire, lorsque nous diminuerons l'arc BL; & nous pourrons encore, si nous le voulons, au lieu de prendre l'arc BL entier, nous arrêter à quelqu'une de ses parties comme BK, en ne formant la proüe qu'avec le conoïde partial QBKP.

Si nous considerons sur la surface de ce conoïde une zone QpK, formée par la révolution de l'arc infiniment petit Kk, toutes les parties de cette zone seront frapées avec la même incidence par le fluide qui se meut selon des paralleles à l'axe BE, & on pourra prendre la ligne KM,

Digitized by Google

Fig. 25. ſinus de l'arc KL pour le ſinus d'incidence. Car cette même ligne KM peut être regardée comme la direction du fluide, dont elle eſt le prolongement; & l'angle d'incidence qu'elle fait avec la ſurface du conoïde, ou avec la petite ligne K*k*, ou avec la tangente à l'arc de cercle au point K, a pour meſure l'arc KL, dont KM eſt le ſinus. Ainſi pour avoir l'impulſion que ſouffre dans le ſens direct parallele à l'axe BE, la zone Q*p*K, il n'y a qu'à multiplier le quarré du ſinus KM de l'angle d'incidence, par l'étendue de la zone projetée ſur le plan DFL : c'eſt-à-dire par la couronne ou anneau R*r*M.

Mais le quarré de KM eſt continuellement égal à cauſe de la proprieté du cercle, au quarré du rayon HI moins le quarré de HM; & comme nous pouvons mettre à la place du quarré de HM, le quarré de HE, joint à deux rectangles de HE par EM, & au quarré de EM, nous aurons à la place du quarré du ſinus d'incidence KM, cette quantité $HI^2 - HE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, ou $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, parce que le ſeul quarré de BE eſt égal à $HI^2 - HE^2$. Nous aurons donc l'impulſion relative directe ſur chaque zone Q*p*K, en multipliant la quantité $BE^2 - {}^2HE \times EM - EM^2$ par l'étendue de chaque anneau correſpondant R*r*M; & ſi nous réuſſiſſons à trouver la ſomme infinie de tous ces produits, nous obtiendrons l'impulſion directe ſur toute la ſurface conoïde.

Chaque de ces produits eſt formé de trois termes. Premierement le quarré BE^2 qui eſt la premiere partie, & une partie conſtante du quarré $BE^2 - 2HG \times EM - EM^2$ du ſinus de l'angle d'incidence, doit être multiplié par chaque petit anneau R*r*M; & puiſqu'il faut faire la même choſe pour toutes les autres zones de la ſurface conoïdale, nous aurons la ſomme de tous les premiers termes, en multipliant le quarré de BE par l'étendue entiere du demi-cercle DLF, qui eſt la ſomme de tous les anneaux. Nommant donc E l'étendue de la baſe DLF ou QPK, du conoïde DBLF ou QBPK qui forme la proüe, nous aurons $BE^2 \times E$ pour la ſomme des premiers termes de l'impulſion directe.

Digitized by Google

Les seconds termes ne sont autre chose que les produits de $2HE \times EM$ par l'étendue des anneaux $Rr M$; & il est évident que ces anneaux croissent en même raison que EM qui leur sert de rayon, pendant qu'on suppose constante leur largeur infiniment petite Tr. Par conséquent les produits de $2EH \times EM$ par l'étendue de chaque anneau correspondant, croissent comme les quarrés de EM, ou croissent comme les quarrés de quantités qui augmentent en progression arithmetique; ils croissent comme les tranches d'un cône ou d'une pyramide, faites perpendiculairement à l'axe: & pour avoir leur somme infinie, il n'y a qu'à multiplier le plus grand de ces produits par le tiers de leur multitude. Il est clair que cette multitude est représentée ici par EL; & il n'est pas moins évident que la plus grande de ces quantités est $2HE \times EM$ devenue $2HE \times EL$, & multipliée par le circuit DFL du plus grand anneau; c'est-à-dire que cette quantité est $2HE \times EL \times DFL$, ou $4HE \times \frac{1}{2} EL \times DFL$, ou enfin $4HF \times E$, en mettant l'étendue E à la place du produit $\frac{1}{2} EL \times DFL$ qui lui est égal. Si toutes ces quantités dont $4HE \times E$ est la derniere, étoient égales entr'elles, il nous faudroit encore multiplier $4HE \times E$ par EL qui est la somme de toutes les petites largeurs Mm qui doivent entrer aussi dans le produit; mais vû la progression qu'elles suivent, il ne faut multiplier que par $\frac{1}{3} EL$, & nous aurons donc $\frac{4}{3} HE \times EL \times E$ pour la somme infinie de tous les seconds termes de l'impulsion. Fig. 25.

Il nous reste à trouver la somme des troisiémes termes qui sont les produits de EM^2 par l'étendue de chaque anneau correspondant $Rr M$. Ces produits augmentent comme les cubes de EM; & il faut par conséquent multiplier le plus grand de ces produits par le quart de leur multitude. C'est-à-dire que $EL^2 \times DFL$ qu'il faudroit multiplier par EL, si toutes ces quantités qu'il s'agit de sommer, étoient égales entr'elles, ne doit être multipliée que par le quart de EL. Mais $EL^2 \times DFL$ est égal à $2EL \times \frac{1}{2} EL \times DFL$, ou à $2EL \times E$, lorsqu'on met l'étendue E à la place de $\frac{1}{2} EL \times DFL$. Ainsi il nous vient $\frac{1}{2} \times EL^2 \times E$ pour

Digitized by Google

la ſomme infinie des troiſiémes termes.

Fig. 25. Réuniſſant maintenant les ſommes des trois termes qui compoſent l'impulſion directe, nous aurons pour cette impulſion $BE^2 \times E - \frac{2}{3} HE \times EL \times E - \frac{1}{2} \times EL^2 \times E$, ou la quantité $BE^2 - \frac{2}{3} HE \times EL - \frac{1}{2} \times EL^2$ multipliée par l'étendue E. Dans les cas où la proüe ne ſera formée que par le conoïde partial QBKP; au lieu du rayon EL de la baſe DFL, il faudra employer le rayon NK de la baſe QPK; & E déſignant l'étendue de cette ſeconde baſe, on aura $BE^2 - \frac{2}{3} HE \times NK - \frac{1}{2} \times NK^2$ multiplié par E pour l'impulſion que recevra dans le ſens de ſon axe le conoïde partial QBKP.

Supoſé que HE ſe réduiſe à rien, ou qu'on prenne HI pour axe du conoïde, le ſecond terme de la quantité précedente diſparoîtra, BE deviendra IH, & l'impulſion que recevra la ſurface ſphérique formée par la révolution de l'arc IK, ſera exprimée par $IH^2 - \frac{1}{2} \times SK^2$ multiplié par E, qui déſignera alors l'étendue du demi-cercle, dont SK eſt le rayon.

Enfin, ſi la proüe eſt formée par la révolution du quart de cercle entier IL, l'impulſion ſera $IH^2 - \frac{1}{2} \times HL^2$ ou $\frac{1}{2} \times IH^2$ multiplié par E; ce qui montre que la convexité de l'hemiſphere fait diminuer de moitié l'impulſion directe. Car ſi la ſurface E étoit expoſée elle-même au choc & directement, elle recevroit une impulſion qui ſeroit exprimée, non pas par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times E$, mais par $IH^2 \times E$, produit de ſon étendue par le quarré du ſinus total.

2. Il ſera facile de comparer le conoïde que nous venons d'examiner avec le cône inſcrit; & de juger lequel des deux eſt le plus propre à former une proüe qui éprouve moins de réſiſtance. Imaginons-nous que le point B ſoit le ſommet du cône, & DEF ſa baſe. L'angle d'incidence du fluide ſur la ſurface du cône, ſera égal à l'angle EBL, ou à la moitié de l'angle BHL, & ſon ſinus ſera par conſéquent égal à la moitié de la corde BL qu'on doit ſupléer dans la figure. Le quarré du ſinus d'incidence ſera donc $\frac{1}{4} \times BE^2 + \frac{1}{4} \times EL^2$, & l'impulſion directe dans le ſens de l'axe

l'axe ſera le produit de cette quantité par E. Or ſi on retranche cette impulſion de celle que ſouffre le conoïde même DBFL, il reſtera $\frac{1}{4} \times BE^2 - \frac{1}{4} HE \times EL - \frac{1}{4} \times EL^2$ multiplié par E, pour l'excès de l'impulſion que reçoit le conoïde ſur celle que reçoit le cône; & il eſt facile de reconnoître que cette quantité eſt réellement un excès, parce qu'elle eſt toujours poſitive. Ainſi le cône inſcrit dans la circonſtance que nous avons marquée, a un avantage réel ſur le conoïde circonſcrit: il fend toujours les fluides avec plus de facilité. Mais il eſt digne de remarque qu'à meſure qu'on fait augmenter BE ou diminuer HE, l'avantage aille en diminuant, & qu'il devienne nul auſſi-tôt que le conoïde eſt un Hemiſphere. Alors BE devient IH, pendant que EL devient HL, & que HE s'évanoüit; ce qui anéantit entierement la difference qui ſe trouvoit entre les deux impulſions: l'hémiſphére & le cône inſcrit ſont alors diminuer par leur ſaillie l'impulſion également de moitié. Fig. 25.

3. Ce ſera en ſuivant à peu près la même voie, quoique la difficulté ſoit un peu plus grande, qu'on découvrira l'impulſion relative que ſouffre le conoïde dans le ſens vertical. Si on nomme a le ſinus total ou rayon IH; c la diſtance HE, & z la variable HM, on aura $a^2 - z^2$ pour le quarré de KM, ou pour le quarré du ſinus de l'angle d'incidence ſur toute la zone QpK: on aura en même tems $\frac{zdz}{\sqrt{a^2-z^2}}$ qui eſt la différentielle de KM $(=\sqrt{a^2-z^2})$ pour la valeur de KO ou de Nn; & ſi on multiplie cette valeur de KO par NK $=z-c$, & qu'on en prenne le double, il viendra $\frac{2z^2dz - 2czdz}{\sqrt{a^2-z^2}}$ pour le petit trapeze KQqk. Ce trapeze, qui eſt la projection de la zone QpK, eſt comme *l'expoſant* de l'impulſion relative que ſouffre cette zone ſelon le ſens vertical: c'eſt pourquoi il n'y a donc qu'à le multiplier par le quarré $a^2 - z^2$ du ſinus d'incidence, & on aura $2z^2dz\sqrt{a^2-z^2} - 2czdz\sqrt{a^2-z^2}$ pour l'impulſion élé-

Fig. 25. mentaire que souffre la zone; impulsion qu'il ne reste plus qu'à intégrer, pour obtenir celle que reçoit la surface entiere du conoïde.

L'intégrale qu'on trouve par les méthodes ordinaires est $\frac{1}{4}a^2 \int dz\sqrt{a^2-z^2} + \frac{2}{3}c - \frac{1}{3}z \times \overline{a^2-z^2}^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}c \times \overline{a^2-z^2}^{\frac{3}{2}}$ après qu'on l'a renduë complette. Ainsi s'il s'agit du conoïde partial QBKP, & qu'on nomme F l'étenduë $\int dz\sqrt{a^2-z^2}$ du segment BEMK compris entre les sinus BE & KM, & qui a pour largeur EM le rayon de la base du conoïde, on aura pour l'impulsion relative verticale $\frac{1}{3} \times HI^3 \times F + \frac{2}{3}HE - \frac{1}{3}HM \times KM^3 - \frac{1}{6}HE \times BE^3$. Cette valeur se réduira à $\frac{1}{3} \times IH \times F - \frac{1}{6}HE \times BE^3$ qui est beaucoup plus simple, lorsqu'il s'agira du conoïde entier DBFL; parce que KM deviendra nulle, & alors F désignera l'étenduë entiere du segment BEL. Supposé d'un autre côté qu'on demande l'impulsion que souffre dans la détermination verticale une zone sphérique formée par la révolution de l'arc IK autour de IS comme axe; alors HE sera nulle, & BE deviendra IH, la lettre F désignera l'étenduë du segment IHMK; & on aura $\frac{1}{3} \times IH^2 \times F - \frac{1}{3}HM \times KM^3$ pour l'impulsion.

Enfin si la zone ou surface sphérique est formée par la demi-révolution du quart de cercle entier IL, le sinus KM deviendra nul; ce qui fera évanouir le dernier terme; & l'impulsion relative verticale sera exprimée par $\frac{1}{3} \times IH^2 \times F$; c'est-à-dire, par la moitié du quarré du sinus total multipliée par l'aire du quart de cercle IHL: au lieu que nous avons vû ci-devant que l'impulsion relative dans la détermination horisontale parallele à l'axe, est alors égale au produit de la moitié du quarré du sinus total par l'étenduë entiere E du demi-cercle. Ainsi on voit qu'une proüe sphérique formée par la demi-revolution d'un quart de cercle, éprouve deux fois plus d'impulsion dans le sens horisontal que dans le vertical: & on en conclura, en consultant les Tables Trigonométriques, que la résistance totale ou absoluë VZ qu'elle souffre par la rencontre de l'eau & qui est composée des deux impulsions relatives horisontale

Digitized by Google

VX, & verticale VY, s'exerce alors sur une direction VZ qui fait avec l'horison un angle ZVX d'environ 26 degrés 34 minutes. Fig. 15.

CHAPITRE VI.

Méthode de trouver l'impulsion que souffrent les surfaces courbes en les partageant en plusieurs parties sensiblement planes.

CETTE matiere est susceptible d'une infinité de différentes recherches, vû la multitude infinie des surfaces courbes qu'on peut exposer à l'impulsion des fluides. J'ai donné ailleurs des formules générales pour examiner à cet égard tous les conoïdes, non-seulement ceux qui ont un cercle pour base, ceux aussi qui ont pour base tout autre plan. * Mais il faut l'avouer ingénument, que comme la carène n'a pas ordinairement une figure exacte, ni celle d'un conoïde, ni aucune autre, on est obligé presque toujours de renoncer aux moyens purement géométriques qui attribueroient aux Navires une figure qu'ils n'auroient pas. Il faudra donc se contenter le plus souvent de partager la surface de la proüe en assez de parties, pour qu'elles soient sensiblement planes; & examiner ensuite l'une après l'autre & séparement l'impulsion que recevra chacune. L'opération que je vais indiquer pour cela, me paroît d'un usage beaucoup plus commode dans la pratique, que celle que j'ai donnée dans les additions à mon Traité de la Mâture. **

* Voyez le Traité de la Mâture des Vaisseaux, Chapitre VIII. de la premiere Section, & les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, année 1733, page 94.

** Je négligeois de relever ici une petite injustice commise à mon égard sur ce sujet; parce que j'étois bien persuadé de la droiture des intentions de celui dont je pouvois me plaindre. M. Pitot parle dans sa Théorie de la Manœuvre (pages 105 & 106) comme si je n'avois pas donné dans mon Traité de la Mâture des Vaisseaux cette seconde méthode, que je vais encore expliquer actuellement, mais en la rendant plus simple. Cependant je l'avois déja réduite à une

Digitized by Google

I.

Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une proüe dont on a le plan.

Nous supposons que toute la surface de la partie antérieure de la carène est divisée par plusieurs plans horisontaux &

pratique reguliere & commode : cette méthode, s'il m'est permis de le dire, me devoit toute sa perfection, comme on le verra en examinant les pages 128 & suivantes de mon Traité ; & il est certain qu'on ne peut pas la remplacer, par la maniere particuliere & trop limitée de M. Pitot, de considerer le Navire. Il l'a regardé comme un Poligone irregulier, ou ce qui revient au même, il l'a supposé terminé par un simple trait horisontal : mais cette supposition ne seroit pas admissible, quand même toutes les tranches du Vaisseau faites horisontalement seroient des figures semblables ; parce que l'impulsion de l'eau seroit toujours alterée & alterée différemment, par les diverses inclinaisons de la surface de la carène dans le sens vertical.

Je me trouve obligé de faire cette note, voyant qu'un Auteur, dont l'ouvrage vient de paroître, repete en partie ce qu'avoit dit M. Pitot & ajoute outre cela, de son chef, que la méthode de partager la surface de la proüe en parties triangulaires sensiblement planes, n'est ni exacte ni d'un usage assez simple. Pour moi j'avoue que lorsqu'on a poussé la division de chaque moitié de la surface de la proue jusqu'à une vingtaine de parties triangulaires, il me paroit que rien n'empêche de les traiter comme planes, dans les Navires de toutes les grandeurs : de même qu'on fait tous les jours avec succès des suppositions semblables dans les besoins de la Géométrie pratique. Que la méthode soit trop longue, je n'en conviens point encore, car l'Auteur n'a pas droit de me reprocher qu'on s'engage dans un travail de plusieurs jours, toutes les fois qu'on veut faire usage de cette méthode pour huit ou dix routes ; puisque je montrois, comme je le fais encore ici, le moyen de se dispenser de cette peine : je faisois voir qu'il suffit de chercher l'impulsion pour une ou deux routes, & presque toujours pour une seule. Je ne parlois en un mot d'un travail de plusieurs jours auquel il falloit se livrer, que pour mieux faire sentir l'importance de la Théorie que j'allois établir dans les Chapitres suivans, qui réduisoit ce long travail à une opération qui ne demandoit que quelques heures d'aplication. Qu'il me soit permis de représenter encore à l'Auteur, qu'on ne perfectionne point un Art en passant à côté des difficultés, ou en substituant des principes faux à la place des vrais, lorsque ceux-ci paroissent trop difficiles à appliquer. Il y a moyen d'ailleurs de faire toujours enforte que la peine & le travail ne soient pas pour les Marins : il suffit que des personnes laborieuses & assez intelligentes pour cela achevent à Terre tous les calculs, ou toutes ces sortes d'opérations dont on peut ensuite rédiger les résultats & former des Tables pour la commodité des Navigateurs. On se trouve effectivement tous les jours sur Mer dans des circonstances pressantes qui ne permettent pas d'avoir recours pour se décider, à des pratiques numériques ou graphiques ; au lieu qu'on a toujours le tems de jetter les yeux sur une Table qui fournit des solutions toutes calculées. Mais il faut encore une fois que les personnes qui comme l'Auteur, nous offrent ces solutions, ne croyent pas que c'est aplanir les difficultés, que de négliger quelques unes ou plusieurs des conditions les plus essentielles.

Digitized by Google

verticaux également éloignés les uns des autres. Les plans verticaux, en coupant cette surface, fournissent la figure des membres, que les Constructeurs sont déja dans la possession de tracer sur le plan même de la maîtresse varangue, sur lequel ils les projettent. Ces coupes sont représentées dans la Figure 75 par les lignes courbes ABD, GIB*ig*, KLM*lkm*, &c. qui sont ici raportées sur le même plan, mais qu'il faut concevoir dans des plans différens & à une égale distance les uns des autres, en avançant vers l'extrémité de la prouë. Ces plans partagent toute la surface antérieure de la carène en plusieurs zones, dont la longueur est disposée selon le contour des varangues. Si après cela on imagine plusieurs plans, mais horisontaux, aussi également éloignés les uns des autres, dont les sections avec le maître gabari soient représentées par les droites AD, EP, RS, toute la surface de la prouë se trouvera partagée dans des especes de trapezes; mais je crois qu'il sera toujours à propos de pousser la division encore plus loin, pour que les parties de la surface aprochent plus d'être planes. On fera passer par la pensée des plans obliques, par l'intersection des plans horisontaux & verticaux; la surface de la prouë se trouvera de cette sorte toute partagée en triangles, dont on ne voit dans notre figure que les projections GHK, KHL, HLI, &c. Fig. 75.

Tout cela étant supposé, & la figure étant achevée avec exactitude, il sera facile de trouver sans aucun autre secours, la mesure précise de l'angle d'incidence du choc de l'eau sur chaque partie triangulaire, ou même de trouver immédiatement le sinus de cet angle, ou le quarré de ce sinus. Proposons-nous le triangle dont GHK est la projection; nous abaisserons de son sommet K la perpendiculaire KO sur la base GH qui est sensiblement droite, quoiqu'elle soit une partie de ligne courbe. Je forme ensuite à part un triangle rectangle OKV qui a pour côté KO la longueur de cette perpendiculaire, & pour autre côté KV la distance d'un plan vertical à l'autre, ou la distance dont la coupe KM*k* est plus avancée vers l'extrémité de

Digitized by Google

Fig. 75. la prouë que la coupe GBg. Il eſt évident que OV repréſentera la hauteur de la partie triangulaire actuellement choquée, & que l'angle OVK ſera égal à l'angle d'incidence, ſous lequel l'eau rencontre cette partie ; puiſque nous ſupoſons que le choc ſe fait ſelon une parallele à VX ou à l'axe.

Ainſi ſi on prend KV pour ſinus total, il n'y aura qu'à abaiſſer la perpendiculaire KY ſur OV, & cette perpendiculaire ſera le ſinus de l'angle d'incidence ; & pour avoir l'expreſſion de ſon quarré, il n'y aura qu'à abaiſſer du point Y la perpendiculaire YZ ſur KV, & prendre le ſegment ou la partie interceptée KZ : car KV ſera à KZ comme le quarré de KV (ſinus total) eſt à celui de KY (ſinus d'incidence.) Il ne reſtera donc plus qu'à meſurer le ſegment KZ en parties égales, qui repréſentent des pouces ou des lignes, & le multiplier par l'étendue du triangle de projection HGK, & on aura l'impulſion relative directe, à laquelle ſera expoſée la partie triangulaire dont il s'agit. Si on multiplioit le ſegment KZ par l'étendue même de la partie triangulaire choquée, on auroit l'impulſion abſolue ; mais pour avoir l'impulſion relative directe, il ne faut, comme nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier KZ que par le triangle de projection GHK, qui eſt perpendiculaire à cette direction. Au ſurplus il ſera facile d'avoir l'étenduë de ce même triangle ; puiſqu'elle eſt la moitié du produit de GH par KO, que la figure fournit toujours, auſſi-tôt qu'elle eſt faite exactement.

Il n'y aura qu'à faire la même choſe pour toutes les autres parties triangulaires, en abaiſſant toujours les perpendiculaires KO, HQ ſur le contour d'une des coupes ; faiſant enſuite une ſomme de toutes les impulſions particulieres qu'on aura trouvées, il viendra l'impulſion relative directe que recevra la prouë entiere. On ſçaura de cette ſorte combien la ſaillie ou la convexité de la prouë fait diminuer l'impulſion : car ſi la prouë étoit ſans ſaillie & qu'elle fût terminée par un plan exactement vertical

Digitized by Google

ARBSD, l'impulsion seroit représentée par l'étenduë en- Fig. 75.
tiere de ce plan multipliée par KV.

II.

Trouver l'impulsion de l'eau dans les routes obliques.

1°. Quoique l'opération dans laquelle il faut s'engager pour trouver l'impulsion que souffre la proüe dans les routes obliques, conserve toujours beaucoup de la simplicité à laquelle nous avons porté la premiere, elle ne peut pas cependant manquer d'être plus longue. Nous avons besoin pour cela d'un principe qui nous servira encore dans plusieurs autres rencontres. Supposons que EF (Fig. 76.) soit la direction d'un fluide qui se meut horisontalement & qui vient rencontrer obliquement la base CD d'une surface plane posée verticalement. Si on prend l'espace EF pour représenter le sinus total; & que du point E on abaisse la perpendiculaire EG sur la base CD, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence, & son quarré représentera la force de l'impulsion. Mais si on incline la surface qui étoit située verticalement, la ligne EG qui étoit perpendiculaire à la base CD, ne sera plus perpendiculaire à la surface; mais ce sera une autre ligne EH plus petite que EG, dans le raport du sinus de l'angle d'inclinaison EGH au sinus total ou au sinus de l'angle droit H. Ainsi l'impulsion qui étoit représentée par le quarré de EG le sera desormais par le quarré de EH, qui est maintenant le sinus de l'angle d'incidence; & on voit que le sinus total est à ce sinus d'incidence, en raison composée de la raison du sinus total au sinus de l'obliquité EFG de la direction du fluide, par raport à la base CD de la surface, & de la raison du sinus total au sinus de l'inclinaison EGH de la même surface. Il suit donc de là que si on change l'obliquité de la base de la surface, sans changer l'inclinaison: ou que si on change l'inclinaison de la surface en laissant constante l'obliquité de la base, l'impulsion sera

Digitized by Google

Fig. 76. comme le ſeul quarré du ſinus de l'obliquité ou de l'inclinaiſon changée.

Ce principe étant admis, je ſupoſe qu'on a diviſé la ſurface de la proüe en pluſieurs petits triangles, comme ci-devant, & qu'on a même déja cherché pour chaque partie la grandeur du ſinus de l'angle d'incidence pour la route directe. Ces ſinus d'incidence ſeront découverts pour l'inclinaiſon de chaque petite ſurface & pour l'obliquité de la baſe par raport au cours direct de l'eau. L'inclinaiſon n'eſt pas ſujette à changer puiſqu'elle ne dépend que de la nature de la ſurface; il n'y a que l'obliquité de la baſe par raport au cours du fluide, qui devient différente dans les routes obliques. Ainſi les ſinus d'incidence doivent changer préciſément en même raiſon que les ſinus de ces obliquités; & il nous faut donc travailler d'abord à exprimer le raport que ſuivent ces derniers ſinus.

Fig. 77. & 78. Je forme pour cela un triangle GKV (Fig. 77. & 78.) qui a un côté KV égal à l'intervale qu'il y a entre les plans verticaux qui diviſent la ſurface de la proüe. Son ſecond côté GK eſt égal à GK de la figure 75 & l'hypothénuſe GV eſt par conſéquent égale au côté horiſontal de la partie triangulaire expoſée au choc, & dont GKH eſt la projection. Dans la route directe le fluide ſe meut parallelement à VK, & il ſuffit donc d'abaiſſer du point K la perpendiculaire KQ ſur GV, pour avoir le ſinus de l'obliquité du fluide par raport à la baſe GV de la partie choquée de la ſurface de la proüe. Mais dans les routes obliques le fluide n'a pas une direction parallele à KV. Je tire une ligne VX pour repréſenter la direction du fluide, laquelle doit faire avec VK un angle égal à celui de la *dérive* ou à la déviation de la route. Je conduis cette ligne en dehors, comme dans la Figure 77, pour toutes les parties triangulaires qui appartiennent au côté de la proüe qui eſt le plus expoſé au choc: au lieu que je la tire en dedans pour l'autre côté, comme dans la Figure 78. Je retranche enſuite VL égale à VK; & abaiſſant du point L la perpendiculaire LS ſur VG, j'aurai dans cette perpendiculaire le ſinus

nus de la nouvelle obliquité LVG du fluide par raport à la base de la partie triangulaire choquée, & par conséquent KQ & LS marqueront le raport qu'il y a entre les sinus d'incidence qui appartiennent aux deux divers cas. C'est pourquoi je tire par les points L & K la droite LP jusqu'à la rencontre de VG prolongée ; & transportant en QR le sinus d'incidence qui apartient à la route directe & que je prend en KY dans la Figure 75, je n'ai plus qu'à tirer la droite PRT & elle me déterminera en ST le sinus d'incidence que je cherchois pour la route proposée.

Toute l'opération se réduit donc, si nous la prenons dès le commencement, à former pour chaque petite partie triangulaire de la surface de la prouë, un triangle rectangle OKV (Fig. 75.) qui ait son côté KV égal à la distance d'un plan vertical à l'autre de ces plans qui ont servi à diviser la surface de la pouë, & pour second côté KO la perpendiculaire, qui dans chaque triangle GKH ou KHL de projection est abaissée du sommet K ou H sur le côté opposé GH ou KL, qui est une partie de la ligne courbe qui forme les coupes. Dans le triangle OKV on abaissera la perpendiculaire KY sur l'hypoténuse ; & on aura, comme on le sçait, le sinus d'incidence pour la route directe. On fera ensuite un autre triangle GKV (Fig. 77. & 78.) dans lequel le côté KV sera le même ; & KG égal à KG de la Figure 75. On tirera VX qui doit faire avec KV un angle KVX égal à la dérive : On fera LV égal à KV, & abaissant les deux perpendiculaires KQ & LS sur GV, elles marqueront le raport qu'il y a entre les sinus d'incidence pour la route directe & pour la route oblique proposée. Enfin on tirera LP ; & mettant en QR le sinus d'incidence trouvé ci-devant pour la route directe ; la droite PRT terminera donc en T le sinus d'incidence requis TS, pour la route oblique. Fig. 75. 77. & 78.

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir que le sinus d'incidence étant ainsi découvert & mesuré sur une échelle de parties égales, il ne restera plus qu'à en multiplier le quarré par l'étenduë de la projection GHK, ou KHL

Fig. 75. 77. & 78. (Fig. 75.) de chaque partie triangulaire de la surface, pour avoir l'impulsion qu'elle reçoit, & qu'ajoutant ensemble toutes les impulsions particulieres, on aura l'impulsion dans le sens de l'axe sur toute la proüe. Nous ajouterons seulement qu'on peut se dispenser de repeter la même opération pour plusieurs routes obliques, en se contentant de la faire pour une seule & pour la route directe; parce que les excès des impulsions dans les routes obliques sont continuellement proportionels aux quarrés des sinus de l'obliquité de la route par raport à la quille. On démontrera dans le Chapitre suivant cette proprieté singuliere, qu'on peut aussi déduire des formules du Chapitre IV. & de celles dont nous avons parlé à la tête de celui-ci; proprieté qui, comme on le voit, peut nous épargner un travail très-considérable. L'impulsion dans le sens de l'axe étant trouvée pour la route directe & pour une seule route oblique; on n'a que cette simple analogie à faire: le quarré du sinus de la déviation de la route, est à l'excès de l'impulsion pour cette route oblique sur l'impulsion que souffre la proüe dans la route directe, comme le quarré du sinus de toute autre déviation sera à l'excès de l'impulsion qu'elle produira, sur l'impulsion de la route directe.

2°. On trouvera l'impulsion que souffre en même tems la proüe dans le sens latéral, ou dans la détermination horisontale perpendiculaire à l'axe, en multipliant le quarré du sinus d'incidence par chaque petite partie triangulaire de la surface de la proüe, projettée sur le plan vertical qui coupe le vaisseau par le milieu selon sa longueur. Il est évident que chaque partie triangulaire a pour projection un autre triangle qui a pour base la distance d'un plan vertical à l'autre, de ces plans qui partagent la surface de la proüe, & pour hauteur la quantité dont les plans horisontaux sont les uns au-dessus des autres. C'est ce qu'on verra en y faisant un peu d'attention, & en jettant les yeux sur la Figure 75. Tous ces triangles sont égaux entr'eux: ainsi pour avoir l'impulsion latérale par une seule opéra-

Digitized by Google

tion, il n'y a qu'à multiplier la somme de tous les quarrés des sinus d'incidence par l'étenduë d'un seul triangle. Il suffira encore d'employer cette méthode pour une seule route oblique. Car nous démontrerons que les impulsions latérales totales sont proportionnelles aux rectangles des sinus des obliquités par leurs sinus de complement: d'où il suit que connoissant une de ces impulsions, il est très-facile de découvrir toutes les autres. Fig. 75. 77. & 78.

3°. Si on veut obtenir l'impulsion relative qui agit dans le sens vertical, il n'y aura qu'à multiplier le quarré de chaque sinus d'incidence par le triangle de projection que donne sur un plan horisontal, chaque partie triangulaire de la surface de la proüe. Il n'est pas difficile de reconnoître que tous ces triangles de projection ont une égale hauteur; ils ont pour hauteur la distance qu'il y a entre les plans verticaux qui partagent la surface, & pour base les excès des demies largeurs de la proüe mesurées les unes au-dessous des autres dans les mêmes plans verticaux.

4°. Enfin il ne restera plus qu'à déterminer la direction sur lesquelles s'exercent les impulsions. Celle que souffre chaque petite partie triangulaire peut être consíderée comme réunie dans le centre de gravité du triangle de projection. Ainsi il n'y aura, conformement au grand principe de Statique, qu'à concevoir un plan vertical à côté du Navire parallelement à sa longueur, & multiplier chaque petite impulsion directe par la distance des centres de gravité de tous les petits triangles KGH, KHL à ce plan; & divisant la somme des produits par celle des impulsions; on sçaura combien la direction composée ou commune est éloignée du plan qu'on a pris pour terme. Il ne sera pas plus difficile de trouver combien cette même direction est enfoncée dans l'eau, en imaginant un plan horisontal auquel on prendra toutes les distances. On appliquera la même méthode aux impulsions latérales, &c.

Ces recherches étant achevées, on connoîtra non-seulement les impulsions que souffre la proüe dans le sens direct ou dans la détermination latérale perpendiculaire à

l'axe, on connoîtra la ſituation des lignes qui leurs ſervent de directions; & il ſera facile d'en trouver la direction compoſée. Tirant deux lignes RM & RN (Fig. 67.) l'une parallele à l'axe de la proüe & à la diſtance qu'on aura trouvée que doit être la direction de l'impulſion relative directe; l'autre RN perpendiculaire à l'axe & à la diſtance PA de l'extrémité de la proüe qu'agit l'impulſion latérale, il n'y aura qu'à prendre ſur ces lignes depuis leur interſection R des eſpaces RM & RN pour repréſenter les deux impulſions; & achevant le rectangles RMTN, on aura dans ſa diagonale RT l'impulſion abſoluë qui réſulte de la compoſition des deux autres & ſa direction. Ce ſera ſelon la même ligne RT, mais en ſens contraire, que doit s'exercer l'impulſion du vent ſur la voile, conformément à la Théorie établie dans le premier Chapitre de cette Section. Quand même il ſeroit néceſſaire d'entreprendre pour pluſieurs routes, toutes les opérations que nous venons de preſcrire, je ne crois pas, vû les connoiſſances qu'elles procureront, qu'on pût nous objecter leur longueur. Elles ſeront principalement utiles, lorſqu'on voudra choiſir entre différens plans propoſés pour le même Navire: On diſtinguera d'une maniere infaillible celui qui par la figure de ſa proüe ſera diminuer le plus la réſiſtance de l'eau; & il ſuffira preſque toujours pour cela, comme on le verra dans un moment, d'examiner l'impulſion à laquelle chaque figure eſt ſujette dans la route directe.

CHAPITRE VII.

Remarques ſur les changemens que reçoivent les impulſions que ſouffrent les ſurfaces courbes, lorſque le fluide change de direction.

IL nous reſte à démontrer diverſes choſes, que nous venons de laiſſer ſans preuve. Nous allons y ſupléer; & nous profiterons de l'occaſion pour expoſer en même tems pluſieurs autres proprietés très-remarquables, ou plutôt très-ſurprenantes, qu'ont les ſurfaces courbes par raport aux impulſions qu'elles reçoivent. Nous en avons déja expliqué ailleurs quelques unes *: mais nous en découvrirons ici de nouvelles; & la maniere outre cela dont nous expoſerons les anciennes, leur donnera peut-être un nouveau dégré d'évidence à toutes. Quoique la ſurface de la proüe ait une courbure mécanique, qu'elle ſoit irreguliere, qu'elle ſoit même comme formée au hazard, les chocs auſquels elle eſt ſujette changent ſelon une loi expreſſe, & leur relation, comme on s'en convaincra, peut toujours s'exprimer d'une maniere générale & géométrique.

* Voyez les addit. au Traité de la Mâture des Vaiſſeaux, Chap. V. & ſuivans.

I.

Soit VG (Fig. 79.) une petite partie droite ou plane d'une ligne ou d'une ſurface courbe expoſée au choc d'un fluide, laquelle eſt terminée par GK & VK perpendiculaire & parallele à l'axe de la ſurface totale. Dans la route directe ou lorſque la proüe ſe meut parallelement à ſon axe ou à KV, on a GVK pour l'angle d'obliquité de la direction du fluide par raport à la ſurface, qui peut d'ailleurs être inclinée par raport à l'horiſon; mais nous ne faiſons point intervenir ici cette conſidération, parce que nous ne nous propoſons pas de découvrir la quantité réelle de l'impulſion, mais ſeulement le changement qu'elle ſouffre dans

Fig. 79.

Digitized by Google

Fig. 79. les routes obliques ; changement, qui ſelon ce que nous avons prouvé au commencement du ſecond article du Chapitre précédent, ne dépend que du ſeul ſinus de l'obliquité. Ce ſinus dans la route directe eſt KQ, lorſqu'on prend VK pour ſinus total & que KQ eſt perpendiculaire à GV. Mais ſi la route eſt oblique, ſi la proüe, au lieu de choquer l'eau ſelon des paralleles KV à l'axe, la va rencontrer ſelon des paralleles à XV, & que XVK ſoit donc égal à la déviation de la route ou à l'angle de la *dérive*, on aura l'angle GVX, pour l'obliquité actuelle du fluide par raport à la ſurface, & LS pour ſon ſinus ; & ſi on fait l'angle KV*x* égal à l'angle KVX, on aura l'angle GV*x* pour l'obliquité du fluide par raport à l'autre partie de la proüe correſpondante de GV, & qui eſt de l'autre côté de l'axe, & *ls* ſera le ſinus de cette ſeconde obliquité ; ſuposé que *l*V de même que LV ſoit égale à KV, & que *ls* & LS ſoient perpendiculaires à GV. Nous partagerons de cette ſorte moins notre attention, & on voit bien que ce ſera préciſement la même choſe que ſi nous conſiderions en même tems deux petites parties de la proüe également ſituées de part & d'autre de l'axe. Les deux impulſions que reçoivent ces deux parties ſe joignent enſemble, puiſqu'elles s'exercent préciſement dans le même ſens : c'eſt pourquoi il nous reſte à trouver la ſomme des quarrés de ſinus LS & *ls*, & à la multiplier par GK.

Du point M qui eſt au milieu de la corde L*l* de l'arc de cercle *l*KL, j'abaiſſe la perpendiculaire MR ſur GV ; & je remarque que la quantité MO dont elle eſt plus grande que le ſinus *l*S, eſt égale à la quantité NL dont elle eſt plus petite que l'autre ſinus LS : c'eſt-à-dire que nous avons RM + NL & RM — NL pour le ſinus des obliquités du fluide par raport aux deux petites parties de la proüe ; & nous aurons donc $\overline{RM}^2 + 2 \times RM \times NL + \overline{NL}^2$ & $\overline{RM}^2 - 2RN \times NL + \overline{NL}^2$ pour leurs quarrés, & $2 \times \overline{RM}^2 + 2 \times \overline{NL}^2$ pour la ſomme de ces quarrés. Ainſi il n'y a qu'à

multiplier le double de $\overline{KM}^2 + \overline{NL}^2$ par GK pour avoir l'impulsion relative directe $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$ que souffrent les deux parties correspondantes GV conjointement ; en tant que cette impulsion dépend de l'obliquité de la direction que suit le fluide. Après cela il faut faire attention que quelque changement que reçoive l'angle KVX, qui est l'obliquité de la route ou de la direction du fluide par raport à l'axe de la proüe, la ligne RM conserve toujours le même raport à MV qui est le sinus de complement de cette obliquité. La premiere est à la seconde continuellement comme GK est à GV ; & NL est aussi toujours proportionelle à ML, qui est le sinus de cette même obliquité. Or il suit de là, que l'impulsion que souffrent selon la détermination relative parallele à l'axe deux portions correspondantes de la surface de la proüe, est formée dans les routes obliques de deux parties, dont l'une est toujours proportionelle au quarré du sinus complement de l'obliquité de la route, & l'autre proportionelle au quarré du sinus de cette même obliquité. Fig. 79.

II.

Mais la remarque peut encore être pouſſée plus loin. Si l'obliquité de la route augmente ou diminue, de maniere que le quarré de son sinus LM augmente ou diminue exactement en progression arithmetique, le quarré de son sinus de complement VM, changera aussi, quoi qu'en sens contraire dans la même progression, puisque les deux quarrés sont toujours une somme constante, ou qu'ils sont égaux ensemble au quarré du sinus total VL. Mais les quarrés de LM & de VM changeant en progression arithmetique, les quarrés de NL & de RM qui ont chacun un raport constant aux deux autres quarrés, pour chaque partie GV & sa correspondante, changeront dans la même progression, & par conséquent les impulsions directes que souffriront les deux parties correspondantes de la proüe,

Fig. 79. changeront auſſi en progreſſion arithmetique. Il eſt vrai que ſi on examine deux autres parties correſpondantes de la proüe, l'impulſion qu'elles recevront ne ſuivra pas préciſement la même progreſſion ; ce qui viendra non-ſeulement de ce que les raports de RM à MV & de NL à ML ſeront différens ; mais auſſi de ce que ces autres parties auront des inclinaiſons différentes dans le ſens vertical. Mais les impulſions auſquelles elles ſeront ſujettes conjointement, étant priſes deux à deux, changeront cependant toujours en progreſſion arithmetique ; car on pourra leur apliquer tout ce que nous avons dit des deux parties GV. Or puiſqu'il eſt certain qu'en ajoutant les termes d'une telle progreſſion avec les termes, je ne dis pas ſimplement de deux ou de trois autres, mais d'une infinité, on retrouve toujours une progreſſion arithmetique, il s'enſuit que *c'eſt une proprieté commune aux proües de toutes ſortes de figures, que lorſque l'obliquité de la route change, de maniere que le quarré de ſon ſinus croît ou diminue en progreſſion arithmetique, l'impulſion dans le ſens de l'axe ou de la quille, change auſſi en progreſſion arithmetique*

III.

Il eſt ſelon cela très-facile de repréſenter par lignes les impulſions que ſouffrent dans toutes les routes, ſelon le ſens de leur axe, les proües de toutes ſortes de figures. Il n'y a qu'à apliquer ces impulſions aux quarrés des ſinus des obliquités des routes, & comme elles ſeront en progreſſion arithmetique, elles ſeront terminées par une li-
Fig. 80. gne droite. Je prens l'eſpace CA (Fig. 80.) pour repreſenter le ſinus total, & en même tems l'axe de la ſurface courbe qui ſert de proüe, laquelle n'eſt pas exprimée dans la figure pour éviter le confuſion. Je trace ſur CA comme diamétre un demi-cercle ABC, & les droites CX1, CX2, &c. repréſentant les diverſes directions ſelon leſquelles le fluide rencontre la proüe, les droites AL1, AL2, &c. ſeront les ſinus des obliquités des routes ou des

des divers angles de déviation ou de dérive, & CL1, CL2, &c. Is sinus de complement. Il eſt évident outre cela que les parties AM1, AM2, &c. du diamétre qui ſont interceptées entre le point A & les perpendiculaires au diamétre qui paſſent par les points L1, L2, &c. repréſenteront les quarrés des premiers Sinus AL1, AL2; puiſque AC étant à AL1, comme AL1 à AM1, le quarré du ſinus total AC eſt au quarré du ſinus AL1 comme AC eſt à AM1. Par la même raiſon les parties CM1, CM2 repréſentent les quarrés des ſinus de complement CL1, CL2, &c. Fig. 80.

Cela ſupoſé, il n'y a qu'à porter depuis A juſqu'en O perpeudiculairement à CA l'eſpace AO pour repréſenter l'impulſion directe que ſouffre la prouë entiere, lorſque l'obliquité de la route eſt nulle; & tirant la droite CO, on aura en M1P1, en M2P2, &c. les premieres parties de l'impulſion que ſouffre la prouë entiere ſelon l'axe, dans les routes de toutes les diverſes obliquités: on aura les premieres parties qui ſont proportionelles aux quarrés CM1, CM2, &c. des ſinus complement des angles de déviation. Les ſecondes parties P1R1, P2R2 de ces mêmes impulſions, qu'il faut ajouter aux premieres, ſeront proportionelles aux quarrés AM1, AM2, &c. des ſinus mêmes des obliquités des routes: ainſi elles ſeront interceptées entre la droite OC & une autre droite OQ: & par conſéquent les impulſions entieres ſeront repréſentées par les lignes entieres M1R1, M2R2, &c. interceptées entre l'axe AC & la droite OQ. Si le fluide en venant choquer la prouë ſuit la direction HC ou des paralleles à cette ligne, l'impulſion ſelon la détermination directe de l'axe, ſera repréſentée par DS qui paſſe par l'interſection B de la direction CH & du demi-cercle ABC. Si le fluide ſuit la direction X2C ou X1C, l'impulſion ſera repréſentée par M2R2 ou M1R1: & enfin ſi le fluide ſe meut ſelon l'axe même AC, l'impulſion ſera exprimée par AO; la ſeconde partie P1R1 qui eſt proportionelle au quarré du ſinus de l'obliquité de la route, diſparoiſſant dans ce cas.

Ce qu'il y a de particulier en tout ceci, c'eſt que gé-

Fig. 80. néralement toutes les surfaces courbes, aussi-tôt que leurs deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe, ont ainsi une ligne droite OQ pour *limitatrice* de toutes les impulsions qu'elles reçoivent dans le sens de leur axe, lorsque le fluide change de direction: & on reconnoît aisément que ce doit être la même chose à l'égard de l'impulsion relative qui s'exerce de bas en haut dans la détermination verticale. Cet ordre s'observe à l'égard même des surfaces qui ne suivent aucun ordre dans l'arrangement de leurs parties. La surface qui reçoit le choc peut non-seulement être mécanique, dans le sens que l'entendent ordinairement les Géométres, mais ne garder aucune loi dans sa courbure; il semble qu'une pareille surface, quoique ses deux moitiés soient égales, ne doit avoir aucune proprieté soumise aux regles de la géométrie, par la raison qu'elle-même en est affranchie; mais cela n'empêchera pas que les impulsions qu'elle recevra, ne suivent l'ordre que nous venons de marquer. Ainsi on voit qu'il suffit de connoître ces impulsions pour deux cas différens, pour le cas de la route directe & d'une seule route oblique, pour qu'on soit en état de les découvrir pour toutes les autres. On voit aussi que leurs excès sur AO qui représente l'impulsion pour la route directe, sont continuellement proportionels aux parties AM1, AM2, &c. de l'axe AC, lesquelles representent les quarrés des sinus des obliquités des routes: ce qui justifie pleinement l'analogie que nous avons prescrite dans le Chapitre précédent à la fin du num. 1. article II.

IV.

Il suffit même souvent de connoître l'impulsion relative directe pour le seul cas de la route directe: car si c'est une ligne courbe, dont les deux branches soient égales, qui reçoit le choc, on connoîtra toujours, comme on l'a vû dans le Chapitre IV. l'impulsion DS qu'elle recevra, lorsque le fluide la choquera selon les paralleles à HC avec une obliquité de 45 dégrés. Pour les autres figures, il est

Digitized by Google

auſſi très-ſouvent une certaine obliquité, pour laquelle l'impulſion eſt également connuë : elle eſt connuë ; parce qu'elle eſt exactement la même, ſoit que la ſurface ait beaucoup de ſaillie, ou qu'elle en ait peu, ou qu'elle n'en ait point du tout. Nous avons montré, par exemple, dans notre Traité de la Mâture *, que tous les conoïdes qui ont la même baſe, ſans qu'il importe par quelle ligne courbe ils ſoient formés, ni quelle longueur ait leur axe, éprouvent le même choc direct, lorſque le fluide les frape avec une obliquité d'environ 54 degrés 44′. C'eſt encore préciſément la même choſe lorſque la baſe au lieu d'être un cercle, eſt un triangle rectangle iſocelle : & en général tous les conoïdes qui ont pour baſe un triangle iſocelle quelconque dont le ſommet eſt en bas, reçoivent la même impulſion ſelon leur axe, lorſque l'obliquité de la route a pour tangente la ſécante de la moitié de l'angle d'en bas de la baſe ; & cette impulſion eſt exactement égale à celle que recevroit la baſe même, ſi elle étoit choquée avec la même obliquité. Lorſque la baſe ſera en particulier un triangle équilatéral, la ſécante de la moitié de l'angle d'en bas, ſera $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ par raport au ſinus total n, & prenant $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ pour tangente ; on trouvera que l'obliquité de la route doit être d'environ 49 degrés $6\frac{1}{2}$′ pour que tous ces conoïdes, quel que ſoit d'ailleurs la courbure de leur ſaillie & la longueur de leur axe, reçoivent préciſément la même impulſion les uns que les autres ; & un impulſion égale à celle que recevroit leur baſe ſi elle étoit expoſée au choc. Or il n'en faut pas davantage pour pouvoir conduire la droite OQ *limitatrice* de toutes les impulſions ; pourvû que connoiſſant déja l'impulſion AO pour la route directe, on ſache le point O d'où doit partir OQ.

Fig. 80.

* Voyez page 158.

V.

Mais, puiſqu'il eſt une certaine obliquité de route qui rend l'impulſion dans le ſens de l'axe exactement la même dans tout un genre de figures, il s'enſuit qu'il y a un point S par lequel paſſent toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, *ωx* des

Fig. 80. impulsions que reçoit chaque figure particuliere. Le Lecteur voit assez que nous comprenons sous un même genre toutes les prouës terminées par un seul trait horisontal, quelle que soit la nature de la courbe qui forme ce trait. Nous regardons comme un autre genre tous les conoïdes circulaires, sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés. Les conoïdes dont la base est un triangle déterminé, constituent autant de différens genres qu'il y a de différens triangles, ce qui en fournit une infinité. Les prouës qui sont faites sur le modéle de la figure 104, dont nous parlerons dans le premier Chapitre de la derniere Section, forment un genre particulier, mais qui se raporte à celui des prouës terminées par un simple trait horisontal; de même que celles qui imitent la figure 108; quelque soit leur base ABA. A l'égard de chacun de ces genres le point S est comme un pole; & les lignes OQ, *oq*, &c. ne prennent diverses situations que parce que la premiere impulsion AO que reçoit chaque prouë dans la route directe, est plus ou moins grande, selon que cette prouë a plus ou moins de saillie.

Une prouë parabolique reçoit une plus grande impulsion Aω; une prouë hyperbolique en reçoit une moindre A*o*, & une prouë formée de deux lignes droites, en reçoit encore une plus petite AO. Mais toutes les droites OQ, *oq*, &c. se coupent en S sur la droite DS qui part du milieu D de AC; parce que toutes ces figures qui sont censées ici du même genre, sont sujettes à la même impulsion, aussi-tôt qu'elles ont la même largeur & que le fluide les choque en suivant une direction HC qui fait avec leur axe un angle de 45 degrés. Ainsi toutes ces prouës se divisent en deux classes bien différentes. Les unes ont moins de saillie, & l'impulsion directe qu'elles reçoivent n'est pas d'abord diminuée de moitié; mais elle va en diminuant lorsque l'obliquité de la route augmente. Les autres au contraire ont plus de saillie, & l'impulsion directe est plus petite que DS; mais cette impulsion va en croissant lorsque la route devient plus obli-

Digitized by Google

que. Il faut remarquer que ſi au lieu de lignes courbes, il s'agit de ſurfaces conoïdales qui ont des triangles ou des cercles pour baſes, le point S ſera plus proche de CQ; puiſque ce n'eſt pas l'obliquité de 45 degrés, mais celle de 49 degrés 6′, ou de 54 degrés 44′, &c. qui fait que toutes ces ſurfaces reçoivent la même impulſion dans le ſens de l'axe. Fig. 80.

VI.

Il ſuit de tout cela, que pour certaines ſurfaces particulieres, la droite OQ *limitatrice* des impulſions doit être parallele à AC; ce qui fait la ſéparation des deux cas dont nous venons de parler, & en conſtitue un troiſiéme; alors quelque direction que ſuive le fluide, l'impulſion directe ſera toujours la même: il n'importe que la prouë ſuive une infinité de routes obliques différenres, elle ne ſera toujours expoſée qu'au même choc ſelon ſon axe. C'eſt ce qui doit arriver à toutes les lignes courbes dont la ſaillie ou la convexité rend l'impulſion dans la route directe, deux fois moindre que ſi le fluide frapoit la baſe même: car alors la premiere impulſion AO ſera égale à l'impulſion DS que ſouffre la courbe, lorſque l'obliquité de la route ou de la direction du fluide eſt de 45 degrés; & il n'en faut pas davantage pour que OQ & AC ſoient paralleles & que toutes les impulſions M1R1, M2R2, &c. deviennent égales. Chaque parabole, chaque hyperbole, &c. fournit un arc qui a cette propriété ſinguliere: la parabole, par exemple, lorſque ſon ordonnée de chaque côté, eſt double de l'arc de cercle qui a le demi paramétre pour rayon, & la même ordonnée pour tangente*. C'eſt ce qui arrive auſſi à la prouë angulaire formée de deux lignes droites, auſſitôt que l'angle qui lui ſert de pointe eſt exactement droit; il n'importe enſuite que le fluide choque cette prouë ou ſelon une direction parallele à ſon axe, ou ſelon une ligne oblique quelconque, l'impulſion directe eſt exactement la même.

* Voyez l'art. 3. du Chap. 3. de cette préſente Sect.

Tous les cones, tous les conoïdes parfaits, lorſqu'ils

Fig. 80. ſont choqués avec une obliquité de 54 degrés 44′, ne reçoivent que le tiers de l'impulſion directe que recevroit leur baſe, ſi elle étoit frapée perpendiculairement. Ainſi toutes les fois que la ſaillie ou la convexité d'une ſurface conoïdale rend dans le choc direct l'impulſion trois fois moindre, cette ſurface doit éprouver préciſément la même impulſion directe dans toutes les routes, ſans que les diverſes obliquités du choc y aportent aucune augmentation ou diminution; car alors AO = DS, & OQ doit être parallele à AC. Toutes les eſpeces de lignes courbes qui forment un conoïde par leur révolution autour de leur axe, nous offrent de ces ſurfaces. On peut en trouver une infinité dans le ſeul conoïde formé par la révolution d'un arc de cercle, dont nous avons parlé dans l'art. II. du Chap. V. & tel eſt auſſi, par exemple, le cone dont l'angle total au ſommet, eſt d'environ 70 degrés 32′, ou dont le diamétre de la baſe eſt à la hauteur, comme la diagonale du quarré eſt à ſon côté, ou comme 141 eſt à environ 100. Ce cone reçoit toujours la même impulſion dans le ſens de ſon axe, quelque ſoit la direction du fluide qui le frape.

VII.

Une autre conſéquence auſſi curieuſe & incomparablement plus importante, qu'on peut tirer du paſſage continuel par le même pole S de toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, &c. des impulſions que ſouffrent les figures de même genre: c'eſt que plus la premiere impulſion AO ſera petite, plus les autres impulſions M_1R_1, M_2R_2, &c. que recevra la même figure dans les autres routes, le ſeront auſſi: & ſi l'impulſion AO eſt un *minimum*, les autres impulſions M_1R_1, M_2R_2 le ſeront également. Il ſuffit par conſéquent que la courbe ou que la ſurface qui eſt expoſée au choc du fluide, reçoive la moindre impulſion dans la route directe, pour qu'elle reçoive auſſi la moindre impulſion dans les routes obliques. Cependant cet avantage doit ſe perdre à la fin; il ſe perd lorſque l'obliquité eſt aſſez grande, pour que

Digitized by Google

l'impulſion ſoit repréſentée par DS, puis qu'alors toutes les figures de même genre reçoivent préciſément la même impulſion, ſans qu'il y ait de diſtinction entr'elles. Fig. 80.

Une particularité qui eſt encore très-digne de remarque, c'eſt que ſi la route devient encore plus oblique, l'impulſion qui étoit auparavant un *minimum* deviendra un *maximum:* car plus AO eſt petite, plus les lignes comme M_3R_3 au-delà du pole S, doivent être grandes. Ainſi l'avantage dont jouiſſoit la courbe ou la ſurface conoïdale pendant que l'obliquité de la route étoit moindre que 45 degrés ou que 49 degrés $6\frac{1}{2}'$, ou 54 degrés 44′, ſe change ou ſe pervertit enſuite en deſavantage; la ſurface reçoit plus d'impulſion dans le ſens de ſon axe, que toutes autres courbes ou ſurfaces imaginables, & devient la moins propre de toutes, pour former la partie antérieure de la carène. Si au contraire l'impulſion dans la route directe, étoit un *plus grand*, elle ſe changeroit en un *minimum* par la même raiſon dans les routes très-obliques. Supoſé donc qu'une ſurface fût deſtinée à n'être choquée que très-obliquement par un fluide, & qu'on voulut qu'elle ne reçût que la moindre impulſion poſſible ſelon la détermination de ſon axe, il faudroit néceſſairement rendre plane cette ſurface.

Au ſurplus, ce ſont non-ſeulement les impulſions que ſouffre la ſurface entiere de la proüe, qui étant des *minimum* juſqu'à un certain terme, paſſent enſuite du moindre au plus grand; ce ſont auſſi les impulſions ſur chaque moitié. Nous ferions voir aſſez aiſément, s'il en étoit beſoin, que ces impulſions particulieres ſur chaque moitié d'une proüe quelconque, ont pour *limitatrices*, non pas des lignes droites, mais des arcs d'ellipſes, dont il n'eſt queſtion par conſéquent, pour déterminer l'obliquité qui fait la ſéparation du *minimum* & du *maximum*, que de découvrir les points d'interſection. Mais enfin *toute ſurface qui éprouve la moindre impulſion, lorſqu'elle eſt choquée ſelon une certaine ligne, jouit encore de la même proprieté, quoique le choc ſe faſſe ſelon une direction très-différente;* de ſorte que le *minimum* étend toujours ſon regne fort loin, & il en eſt de même du *maximum*.

Digitized by Google

Fig. 80. Ainſi, ſans ſe mettre en peine des autres cas ni ſans entrer dans la longue diſcuſſion qu'exige l'examen particulier des routes obliques, il ſuffira toujours, lorſqu'on voudra donner une figure plus parfaite à la proüe, de chercher celle qui éprouve la moindre réſiſtance dans la ſeule route directe. Il eſt certain que l'obliquité des routes ne va jamais juſqu'à 45 degrés, ou juſqu'à 54 degrés 44', pour faire perdre l'avantage qu'avoit la figure, & encore moins pour le faire changer en deſavantage. J'avois déja prouvé cette vérité à *poſteriori* dans un Mémoire communiqué à l'Académie des Sciences en 1733. Lorſqu'une ſurface plane exactement circulaire eſt expoſée perpendiculairement au choc d'un fluide, on connoiſſoit depuis long-tems la nature du conoïde dont il faloit la couvrir, pour que l'impulſion fût la moindre qu'il eſt poſſible : Mais cette ſolution étoit limitée aux ſeuls conoïdes parfaits ; & il y avoit outre cela lieu de croire qu'elle ne devoit pas être la même lorſque la direction du fluide étoit oblique. Pour éclaircir ce doute qui avoit entraîné des Géométres fameux, j'attribuai non-ſeulement à la baſe une figure quelconque, je ſupoſai que le cours du fluide ſe faiſoit obliquement ; & je fus recompenſé de mes recherches, en aprenant que ſi le conoïde *de moindre réſiſtance* eſt différent pour les différentes baſes, il eſt abſolument le même, pour les routes obliques que pour celle qui ſe fait ſelon l'axe. Maintenant que nous avons démontré la même choſe d'une maniere directe, nous ſommes encore plus en droit de nous épargner la plus grande partie de la difficulté qu'on trouve dans l'examen des diverſes figures : nous n'avons à diſcuter leurs proprietés que pour le ſeul cas de la route directe.

CHAPITRE

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale, lorsque le fluide change de direction.

I.

IL n'a point été question jusqu'à présent de l'impulsion latérale, ou de l'impulsion qui se fait dans la détermination horisontale perpendiculaire à l'axe. Nous allons nous en occuper actuellement & tâcher de découvrir d'abord la loi qu'elle suit dans ses changemens. Nous avons vû que VX (Fig. 79.) étant la direction du fluide dont l'obliquité, par raport à l'axe de la prouë ou à la quille, est marquée par l'angle KVX, le quarré du sinus de l'obliquité de la direction du fluide par raport à la petite partie VG de la surface de la prouë, est $\overline{RM}^2 + 2RM \times NL + \overline{NL}^2$; pendant que le quarré du sinus de l'obliquité par raport à la partie correspondante de VG de l'autre côté de la prouë, est $\overline{RM}^2 - 2RM \times NL + \overline{NL}^2$. Nous pouvons toujours nous borner à ne considerer que ces seuls quarrés; puis qu'en les multipliant par le quarré du sinus de l'inclinaison de chaque partie & par l'étenduë de la projection sur VK ou sur un plan vertical parallele à la quille, cette multiplication n'influeroit en rien sur le raport qu'ils suivent dans leur changement, lorsque l'obliquité de la route augmente ou diminue. Fig. 79.

J'ôte le second quarré du premier; parce que les impulsions latérales que souffrent les deux moitiés de la prouë étant contraires, la plus foible détruit une partie de la plus forte, & il me reste $4RM \times NL$, qui doit donc être continuellement proportionel à l'impulsion latérale que souf-

Fig. 79. frent toutes les parties de la proüe conſiderées deux à deux. L'impulſion latérale que ſouffre la proüe entiere, change par conſéquent dans le même raport; c'eſt-à-dire qu'elle change comme le rectangle du ſinus de l'obliquité de la route par ſon ſinus de complement; puiſque NL a toujours, nous le répétons, un raport conſtant dans chaque petite partie de la ſurface de la proüe avec le ſinus ML de l'obliquité de la route, & RM avec le ſinus de complement VM de la même obliquité. Le ſinus ML eſt nul, & NL l'eſt auſſi dans la route directe; ce qui rend nul auſſi-bien le rectangle VM × ML, que le rectangle 4RM × NL; & l'impulſion latérale eſt auſſi nulle: mais à meſure que l'obliquité de la route augmente, l'un & l'autre rectangle devient plus grand & dans le même raport, juſqu'à ce que l'obliquité ſoit de 45 degrés. Alors ils ſont parvenus l'un & l'autre au terme de leur *maximum*, comme il eſt facile de le démontrer: après cela ils diminuent. L'impulſion latérale qui ſuit le même raport doit donc augmenter juſqu'au même terme, & diminuer enſuite par les mêmes degrés qu'elle avoit augmenté; & cela doit arriver généralement dans les proüës de toutes ſortes de figures, auſſi-tôt que le choc ſe fait toujours ſur la même ſurface.

II.

Cette loi qu'obſerve l'impulſion latérale, lorſqu'elle change par l'obliquité de la route, étant reconnue, il eſt facile d'en conclure que la direction de l'impulſion totale ou abſolue que ſouffre toute la proüe, paſſe continuellement par le même point de l'axe de la carène; & c'eſt ce qu'il eſt peut-être auſſi important de ſçavoir, que la loi-même que ſuit l'impulſion latérale. Si on conſidére deux à deux les parties correſpondantes E*e*, E*e* (Fig. 74.) de la ſurface de la proüe, on ſçait que les impulſions abſolues auſquelles elles ſont ſujettes, s'exercent ſur deux perpendiculaires à la ſurface, qui viennent ſe rencontrer dans le même point M de l'axe AC. On peut décompoſer ces im-

pulsions dans ce point ; & les résoudre en impulsions relatives directes, & en impulsions relatives latérales. Toutes les impulsions relatives directes en conséquence de cette décomposition, se réuniront dans l'axe même AC qui leur servira de direction commune, & les impulsions latérales, celles d'un côté l'emportant sur celles de l'autre, se trouveront appliquées tout le long de l'axe sur une infinité de perpendiculaires MN. Mais qu'on y fasse maintenant attention ; le changement d'obliquité de la route, ou le changement des directions du fluide ne fera point changer les points M de place ; & en second lieu, si les impulsions latérales qui s'exercent sur les lignes MN, augmentent ou diminuent, elles le feront toutes proportionellement, puisqu'elles changent toutes en même tems comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement. Fig. 74.

Ainsi si on réunit, ou si on compose toutes ces impulsions relatives pour avoir l'impulsion latérale totale, cette derniere impulsion, quoique le Navire embrasse des routes plus ou moins obliques, ne pourra pas manquer de s'exercer toujours sur la même direction ; de s'exercer sur une ligne appliquée constamment au même point de l'axe. Car que plusieurs puissances augmentent ou diminuent, aussitôt qu'elles le font toutes proportionellement, & qu'elles s'exercent toujours sur les mêmes directions particulieres, leur direction composée ou mutuelle ne doit pas changer. Or il suit de-là que lorsqu'on composera en dernier lieu l'impulsion latérale totale, avec l'impulsion directe totale, pour avoir l'impulsion absolue ou l'impulsion formée de toutes les autres impulsions, on trouvera une direction qui passera encore par le même point ; puisqu'elle partira de l'intersection de l'axe & de la direction de l'impulsion latérale. J'avois déja prouvé dans le Traité de la Mâture des Vaisseaux, cette proprieté qu'ont les prouës de toutes les figures ; mais la démonstration que j'en avois donnée, étoit non-seulement plus longue, elle étoit plus dépendante du calcul.

Digitized by Google

Fig. 79.

III.

Pour comparer maintenant les impulsions latérales aux impulsions directes, nous n'avons qu'à nous ressouvenir que ces dernieres sont exprimées dans la figure 79 par $2\times\overline{RM}^{2}\times GK+2\times\overline{NL}^{2}\times GK$, & que si on multiplie le rectangle $4\times RM\times NL$, ou la difference des deux quarrés de SL & de sl par KV, qui est la projection de la partie GV sur le plan perpendiculaire à la direction de l'impulsion latérale, on aura $4\times RM\times NL\times KV$ pour cette impulsion. Il seroit inutile, comme nous l'avons déja dit tant de fois, de considerer l'inclinaison des deux parties correspondantes exposées au choc, lesquelles ne sont pas verticales; puisqu'en multipliant également les deux quantités $2\times\overline{RM}^{2}\times GK+2\times\overline{NL}^{2}\times GK$, & $4\times RM\times NL\times KV$ par le quarré du sinus de l'inclinaison, on n'en changeroit pas le raport. Or si on compare le second terme de la premiere quantité avec la seconde, on verra que ces deux grandeurs sont comme $NL\times GK$ est à $2\times RM\times KV$: c'est-à-dire que $NL\times GK$ & $2\times RM\times KV$, expriment le raport qu'il y a entre la partie de l'impulsion relative directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route & l'impulsion latérale. Mais le raport demeurera le même, si on multiplie les deux termes par GV; on aura $GV\times NL\times GK$ & $2\times GV\times RM\times KV$; & il ne changera point encore si on les divise par $GK\times KV$; ce qui donnera $\frac{GV\times NL}{KV}$ & $\frac{2\times GV\times RM}{GK}$. Ainsi la seconde partie de l'impulsion directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route, est à l'impulsion latérale, comme $\frac{GV\times NL}{KV}$ est à $\frac{2\times GV\times RM}{GK}$; & enfin si on met à la place de ces deux dernieres quantités, les lignes ML & 2MV qui leur sont égales, on reconnoîtra que la seconde partie de l'impulsion directe est à l'impulsion latérale, comme le sinus ML de l'obliquité de la route est au double du sinus

Digitized by Google

de complement MV, ou comme la tangente KX de cette même obliquité eſt au double du ſinus total KV. Fig. 79.

La ſeconde partie de l'impulſion directe dont il s'agit ici, eſt repréſentée par les eſpaces P_1R_1, P_2R_2, &c. dans la figure 80: de ſorte qu'il eſt toujours très-facile de ſoumettre au calcul l'impulſion latérale, & de la déduire de l'impulſion directe. Cette derniere étant connue pour une certaine route; qu'on la connoiſſe, par exemple, pour la route dont l'angle ACX_2 marque l'obliquité, il n'y aura qu'à en retrancher la premiere partie M_2P_2, qu'on trouvera par cette analogie; CA eſt à CM_2, ou le quarré du ſinus total eſt au quarré du ſinus complement de l'obliquité de la route propoſée, comme l'impulſion AO que ſouffre la proüe dans la route directe eſt à M_2P_2. Cette quantité M_2P_2 étant ôtée de M_2R_2, on aura la ſeconde partie P_2R_2; & il ne reſtera plus qu'à faire cette autre analogie: Le ſinus de l'obliquité de la route propoſée eſt au double du ſinus de complement de cette même obliquité, comme P_2R_2 ſera à l'impulſion latérale qu'on demandoit. Lorſque l'obliquité de la route ſera de 45 degrés, le ſinus de cette obliquité & le ſinus de ſon complement ſeront égaux. Ainſi l'impulſion latérale ſera double de TS ou égale à CQ; ce qui nous apprend cette vérité remarquable, que pendant qu'une des extrémités O de la *limitatrice* OQ des impulſions directes eſt éloignée de l'axe AC de la quantité AO qui exprime la premiere impulſion directe, l'autre extrémité Q en eſt éloignée de la diſtance CQ qui exprime la plus grande impulſion latérale. On voit donc auſſi que lorſque les impulſions directes, AO, M_1R_1, M_2R_2, &c. que reçoit la proüe dans toutes les routes, ſont égales entr'elles; elles ſont auſſi égales à la plus grande impulſion latérale que ſouffre la proüe dans la route oblique de 45 degrez. Fig. 80.

IV.

Si on veut réſumer & ſe mettre ſous les yeux la plûpart des choſes que nous venons d'établir, on n'aura qu'à pren-

Fig. 80. dre n pour sinus total, s pour le sinus de l'obliquité de la route, & σ pour le sinus de complement, & nommant A la valeur de AO ou de l'impulsion selon l'axe que souffre la prouë dans la route directe, & B la valeur de CQ, ou de l'impulsion latérale que souffre la prouë dans la route oblique de 45 degrez, on aura $\frac{\sigma^2}{n^2}$ A pour la premiere partie M_1R_1, ou M_2R_2 de l'impulsion directe, pour celle qui est proportionelle au quarré du sinus de complement σ de l'obliquité de la route, & $\frac{s^2}{n^2}$ B pour la seconde partie P_1R_1, ou P_2R_2 qui est proportionelle au quarré du sinus s. L'impulsion directe entiere M_1R_1 ou M_2R_2 sera par conséquent représentée par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$; & si on fait l'analogie prescrite ci-dessus $s \mid 2\sigma \mid\mid \frac{s^2}{n^2}B \mid \frac{2s\sigma}{n^2}B$ on aura $\frac{2s\sigma}{n^2}B$ pour l'impulsion latérale. Ainsi les deux impulsions relatives, selon le sens de l'axe & selon le sens perpendiculaire à l'axe, seront exprimées d'une maniere très-simple: la premiere le sera toujours par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$; & la seconde par $\frac{2s\sigma}{n^2}B$; & cela pour les prouës de toutes les figures & pour toutes les routes.

V.

Enfin nous terminerons ces remarques par une derniere observation, qui n'est pas moins considérable que les précédentes, & qui en est un Corollaire. Il est évident que puisque l'impulsion latérale pour chaque route a un raport déterminé avec la seconde partie P_1R_1 ou P_2R_2 de l'impulsion directe; plus cette seconde partie sera grande, plus l'impulsion latérale le sera aussi. Or la seconde partie de l'impulsion directe n'est jamais plus grande que lorsque la premiere l'est moins; ou que lorsque l'impulsion directe AO, pour le cas où l'obliquité de la route est nulle, est un *minimum*. Car AO étant un *moindre*, CQ qui est égale

Digitized by Google

à la plus grande impulsion latérale, est un *plus grand*; & toutes les secondes parties P_1R_1, P_2R_2 de l'impulsion directe, ou ce qui revient au même, toutes les impulsions latérales doivent se ressentir de la grandeur de CQ. Fig. 80.

Il se trouve par conséquent un double avantage à donner à la prouë la figure qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu dans lequel elle se meut. Car cette proprieté entraîne nécessairement l'autre, que l'impulsion latérale est la plus grande qu'il se peut. Ainsi le Navire singlant plus vite, dérivera le moins qu'il se pourra, non-seulement à cause de la petitesse de l'impulsion directe; mais parce que l'impulsion latérale réellement plus grande, s'opposera davantage, & le plus qu'il sera possible, à l'effort du vent qui pousse le Navire de côté & qui est la cause de sa déviation dans les routes obliques. C'est donc encore une proprieté dont jouissoit sans que nous le sçussions, la prouë qui éprouve la moindre résistance dans la route directe: elle éprouve non-seulement la moindre résistance dans toutes les autres routes; *elle est aussi la prouë de la moindre déviation ou de la moindre dérive*: & on conviendra sans peine que cette proprieté est beaucoup plus importante que l'autre. Il arrive tous les jours que des Navires qui navigent proche de terre, ne se perdent faute de doubler un cap, ou de s'élever d'une côte où ils sont abatus, que parce qu'ils sont sujets à une trop grande dérive: au lieu que la lenteur de leur marche ne fut jamais la cause prochaine ou immédiate de leur naufrage.

Digitized by Google

SECONDE SECTION.

Où l'on tente la ſolution générale des principaux Problémes de Manœuvre.

NOUS nous trouvons naturellement conduits par toutes les recherches précédentes à la partie même intérieure de la Manœuvre des Vaiſſeaux, que nous pourrions nous diſpenſer d'examiner; mais dont nous allons reſoudre les principaux Problêmes, afin de ſaiſir l'occaſion qui ſe préſente d'éclaircir en peu de mots cette partie ſi difficile de la Marine. On eſt tenté de croire en liſant l'eſſai de Manœuvre du célébre M. Bernoulli, & en voyant tous les embarras dont ce ſujet épineux eſt environné, qu'il n'eſt pas poſſible de trouver de régles générales ou univerſelles qu'on puiſſe apliquer indiſtinctement à tous les Navires; & qu'il faut pour chacun ſe réſoudre toujours à commencer un nouvel examen & à diſcuter dans le plus grand détail la figure particuliere de ſa carène. Le Géométre rebuté d'un travail qui n'a pas de fin, ne peut pas s'empêcher de regreter après cela la ſimplicité des regles de M. le Chevalier Renau; & peu s'en faut qu'il ne les préfere, quoiqu'il ſoit convaincu de leur imperfection qui n'eſt que trop bien prouvée. Mais ce ne ſera plus la même choſe, auſſi-tôt qu'on partira des remarques que nous venons de faire: elles nous mettront non-ſeulement en état de vaincre tous les obſtacles qui ſe ſont préſentés juſqu'à préſent, lorſqu'on a cherché des ſolutions générales des Problêmes dont il s'agit; nous ne ſerons point obligés de négliger la conſidération des différentes viteſſes relatives du vent qui changent par le mouvement du Navire, & qui ne ſont pas moins

Digitized by Google

moins naître de singularités curieuses dans cette matiere, qu'elles contribuent à la rendre plus difficile.

CHAPITRE PREMIER.

De la viteſſe que prend le Vaiſſeau par rapport à celle du Vent.

NOUS commencerons par la diſcuſſion de cette premiere queſtion, dont le Pilotage, la Manœuvre, & l'Architecture navale peuvent tirer de grandes utilités, & dont perſonne cependant ne cherchoit la ſolution. On ſupoſoit tous les jours que la viteſſe que recevoit le Navire étoit comme infiniment petite, ou au moins comme inſenſible par raport à celle du vent; & bien loin de diſtinguer les cas qui exigent plus d'exactitude, on partoit continuellement de cette ſupoſition gratuite, ſans ſçavoir s'il eſt une ſeule occaſion où elle puiſſe être admiſe légitimement. M. d'Ons-en-Bray eſt le premier, à ce que je crois, qui méditant la Machine dont nous avons parlé dans le ſecond Chapitre de l'autre Section, a ſenti que la choſe méritoit d'être miſe en déliberation, & qui en a fait un ſujet de queſtion. Elle me fut propoſée en 1729, lorſque j'étois au Croiſic, par feu M. de Valincourt, Secretaire Général de la Marine. Comme l'écrit qui me fut remis ne contenoit pas une propoſition formelle du Problême, on pouvoit aiſément ſe méprendre ſur l'intention ſecrete de l'Auteur: M. d'Ons-en-Bray vouloit, à ce qu'il me parut, ſe reſerver le plaiſir de reſoudre lui-même la queſtion; il ſe contentoit de demander des expériences, qui ne pouvoient ſe faire que ſur le bord de la Mer, leſquelles devoient lui ſervir de principes ou d'élemens. Je fis ces expériences, & je ne pouvois pas y manquer: mais je tentai en même tems une ſolution directe du Probleme, en employant en partie les régles expoſées dans la Section précédente. C'eſt

de cette ſeule ſolution, parce qu'elle eſt toute de moi, mais qu'il n'y avoit pas ſans doute beaucoup de mérite à imaginer, dont je vais ici rendre compte.

I.

Je conſiderai un Vaiſſeau de 163 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, & de 44 pieds 9 pouces de largeur en dehors de ſes membres; & je trouvai l'étenduë de la coupe verticale de ſa carène faite perpendiculairement à ſa quille, d'environ 691 pieds quarrés. C'eſt cette coupe qui recevroit le choc de l'eau pendant le ſillage ſi la prouë n'avoit aucune ſaillie & ſi elle étoit terminée par un plan vertical: au lieu que la figure convexe eſt cauſe qu'on ne doit pas regarder ces 691 pieds comme ſujets à l'impulſion de l'eau. Il eſt donc d'abord queſtion de découvrir la reduction qu'il faut faire à cette ſurface, & c'eſt en cela que conſiſte la plus grande difficulté du Problême. Si la prouë des Vaiſſeaux avoit la figure qui éprouve la moindre réſiſtance avec le même axe & la même groſſeur qu'elle a ordinairement, ſa ſaillie rendroit alors l'impulſion environ douze fois moindre, comme on peut le verifier aiſément. Nous avons vû dans le Chapitre V. de la Section précédente; qu'un cone dont l'axe eſt triple du rayon de ſa baſe, reçoit déja une impulſion dix fois plus petite que ſi l'eau frapoit perpendiculairement ſa baſe même; & il faut remarquer que le conoïde de moindre réſiſtance qui a les mêmes dimenſions, reçoit une impulſion encore moindre d'environ une cinquiéme partie. Mais il s'en faut beaucoup que nos Conſtructeurs ayent atteint cette figure dont ils ſont reſtés extrémement éloignés. En examinant un petit Navire du Croiſic nommé *le S. Pierre* *, je trouvai que la convexité de ſa prouë ne rendoit le choc de l'eau qu'environ ſix fois & demi plus petit que ſi la prouë eût été formée par un plan vertical. Ce plan meſuré avec ſoin étoit de 6687 pouces quarrés, & l'impulſion qu'il eût reçû eût été exprimée par 66870000, au lieu qu'en partageant la ſurface de la prouë en 18 triangles qui ſe trou-

* Voyez le Traité de la Mâture pag. 137 & ſuiv.

voient ſenſiblement de petites ſurfaces planes, & en cherchant les impulſions particulieres que ſouffrent toutes ces ſurfaces, l'impulſion totale étoit repréſentée par 10245735 qui eſt à très-peu près $6\frac{1}{2}$ fois moindre que 66870000. Je penſois que dans les Vaiſſeaux de guerre, il ſe faiſoit encore une plus grande diminution, & qu'il falloit réduire à une neuviéme partie ou à 77 pieds les 691 pieds quarrés de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille du Vaiſſeau du premier rang dont il s'agit. Mais ayant eu occaſion depuis de viſiter nos Ports & de reconnoître par moi-même la forme des plus grands Navires, j'ai été forcé de reconnoître que l'impulſion qu'ils ſouffroient n'étoit qu'environ quatre fois, ou tout au plus quatre fois & demie plus petite que ſi leur proüe eût été terminée par un plan vertical. Cette extrême différence qui eſt quelquefois encore plus grande entre la figure actuelle des plus grands Navires, & celle du conoïde qui éprouve la moindre réſiſtance, vient de ce que la groſſeur du conoïde commence à diminuer dès ſon origine, ou en partant de la premiere coupe qui lui ſert de baſe; au lieu que celle qu'on donne actuellement aux Vaiſſeaux, ſe conſerve dans un très-grand eſpace & diminue enſuite tout à coup; ce qui produit le même effet que ſi la proüe étoit beaucoup plus courte, ou avoit moins de ſaillie. Enfin l'étenduë de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille étant de 691 pieds quarrés, on ne doit, je penſe, la réduire généralement à cauſe de la convexité & de la ſaillie de la proüe, vû l'état actuel des choſes, qu'à environ 150 pieds, que nous prendrons donc pour *l'expoſant* ou pour *l'argument* de l'impulſion relative directe.

II.

Il faut maintenant conſiderer l'effort du vent ſur les voiles. La ſurface des trois du grand mât devoit être d'environ 10316 pieds quarrés: & comme on peut, en préſentant un peu le flanc au vent, faire enſorte qu'une grande partie des voiles du mât de miſaine ait part à l'impulſion,

ſans qu'il y ait de diminution conſidérable par le changement de l'angle d'incidence, ni que la réſiſtance que ſouffre la prouë de la part de l'eau, devienne auſſi plus grande par l'obliquité de la route, on doit augmenter d'environ de moitié les 10316 pieds quarrés, & on aura 15474 pieds pour la ſurface totale des voiles qui *portent*, ou qui reçoivent le choc du vent. Or l'impulſion que ſouffrent ces 15474 pieds doit être égale, comme on l'a vû dans le premier Chapitre de l'autre Section, à l'impulſion de l'eau ſur les 150 pieds quarrés de ſurface, auſquels ſe réduit la prouë. D'ailleurs ces impulſions dépendent des denſités des deux fluides: car ſi toutes les autres choſes étant égales, un fluide eſt deux ou trois fois plus denſe, ou d'une peſanteur ſpécifique deux ou trois fois plus grande, ſon choc ſera deux ou trois fois plus fort. Le mercure avec la même viteſſe fait, par exemple, 14 fois plus d'impulſion que l'eau ſur la même ſurface; parce qu'il eſt 14 fois plus peſant: & l'eau par la même raiſon fait 576 fois plus d'impreſſion que le vent, lorſque l'air eſt dans ce degré précis de condenſation où l'a obſervé M. Mariote, qui le rend 576 fois moins peſant que l'eau. On ſçait enfin que les impulſions ſuivent la raiſon doublée des viteſſes, ou ſont proportionelles à leurs quarrés. Tout cela étant admis, ſi nous déſignons la viteſſe du Navire par 100, nous aurons pour l'expreſſion du choc de l'eau ſur la prouë 864000000, qui eſt le produit de 150 pieds quarrés par la denſité de l'eau 576, & par le quarré 10000 de la viteſſe du ſillage. Or cette impulſion encore une fois doit être égale à celle du vent ſur les voiles, ou au produit de leur étendue 15474 pieds quarrés par la denſité 1 de l'air, & par le quarré de la viteſſe reſpective du vent. Ainſi ſi on diviſe l'impulſion 864000000 de l'eau par l'étendue 15474 des voiles, & par la denſité 1 de l'air, il viendra au quotient le quarré de la viteſſe du vent. On trouve 55835 pour ce quarré, dont la racine eſt environ 236, & il ne reſte plus qu'à conſiderer que comme ce nombre ne repréſente que la

Digitized by Google

viteſſe reſpective, ou que la viteſſe avec laquelle les voiles ſont frapées, on doit l'augmenter de toute la viteſſe particuliere du Vaiſſeau. Il viendra donc 336 pour la viteſſe totale ou abſolue du vent: ce qui nous apprend que cette viteſſe & celle du ſillage ſont ſenſiblement comme 336 eſt à 100., ou que l'une n'eſt pas tout-à-fait le tiers de l'autre.

Il faut remarquer que ſi au lieu de ſupoſer que l'eau eſt 576 fois plus peſante que l'air, on la ſupoſe 1100 fois, on trouveroit que la viteſſe du Navire eſt à celle du vent, non pas comme 100 eſt à 336; mais comme 100 eſt à 419. Nous déférerons un peu à l'une & à l'autre de ces déterminations; parce que 576 & 1100 comparé à l'unité, ſont à peu près comme les limites du raport qu'il y a entre la denſité de l'eau & celle de l'air. Mais il réſulte de tout cela que les Vaiſſeaux les mieux conſtruits prennent environ les deux ſeptiémes de la viteſſe du vent. Lorſque le vent devient deux ou trois fois plus rapide, ſon impulſion eſt quatre ou neuf fois plus forte; mais le Navire ſinglant deux ou trois fois plus vite, la réſiſtance de l'eau contre la proüe devient auſſi quatre fois ou neuf fois plus grande, ce qui maintient l'équilibre.

III

Ce qu'on vient de dire ne convient qu'aux Vaiſſeaux qui ſinglent le mieux, & qui approchent de la figure des Frégates: car s'il s'agiſſoit de Flutes Hollandoiſes, ou des autres Bâtimens qui ſont faits exprès pour porter une grande charge, la convexité de leur proüe ne ſeroit quelquefois gueres plus grande que celle d'un Hémiſphere *, elle ne rendroit l'impulſion que deux fois ou deux fois & demie plus petite que ſi la proüe étoit terminée par un plan vertical. On peut chercher par le même procedé leur viteſſe par raport à celle du vent, & on verra qu'au lieu d'en être les deux ſeptiémes comme dans les Vaiſſeaux qui ſinglent le mieux, elle n'en eſt qu'environ la

* Voyez le Chap. V. de la Sect. précédente art. 2. à la fin du n. 1.

Digitized by Google

cinquiéme partie. C'eſt par conſéquent entre ces deux limites qui ſont l'une à l'autre dans le raport de 7 à 10 que ſe trouve la viteſſe de la plûpart de nos Vaiſſeaux, lorſqu'ils vont vent en poupe ou *vent largue*. Nous avons beſoin de mettre cette reſtriction: car s'ils alloient à *la bouline* ou *au plus près*, en préſentant leur prouë vers le vent, & en dérivant de 20 ou 25 degrés, le raport entre leur viteſſe changeroit; & pendant que les uns perdroient par l'obliquité de leur route la moitié de leur marche, les autres en perdroient les deux tiers, dans le tems même que la Mer ſeroit parfaitement calme, & qu'ils porteroient toutes leurs voiles. Ainſi les meilleurs Voiliers qui vont vent largue, avec les deux ſeptiémes de la viteſſe du vent, n'avanceroient alors qu'avec environ la ſeptiéme partie: & les plus mauvais Voiliers qui vont ordinairement avec la cinquiéme partie, n'iroient plus enſuite qu'avec la douziéme ou la quinziéme.

IV.

Enfin comme il ne s'agit dans tout ceci que de raports moyens & déterminés à peu près, il ne faut pas s'attendre de pouvoir les appliquer dans la derniere rigueur à chaque Vaiſſeau. Il n'eſt pas même vrai dans l'état où eſt maintenant la Navigation, que la viteſſe du Navire qui fait la même route, ſoit toujours proportionelle à la viteſſe du vent, ou en ſoit la même partie. Elle le ſeroit ſi la mâture étoit bien diſpoſée: au lieu que dans l'état préſent des choſes, lorſqu'il ſemble que tout doit contribuer à accélerer le mouvement du Vaiſſeau, lorſque le vent devient plus rapide, & qu'on donne en même tems beaucoup plus d'étendue aux voiles pour procurer encore une plus grande promptitude au ſillage, il arrive ſouvent que la viteſſe bien loin d'augmenter ſelon les loix aſſignées par les Régles de Manœuvre qu'on nous a données juſqu'à préſent, devient au contraire beaucoup plus petite. C'eſt que lorſque l'impulſion du vent augmente beaucoup,

Digitized by Google

le Navire enfonce une plus grande partie de la proüe dans la Mer, trouve plus de réſiſtance à fendre l'eau; & le ſillage eſt quelquefois plus retardé par cet endroit, qu'il n'eſt acceleré par l'autre. Quoiqu'il en ſoit, on peut toujours tirer diverſes conſéquences de notre recherche; & il en réſulte entr'autres choſes, qu'on doit mettre une grande différence entre la viteſſe abſoluë du vent & ſa viteſſe reſpective par raport au Vaiſſeau; je ne dis pas pour obtenir une préciſion rigoureuſe & parfaitement géométrique dans divers Problêmes de Marine; mais pour parvenir même à cette exactitude limitée ou aprochée, dont on ſe contente ordinairement dans les choſes de pratique. Cette conſidération deviendra encore plus néceſſaire, lorſqu'on réformera la figure & la diſpoſition des Vaiſſeaux ſur les régles que nous donnons: car il y a tout lieu de croire, & on peut s'en aſſurer par un examen ſemblable à celui que nous venons de faire, qu'ils prendront quelquefois la moitié de la viteſſe du vent. Pour en juger tout d'un coup avec facilité, on peut ſe contenter d'inſtituer le calcul ſur une proüe conique; mais en ſupoſant que le diametre de ſa baſe n'eſt qu'environ la cinquiéme partie de la longueur totale de la carène.

CHAPITRE II.

Du changement que le mouvement des ſurfaces produit au choc qu'elles reçoivent.

I.

CETTE attention de plus qu'il faut avoir dans les diſcuſſions de Marine qui ont raport au mouvement du ſillage conſideré phyſiquement, les rend preſque toutes beaucoup plus compliquées; & il n'eſt néanmoins que trop certain qu'il n'eſt pas permis d'éluder cette diffiulté. Imaginons-nous que la ſurface plane DE (Fig. 81.) eſt tranſ- Fig. 81.

Fig. 81. portée toujours parallement à elle-même de C en *c*, ou de DE en *de* pendant que le fluide parcourt l'espace CG, & une infinité d'autres lignes paralleles que nous ne pouvons pas marquer: Alors l'impulsion sera diminuée considérablement; parce que le mouvement de la surface fera comme perdre au fluide une partie de sa viteſſe; & le choc ne ſe fera plus qu'avec la viteſſe reſpective. Pour trouver cette viteſſe, je prolonge le plan *de* juſqu'à la rencontre en F de la direction VG; l'eſpace CF ſera la partie retranchée de la viteſſe du fluide, & FG la viteſſe reſtante: & comme les impulſions des fluides ſont comme les quarrés des viteſſes, le choc total ſur la ſurface DE ſera proportionel au produit du quarré du ſinus de l'angle d'incidence VCE par le quarré de la viteſſe reſpective FG. On verra évidemment que c'eſt CF la partie de la viteſſe que le mouvement du plan DE fait perdre au fluide, ſi l'on imagine que ce plan eſt aſſez grand, lorſqu'il eſt parvenu en *de*, pour s'étendre juſqu'en F, & couper la direction VCG. A l'aide de cette ſupoſition, on ſe convaincra aiſément que le point F du plan ne doit pas être choqué avec toute la viteſſe CG du fluide, mais ſeulement avec la viteſſe reſpective FG; puiſque le plan fuit de la quantité CF, & que le fluide ne peut l'atteindre qu'avec l'excès de ſa viteſſe. Or que le plan ſoit grand ou petit, c'eſt préciſément la même choſe; tous ſes points doivent être choqués avec la même viteſſe FG.

II.

On peut maintenant reconnoître ſans peine qu'il y a trois principaux cas à diſtinguer, qui naiſſent & de la ſituation de la ſurface, & de la direction ſelon laquelle la ſurface eſt tranſportée. 1°. Si la ſurface paſſe de DE en *de*, ou en *d*2 *e*2, pendant que le fluide qui ſe meut ſelon VG, parvient de C en G; la viteſſe reſpective FG ou F2G avec laquelle le fluide frapera la ſurface, ſera moindre que la viteſſe abſolue CG. 2°. Si la ſurface DE ſe meut dans ſon

ſon propre plan, en venant il n'importe avec quelle viteſſe Fig. 81.
ΔE ou en Δ2 E2; alors quoiqu'il ſemble qu'elle ait du mouvement par raport au fluide, elle n'aura néanmoins aucun progrès réel par raport à lui, puiſqu'elle coupera ſa direction VG toujours dans le même point C; & la viteſſe reſpective ſera donc égale à l'abſolue. Enfin 3°. Si la ſurface DE eſt tranſportée de C en x ou en x2, toujours parallelement à elle-même, elle avancera effectivement vers le fluide qu'elle ira rencontrer avec la viteſſe particuliere Cφ ou Cφ2; & la viteſſe reſpective φG ou φ2G avec laquelle ſe fera le choc, ſera par conſéquent plus grande que la viteſſe abſolue CG. Ces trois cas ne dépendent ni de la ſituation ſeule de la ſurface, ni auſſi de la direction ſeule de ſon tranſport; mais des deux conjointement. Lorſque la ſurface eſt tranſportée de DE en *d2 e2*, il ſemble qu'elle avance vers le fluide, & cependant elle ſe refuſe en partie à l'impulſion. Lorſqu'au contraire la ſurface eſt tranſportée de DE en *δ2 ε2*, elle ſemble fuir le fluide; & néanmoins elle en eſt chocquée avec plus de force.

III.

Je ne m'arrête point ici à examiner ſi les trois cas précédens ne peuvent pas ſe ſubdiviſer; j'évite tout détail qui n'apporte pas une nouvelle lumiere. Mais je ne dois pas manquer de remarquer que ſi le plan qui reçoit le choc eſt tellement incliné par raport à la direction du fluide, ou que ſi la viteſſe de ſon tranſport eſt aſſez grande, pour que parvenu de DE en *de* toujours parallelement à lui-même, & étant cenſé prolongé juſqu'à la direction VG, il la coupe dans le point même G, comme dans la figure 82, la viteſſe reſpective FG du choc ſera alors nulle. Le plan ſe ſouſtraira alors à l'impulſion avec autant de promptitude que le fluide, pour ainſi dire, le pourſuivra; & il traverſeroit ainſi éternellement le fluide, quoiqu'obliquement, ſans en recevoir jamais aucune atteinte. Il faut pour cela qu'il ſe meuve avec le degré précis de viteſſe repréſenté

Fig. 82. par C*c* par raport à la viteſſe abſolue CG du fluide; car s'il ſe mouvoit un peu plus vite, le point F paſſeroit de l'autre côté de G, la viteſſe reſpective GF du fluide deviendroit *négative*; & ce ſeroit alors la ſurface qui reculant trop vite, chocqueroit le fluide qui ſe trouveroit derriere. Mais auſſitôt que le plan *de* étant prolongé, paſſera préciſément par le point G qui termine l'eſpace parcouru par le fluide, il ne ſera expoſé à aucun choc ni d'un côté ni de l'autre. S'il ne ſe meut pas préciſément dans le même ſens que le fluide, s'il eſt comme retiré de côté par ſon tranſport de C en *c*, ſon tranſport latéral joint à ſa ſituation oblique, ſuffit pour que tous ſes points avancent avec autant de promptitude ſelon la direction CG que les particules mêmes du fluide, & pour qu'ils n'en reçoivent par conſéquent aucun choc.

IV.

Entre une infinité de différentes applications dont ces remarques ſont ſuſceptibles, nous nous contenterons d'en faire ici une en peu de mots, ſur une matiere qui n'eſt pas de notre ſujet, mais qui en ſe repliant, pour ainſi dire, s'en raprochera. Un grand nombre de Géométres n'ont pas dédaigné d'examiner la diſpoſition la plus parfaite des aîles ou des volans des Moulins à vent, & ils ont trouvé que l'angle formé par l'aîle & par la direction du vent, devoit être de 54 degrés 44′. de même que celui que doit faire le gouvernail avec le prolongement de la quille, pour faire tourner le Vaiſſeau avec le plus de promptitude qu'il eſt poſſible. Il eſt vrai que ſi l'on rend trop grand l'angle de l'aîle avec l'axe du Moulin, on augmente l'impulſion du vent, mais que tout l'effort tend alors beaucoup plus à renverſer la machine qu'à faire tourner les aîles; & que ſi au contraire on donne à ces mêmes aîles trop d'obliquité, il y aura une plus grande partie de l'effort du vent qui travaillera à les faire tourner; mais que comme l'effort entier ne ſera que foible, la partie qui

Digitized by Google

produira l'effet qu'on demande, le ſera encore beaucoup plus. Il y a donc un certain milieu ou un *maximum*, qu'on a tâché de ſaiſir; mais faute d'avoir eu égard au changement que recevoit la viteſſe reſpect've du vent, on a rendu l'examen trop limité pour qu'il pût être d'uſage. Comme le corps du Moulin eſt immobile, & que les volans ne changent de place que dans le ſens perpendiculaire au vent, on s'eſt imaginé que leur viteſſe ne retranchoit rien de celle du vent; au lieu qu'elle en retranche une partie très-conſiderable; elle la retranche quelquefois toute: & pour dire encore plus, cette viteſſe latérale des volans, eſt ſouvent telle, comme je l'ai remarqué pluſieurs fois, que les aîles au lieu d'être choquées par le vent, choquent au contraire par leur extrémité qui a plus de mouvement, l'air qui eſt derriere, & qui ne ſe retire pas aſſez vite; ce qui fait que la voile s'enfle dans le ſens contraire. Ainſi la ſituation qu'on a trouvé que la ſurface des aîles devoit avoir par raport à l'axe ou à la direction du vent, n'eſt bonne que pour la partie qui eſt tout-à-fait proche du centre, parce qu'elle n'a que peu de viteſſe; au lieu que les autres parties doivent faire un plus grand angle, à meſure qu'elles ſont plus éloignées de l'axe, & il faudroit qu'elles fuſſent tout-à-fait perpendiculaires au vent, ſi l'aîle étoit infiniment longue. La ſurface du volant doit être ſelon cela fort éloignée d'être plane; toutes ſes parties doivent avoir differentes inclinaiſons, & les trous des verges par leſquels on fait paſſer les eſpeces d'échellons qui ſoutiennent les voiles, ne doivent donc pas être arrangés en lignes droites; ils doivent être arrangés ſelon une certaine ſpirale ou Hélice, dont ce n'eſt pas ſans doute ici le lieu de marquer la nature; mais qui a pour aſymptote une droite tirée ſur la ſurface de la verge dans le ſens précis de ſa longueur.

V.

Toutes les fois qu'on regarde ces aîles de Moulin qui choquent par leurs extrémités l'air qui eſt derriere, on

distingue aisément la partie qui est frapée par le vent, celle qui ne l'est pas, & celle qui l'est, mais dans le sens contraire. Il ne reste plus après cela, qu'à mesurer la viteſſe de la partie qui n'est point frapée, cette viteſſe est
Fig. 82. représentée dans la figure 82, par l'espace C*c*; à cela près, que C*c* devroit être perpendiculaire à la direction VG du vent; & connoissant d'ailleurs l'angle CG*c* égal à l'inclinaison VCE de l'aile par raport à l'axe, ou à la direction du vent, on n'aura qu'à résoudre le triangle GC*c* rectangle en C, & le côté CG apprendra qu'elle est la viteſſe réelle ou absolue du vent. On pourroit, ce me semble, sur ce principe construire aisément des Anémometres, qui au lieu de marquer la force du vent, en feroient connoître la viteſſe; & ces instrumens ne manqueroient pas d'utilit.

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaisseau apporte dans la force & dans la direction apparente du Vent.

I.

POUR appliquer au mouvement des Vaisseaux la plûpart des choſes que nous venons de dire, nous nous imaginerons que pendant que le vent parcourt l'espace
Fig 83. & 86. CG (Fig. 83.) sur la direction VG, le Navire AB, dont DE est la voile, passe par le mouvement de son sillage de C en *c*. Il est évident par les raisons exposées ci-devant, que tous les divers points de la voile fuiront par raport au vent, de la quantité CF, & qu'ils ne seront par conséquent frapés que par le surplus FG, dont le vent va plus vite. Le Vaisseau est cependant représenté ici lorsqu'il single *au plus près*, ou *à la bouline*, ou lorsqu'il avance vers

Digitized by Google

l'origine même du vent. Mais quoique le Navire avance vers le vent, sa voile étant supposée prolongée jusqu'en F, coupe successivement à cause de sa situation, la direction VG dans des points F, dont le progrès se fait dans le même sens que celui des particules d'air, & elle se soustrait d'autant à l'impulsion ; pendant que diverses parties du Vaisseau & qu'une voile disposée d'une autre maniere, pourront être choquées avec plus de viteſſe. Supposé donc que le vent parcoure l'espace CG de 50 pieds par secondes, & fasse sur un pied quarré de surface une force de 6 livres ; des voiles de 15474 pieds d'étendue, comme celles que nous avons considerées dans le premier Chapitre, étant frapées perpendiculairement, recevroient une impulsion de 92844 livres. Mais si l'angle d'incidence VCE est d'environ 19½ degrés, dont le sinus est le tiers du sinus total, l'impulsion sera diminuée neuf fois par ce seul endroit ; & si la viteſſe respective FG n'est que de 25 pieds, moitié de la viteſſe absolue CG, l'impulsion sera encore diminuée quatre fois, & sera par conséquent 36 fois moindre, ou seulement de 3863½ livres. Or cette impulsion est à la premiere 92844, comme le produit du quarré du sinus de 19½ degrez par le quarré de la viteſſe relative 25 pieds, est au produit du quarré du sinus total par le quarré de la viteſſe absolue 50. Fig. 83. & 86.

II.

On peut toujours faire entrer de cette sorte la consideration des viteſſes respectives du vent dans toutes les Recherches où la viteſſe absolue est *donnée*. Mais comment connoître en Mer la viteſſe respective FG ; comment découvrir la viteſſe absolue CG, pendant que le Vaisseau est en mouvement ? Nous ne faisons pas encore sentir toute la difficulté ; car il n'y a pas jusqu'à la direction du vent qui ne soit alterée par le mouvement du Vaisseau. Nous avons montré que si la surface *de* qui reçoit l'impulsion, étoit encore située plus obliquement, & que sa

Fig. 83. prolongation *c*F coupât la direction VCG du vent, non pas dans le point F, mais dans le point G, la viteſſe reſpective du vent ſeroit alors réduite à rien, & qu'il n'y auroit plus d'impulſion. Il ſuit de-là que les *giroüettes*, les *flammes* & tous les autres inſtrumens dont on ſe ſert en Mer pour découvrir la direction du vent, ou ne l'indiquent pas, ou ne l'indiquent que quand le Navire eſt dans un parfait repos, ou que lorſqu'il ſingle parfaitement vent en poupe. Au lieu de ſe placer parallement à la vraye direction VG, ces inſtrumens ſe placent ſur *c*G en ſe tournant vers le point G, qui termine l'eſpace CG parcouru par le vent, & induiſent à une erreur égale à l'angle CG*c*. Les particules d'air qui étoient en C avec le Vaiſſeau, parviennent en G, en même tems que le Vaiſſeau arrive en *c*. Elles s'éloignent effectivement du Navire de la quantité *c*G; c'eſt ſelon *c*G qu'elles s'en éloignent, & par conſéquent *c*G marque leur viteſſe reſpective par raport au Navire; & c'eſt auſſi ſelon cette même ligne que les pavillons & les flâmes doivent ſe ſituer pour ne point recevoir d'impulſion.

L'angle CG*c* dont on eſt ſujet à ſe tromper, peut ſe trouver de 18 ou 20 degrez; dans le tems même que les courans ne contribuent point à l'augmenter en jettant le Navire de côté. Cet angle deviendra plus grand, lorſque le ſillage ſera plus rapide, & ſi le Vaiſſeau marchoit ſur *l'autre bord*, l'erreur ſeroit de la même quantité de l'autre côté; de ſorte que la direction du vent peut paroître changer de 36 ou 40 degrés, ou de la neuviéme ou dixiéme partie du tour de l'Horiſon, quoiqu'elle ſoit conſtamment la même, & que tout le changement ne ſoit qu'apparent. Je ne met ce changement total à 36 ou 40 degrés, que parce que je ne conſidere les choſes que dans l'état actuel où elles ſont: car ſi on employoit les moyens que nous indiquerons pour rendre la viteſſe du Navire beaucoup plus grande, le même changement pourroit aller extrémement plus loin. Il ne ſeroit pas même impoſſible qu'un vent d'Orient parût venir preſque du Nord; & preſque

Digitized by Google

enſuite du Sud, lorſqu'on change de route. Le vent en un mot doit ſembler prendre une autre direction toutes les fois que le Navire fait un autre chemin, ou qu'on fait changer ſenſiblement ſa viteſſe, par l'addition ou le retranchement de quelques voiles dans les routes obliques. Le Marin eſt trompé ici par le mouvement du Vaiſſeau préciſément de la même maniere que l'eſt le Sectateur de Ptolomée par le mouvement de la Terre. Comme il faut toujours quelque tems pour embraſſer une nouvelle route, ou pour orienter les voiles, on s'imagine que c'eſt le vent qu'on accuſe encore d'une plus grande inconſtance que celle qu'il a effectivement, qui a changé dans cet intervalle; & c'eſt ce qui eſt cauſe qu'on a navigé juſqu'à préſent, ſans rien ſoupçonner de cette particularité du mouvement du ſillage. Fig. 83.

Mais ce qui eſt tout-à-fait heureux, & ce qui peut paſſer pour une eſpece de paradoxe, c'eſt que pendant que nous ſommes en Mer, & que tout contribue à nous tromper; pendant que nous jettons inutilement la vûë autour de nous, pour trouver quelque choſe de fixe; pendant que tout nous paroît ſe mouvoir, & que nous ne pouvons pas démêler le réel de l'apparent, pendant enfin que nous ignorons & la viteſſe abſolue du vent, & la direction même ſelon laquelle il ſe meut; nous n'avons qu'à meſurer l'angle apparent d'incidence & la viteſſe apparente du vent, & nous ſerons en état de découvrir la vraye impulſion que ſouffrent les voiles, comme ſi tous ces élemens n'étoient pas alterés. L'angle d'incidence apparent ou relatif ſera l'angle F*c*G formée par la voile & par la direction apparente *c*G du vent; pendant que *c*G ſera la viteſſe apparente du vent, ſa viteſſe relative par raport au corps du Vaiſſeau, ou celle qu'on trouveroit, ſi on jettoit au vent des duvets ou des flocons de laine. Cette viteſſe relative *c*G qu'à le vent par raport au Navire, eſt comme on le voit bien differente de celle FG qu'il a par raport à la voile; parce que celle-ci eſt dépendante de la ſituation particuliere de la voile. Mais le produit du quarré du ſinus

Fig. 83. de l'angle d'incidence apparent FcG par le quarré de la viteſſe apparente cG, ſera toujours préciſément égal au produit du quarré du ſinus du premier angle d'incidence VCE par le quarré de la premiere viteſſe reſpective FG, de celle qui eſt reſpective par raport à la voile; ſecond produit qui exprime, ainſi que nous l'avons vû, la grandeur de l'impulſion.

Il ſuffit, pour s'aſſurer de l'égalité parfaite de ces deux produits, de conſiderer que dans le triangle GFc, le ſinus de l'angle F qui eſt égal à l'angle VCE, eſt à cG, comme le ſinus de l'angle FcG eſt à FG; car il ſuit de-là que le produit ou le rectangle du ſinus de l'angle F, ou de l'angle VCE par FG, eſt égal au produit du ſinus de l'angle FcG par cG; & ces deux produits étant égaux, leurs quarrés le ſeront également.

Ainſi nous avons deux différentes expreſſions de l'effort du vent ſur la voile, & chacune aura ſon utilité. La premiere, dont il eſt, ce me ſemble, plus naturel de ſe ſervir dans les ſpéculation de Manœuvre, conſiſte à multiplier le quarré du ſinus de l'angle VCE par le quarré de FG; le quarré du ſinus de l'angle vrai d'incidence par le quarré de la viteſſe reſpective du vent, non pas eu égard au Vaiſſeau, mais eu égard à la voile. La ſeconde expreſſion qui me paroît préférable, lorſqu'il s'agit effectivement de pratique & qu'on eſt en Mer, c'eſt de prendre le produit du quarré du ſinus de l'angle d'incidence apparent FcG par le quarré de la viteſſe apparente cG du vent. Ces deux expreſſions ſont parfaitement équivalentes; & ſi elles n'apprennent pas la quantité abſolue de l'effort, comme on peut l'apprendre par l'Anémometre, elles nous marqueront au moins toujours le raport ſelon lequel ces efforts changent.

III.

Les flammes & les giroüetes ne donnent, lorſqu'on eſt à terre, que très-imparfaitement la direction du vent; de même

même qu'en Mer elles ne donnent qu'imparfaitement la direction apparente ou relative. Je ne sçache rien qui indique mieux cette direction que ces instrumens de papier ou de toile, qui étant attachés à une longue ficelle, se soutiennent en l'air par le choc du vent, & servent de jeu aux enfans, en même tems qu'ils peuvent être un sujet de méditation pour les Mécaniciens. Ces instrumens en Mer ne montreroient encore par la situation de la ficelle qui les retient, que la direction relative du vent, mais avec précision; & les remarques précedentes mettroient en état de découvrir la direction réelle ou absolue qu'il est utile & quelquefois nécessaire de connoître, quand ce ne seroit que pour réduire en pratique les differentes régles de Manœuvre que nous sçavons. Dans le triangle obliqu'angle CcG, l'angle CcG que forme la route Cc avec la direction apparente cG est toujours donné. On aura de plus par les régles du Pilotage, le côté Cc qui est la viteſſe actuelle du Vaisseau; & il ne sera pas difficile de mesurer la viteſſe apparente cG du vent, ou de la conclure de l'impulsion que recevra une surface d'une étendue connue. Résolvant le triangle, on découvrira l'angle requis G, qui sera la quantité dont il faudra corriger la direction apparente cG, indiquée par les pavillons & les giroüettes, pour avoir la vraye direction VG. Dans les cas où il ne sera pas besoin d'une la grande précision, on pourra résoudre le triangle CGc à vûë d'œil, en se contentant de supoſer que la viteſſe absolue CG du vent est trois ou quatre fois plus grande que celles Cc du Vaisseau, selon la diverse obliquité de la route. Fig. 82.

Il est à propos de bien remarquer qu'on se trompe toujours dans le même sens, lorsqu'on prend la direction apparente du vent pour la direction réelle. On croit toujours que le vent est plus voisin de la proüe qu'il ne l'est effectivement. Ainsi lorsqu'on single au plus *près* ou *à la bouline*, on ne pince jamais tant le vent qu'il paroît qu'on le fait, à en juger par les giroüettes ou par les flammes. J'ai même reconnu quelquefois qu'on ne gagnoit du tout point, lorſ-

qu'on penſoit faire des *bordées* très-avantageuſes. On s'imaginoit avancer vers l'origine du vent : mais on ne faiſoit effectivement de part & d'autre que des routes ou des bordées perpendiculaires à ſa direction réelle.

CHAPITRE IV.

De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaiſſeaux & la ſituation de leurs Voiles

I.

* Voyez l'art. 4. du dernier chapitre.

NOUS avons vû dans la Section précédente * que l'impulſion directe de l'eau ſur laproüe entiere, eſt toujours repréſentée par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$, pendant que l'impulſion latérale, dans le ſens perpendiculaire à l'axe, l'eſt par $\frac{2s\sigma}{n^2}B$; quelque ſoit l'obliquité de la route, ou la direction ſelon laquelle ſe fait le choc. A deſigne, comme on le ſçait, l'impulſion ſelon l'axe pour la route directe, ou pour le cas où il n'y a point de dérive; B la plus grande impulſion latérale que ſouffre la proüe dans les routes obliques de 45 degrés, & s marque le ſinus de l'obliquité de chaque route particuliere ou de l'angle de la dérive, & σ ſon ſinus de complement, pendant que n indique le ſinus total. Ces impulſions particulieres A & B ſervent à former les impulſions directes $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$ & latérales $\frac{2s\sigma}{n^2}B$ pour tous les autres cas : & ſi pour compoſer ces deux forces on prend dans le ſens de la quille depuis C juſqu'en K (Fig. 84.) l'eſpace CK pour repréſenter la premiere ou l'impulſion directe, & ſur la perpendiculaire CL l'eſpace CL pour repréſenter la ſeconde force ou l'impulſion relative ſelon le ſens latéral, & que nous achevions le rectangle KCLM, ſa diagonale CM nous marquera la quantité & la direc-

Fig. 84.

Digitized by Google

tion de l'impulsion entiere selon le sens horisontal. C'est à cette ligne qu'il faut que la voile DE soit perpendiculaire ; afin que les efforts du vent selon CF, & de l'eau selon CM, puissent, comme nous l'avons expliqué dans le premier Chapitre de la Section précédente, se détruire mutuellement, quant au sens horisontal, & le Vaisseau avancer d'un mouvement parfaitement uniforme. Fig. 84.

Mais la voile DE étant perpendiculaire à la direction CM du choc absolu de l'eau, si on prend CO pour représenter le sinus total (n) & qu'on lui tire dans le plan de l'horison la perpendiculaire EN, cette ligne coupera la voile ou son prolongement dans le point N ; nous aurons OH pour la tangente de l'obliquité de la route ou de l'angle OCH de la dérive, tangente que nous désignerons par m ; & nous aurons en même tems ON que nous nommerons t, pour la tangente de l'angle OCN que fait la voile avec la quille. Cela supposé, nous considérerons que le triangle rectangle CON est semblable au triangle MKC, & que nous pourrons faire cette analogie : l'impulsion latérale de l'eau CL ou KM qui est égale à $\frac{2rr}{n^2}$ B, est à l'impulsion directe CK $= \frac{r^2}{n^2}$ A $+ \frac{s^2}{n^2}$ B, comme le sinus total CO $= n$ est à la tangente ON (t) de l'angle que fait la voile avec la quille ; & nous aurons l'équation $t = \frac{n^2 A}{2rB} + \frac{ns}{2r}$ qui se réduit à $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2}m$, lorsqu'on substitue à la place du raport $\frac{s}{r}$ du sinus de l'angle de la dérive & de son sinus de complement, le raport $\frac{m}{n}$ qui lui est égal, de la tangente du même angle & du sinus total. Or nous aurons de cette sorte une expression très-simple & très-générale de la relation qu'il y a pour les prouës de toutes les figures, entre la tangente t de l'angle que fait la voile avec la quille & la tangente m de l'obliquité de la route. Il est vrai qu'il reste à connoître ou les quantités même A & B, ou au moins leur raport $\frac{A}{B}$. On peut les

Fig. 84. découvrir assez aisément par l'examen de la figure de la proüe, comme on l'a vû dans le Chapitre VI. de la Section précédente. Mais il sera plus commode de se borner à en connoître le seul raport, & de consulter pour cela l'expérience, en cherchant une seule fois pour toutes, la quantité de la dérive pour une certaine disposition de voiles, comme le faisoit M. Renau.

II.

Il n'y a en effet, lorsqu'on navige proche de Terre, qu'à remarquer le point de la côte qui paroit toujours au même rumb de vent, pendant que tous les autres points en changent sans cesse, à mesure qu'on avance ; & on aura la vraie direction que suit le Vaisseau. Cette direction sera différente de la quille, si les voiles sont orientées obliquement par raport à la longueur du Navire, & la quantité de la dérive sera connuë pour la disposition actuelle des voiles. On pourra découvrir cette même quantité de la dérive de plusieurs autres manieres. Les Marins se contentent, par exemple, presque toujours de prendre pour la vraie route du Navire la trace qu'il laisse derriere lui dans l'eau, & ils mesurent avec une Bousole ou avec quelqu'autre instrument, l'angle que fait cette trace avec la quille. Or supposons que c soit la tangente de cet angle de dérive actuellement mesuré, & b la tangente de l'angle que fait la voile avec la quille ; mettant c & b à la place de m & de t dans l'équation générale $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2}m$, nous la changerons en $b = \frac{n^2 A}{2cB} + \frac{1}{2}c$, qui nous fournit $\frac{A}{B} = \frac{2bc - c^2}{n^2}$, & nous fait connoître le raport $\frac{A}{B}$ dont nous avions besoin. Substituant ensuite sa valeur dans l'équation générale, on aura la formule $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2}m$ par le moyen de laquelle on pourra trouver toujours aisément la disposition que doit avoir la voile pour tous les autres angles de dérive. On peut avec la même facilité resoudre

Digitized by Google

le Problême inverſe : c'eſt-à-dire, trouver la quantité de la dérive, lorſque la diſpoſition de la voile eſt donnée. Il n'y a pour cela qu'à traiter m comme inconnuë dans l'équation $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2}m$, & on en déduira la formule $m = t \pm \sqrt{t^2 + c^2 - 2bc}$. Ainſi on voit que la choſe eſt preſque ramenée à cette premiere ſimplicité où M. Renau n'avoit cru la mettre, que parce qu'il ſe trompoit. Fig. 84.

Si pendant que la voile fait avec la quille un angle de 60 degrés, on trouve que la dérive eſt de 4 degrés, il n'y aura qu'à mettre continuellement dans notre formule les tangentes de 4 & de 60 degrés, à la place de c & de b; & faiſant enſuite la tangente t de l'angle de la voile & de la quille de quelle grandeur on voudra, on trouvera la dérive qui y convient. C'eſt de cette façon qu'on a calculé la table ſuivante ; & on y a mis différentes colomnes de dérive, afin de pouvoir l'étendre à toutes les diverſes figures que pourra avoir la prouë. Supoſé que la dérive au lieu de ſe trouver de 4 degrés ſe trouve de 8 degrés 46′ lorſque la voile fait un angle de 60 degrés avec la quille, ce ne ſera pas la ſeconde colomne, mais la quatriéme qui conviendra au Navire dont il s'agit. On pourra même, lorſque les Vaiſſeaux s'inclinent conſidérablement, ou toutes les fois que l'eau ne frapera pas ſur les mêmes parties de la carène, examiner la dérive dans chacun de ces états, & voir la colomne qu'il faut choiſir pour la mieux repréſenter.

Digitized by Google

TABLE GENERALE

Des angles de dérive des divers Vaiſſeaux, pour tous les divers angles que fait la Voile avec la Quille.

Angles de la Voile & de la quille.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.
D.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.
90	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0
80	1. 12	1. 49	2. 35	3. 2	3. 36	3. 48
75	1. 51	2. 47	3. 57	4. 39	5. 30	5. 49
70	2. 30	3. 48	5. 24	6. 22	7. 33	7. 59
68	2. 47	4. 13	6. 1	7. 5	8. 21	8. 54
66	3. 4	4. 30	6. 39	7. 50	9. 16	9. 52
64	3. 22	5. 8	7. 20	8. 38	10. 14	10. 52
62	3. 40	5. 34	8. 2	9. 29	11. 16	11. 56
60	4. 0	6. 7	8. 46	10. 22	12. 21	13. 4
58	4. 21	6. 40	9. 33	11. 19	13. 29	14. 17
56	4. 43	7. 14	10. 23	12. 20	14. 42	15. 35
54	5. 7	7. 51	11. 18	13. 27	16. 5	17. 5
52	5. 32	8. 30	12. 17	14. 38	17. 34	18. 39
50	5. 57	9. 13	13. 22	15. 58	19. 14	20. 28
49	5. 11	9. 35	13. 56	16. 40	20. 9	.. ..
48	6. 25	10. 59	14. 33	17. 27		
47	6. 40	10. 25	15. 13	18. 18		
46	6. 56	10. 52	15. 56	19. 13		
45	7. 13	11. 19	16. 42	.. ..		
44	7. 31	11. 49	17. 30	.. ..		
43	7. 50	12. 21	18. 23			
42	8. 10	12. 55	.. ..			
41	8. 30	13. 31	.. ..			
40	8. 51	14. 10	.. ..			
39	9. 14	14. 54	.. ..			
38	9. 40	15. 41				
37	10. 8	16. 33				
36	10. 38	.. ..				
35	11. 9	.. ..				
34	11. 44	.. ..				
33	12. 28					
32	13. 8					
31	13. 59					
30	14 58					

Digitized by Google

Fig. 84.

III.

Nous pouvons exprimer auſſi très-aiſément par le moyen d'une figure la relation des deux angles dont il s'agit. Il y a même raport de CO à OF ou de CT à TP, lorſque TP eſt parallele à OF, que de l'impulſion directe CK $= \frac{s^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$ à l'impulſion latérale CL ou KM $= \frac{2sr}{n^2} B$; ou que de $\frac{r}{2s} A + \frac{s}{2r} B$ à B, qui ſont les deux impulſions diviſées également par $2s\sigma$ & multipliées par n^2; ou que de $\frac{n}{2m} A + \frac{m}{2n} B$ à B (en mettant à la place de $\frac{r}{s}$ la quantité $\frac{n}{m}$ qui lui eſt égale,) ou qu'enfin de $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ à m (en multipliant de part & d'autre par m & en diviſant par B.) Mais puiſque CT eſt à TP comme $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ eſt à m, il eſt évident que ſi nous conduiſons juſqu'à CF la parallele HP à la quille, afin de faire PT égale à OH $= m$, la partie CT de l'axe CO ſera égale à $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$; ce qui montre que cette partie CT eſt formée de deux portions, dont l'une CQ exprimée par $\frac{nA}{2B}$, eſt conſtante dans toutes les routes, & l'autre QT exprimée par $\frac{m^2}{2n}$ eſt variable & proportionelle au quarré de la tangente m de la dérive: & elle eſt par conſéquent égale aux abſciſſes QT d'une parabole SQPR dont $2n$ ou le double de CO eſt le paramétre, & dont les ordonnées TP ſont égales aux tangentes correſpondantes OH des angles de dérive. Auſſi-tôt donc qu'on aura trouvé par l'expérience dont nous avons parlé, l'angle de la dérive HCO pour une certaine diſpoſition de voile DE, il n'y aura qu'à conduire de l'extrémité H de la tangente de cet angle une parallele HP à la quille juſqu'à la rencontre de la perpendiculaire CF à la voile, & on aura le point P par lequel doit paſſer la parabole SPR dont CO eſt l'axe & qui doit avoir le double de CO pour paramétre. On peut ſans doute ſe diſpenſer d'avertir que pour trouver le ſommet Q de

Digitized by Google

Fig. 84. cette ligne courbe, il n'y a qu'à faire l'eſpace TQ égal à une troiſiéme proportionnelle au double de CO & à TP. Enfin la parabole SPR étant tracée, elle ſervira pour toutes les routes & pour toutes les diſpoſitions de voile : & tous les points correſpondants P & H ou *p* & *h* dans leſquels les perpendiculaires CF à la voile couperont la parabole, & dans leſquels les routes CH couperont la droite NF ſeront toujours ſitués ſur des paralleles PH à l'axe CO. Il eſt vrai que la parabole RQS ne convient qu'à un ſeul Navire pour toutes ſes routes : mais rien n'empêche de tracer pluſieurs autres paraboles égales & aſymptotiques ; ce qui rendra la figure 84 univerſelle.

CHAPITRE V.

Des différentes viteſſes que prend le Vaiſſeau dans les routes obliques.

I.

L'Opération, ſans être beaucoup plus difficile, ſera ſeulement plus longue, lorſqu'on voudra trouver la relation qu'ont entr'elles les diverſes viteſſes avec leſquelles ſingle le Navire. Il eſt évident que ſi l'ordonnée PT de la parabole SQR (Fig. 84.) au lieu d'être égale à OH = *m*, étoit égale à l'impulſion latérale $\frac{25r}{n^2}$ B que ſouffre la proüe, la ligne CP repréſenteroit l'impulſion abſolue ; puiſqu'il y a même raport de TP à CP que de KM ou CL à CM. Mais il n'y a du point O qu'à abaiſſer la perpendiculaire OX ſur la route CH ; cette perpendiculaire ſera le ſinus que nous avons indiqué par *s*, de l'obliquité de la route, & CX ſera le ſinus (σ) de complement : & ſi du point X on abaiſſe la perpendiculaire XZ ſur la quille prolongée ; cette perpendiculaire ſera égale à $\frac{rr}{n}$ ($= \frac{XO \times CX}{CO}$;) puiſqu'on

puiſqu'on aura cette analogie ; $CO = n \mid CX = \sigma \mid\mid XO = s \mid XZ = \frac{s\sigma}{n}$. Ainſi ſi cette ſeconde perpendiculaire XZ n'eſt pas égale à l'impulſion latérale $\frac{2\sigma\sigma}{n^2}$ B, elle lui ſera au moins toujours proportionelle, & pourra la repréſenter : & il ſuffit donc de conduire du point X une parallele XY juſqu'à la rencontre Y de la direction CF de l'effort de la voile ; & la partie retranchée CY de cette direction repréſentera l'impulſion abſolue de l'eau. Fig. 85.

Si on fait la même choſe pour toutes les autres routes, on aura une infinité de points Y qui formeront une courbe VQ*v*&, laquelle ſera la *limitatrice* de toutes les impulſions abſolues CY que ſouffre la proüe entiere dans le ſens de l'horiſon. Cette courbe, comme il eſt aſſez facile de le prouver, eſt une ellipſe dont le grand axe V*v* eſt égal à CO moitié du parametre de la parabole ; & ſon ſecond axe Q& eſt terminé entre le ſommet Q de la parabole, & le point & qui diviſe CO par la moitié.

Cette ellipſe ſe réduit à une ſeule ligne droite, lorſque l'axe Q& ſe réduit à rien, ou lorſque le ſommet Q de la parabole, eſt exactement au milieu de CO ; & c'eſt ce qui arrive lorſque la proüe a cette proprieté particuliere, dont nous avons parlé ci-devant, de recevoir de la part de l'eau toujours la même impulſion ſelon ſon axe, quelque ſoit la route qu'elle ſuive. Nous avons ſpécifié ci-devant les circonſtances qui conferent cette proprieté à la proüe ; & alors les impulſions abſolues ſont comme les ſecantes des angles FCO que fait la perpendiculaire à la voile avec la quille. Un autre cas qui mérite quelque attention, quoiqu'il faſſe un cas extréme, ſeulement poſſible géométriquement, c'eſt lorſque la proüe eſt infiniment aigue, & que l'impulſion, ſelon le ſens de l'axe, eſt nulle dans la route directe ; alors le point Q tombe en C, & le grand axe V*v* de l'ellipſe eſt exactement double du petit axe. Après tout les impulſions abſolues ne ſont repréſentées par CY que dans la ſupoſition que la viteſſe du Na-

Fig. 84. vire est la même : & si on veut avoir égard aux diverses promptitudes du sillage, & qu'on en désigne la viteſſe par v, il faut multiplier CY par v^2, puiſque toutes les autres circonſtances étant les mêmes, les impulſions changent comme les quarrés des viteſſes. Tout conſideré, la réſiſtance abſoluë de l'eau contre la proüe, ſera donc exprimée par $v^2 \times CY$, & c'eſt cette réſiſtance qui doit être égale à l'effort que fait le vent ſur les voiles dans le ſens directement contraire.

II.

Si nous déſignons par a la viteſſe abſoluë du vent, par p le ſinus de l'angle d'incidence que fait la vraie direction avec la voile, & par q le ſinus de l'angle de la voile avec la route ; nous aurons $\frac{qv}{p}$ pour la partie de la viteſſe que le vent perd par le mouvement ou par la ſuite du Vaiſſeau ; & $a - \frac{qv}{p}$ pour la viteſſe reſpective du vent. C'eſt ce qu'on voit avec évidence, en jettant les yeux ſur la Figure 83, & en ſe rapellant ce que nous avons dit au Chapitre III. La viteſſe abſoluë a du vent eſt repréſentée par l'eſpace CG ; mais le Vaiſſeau en parcourant l'eſpace Cc qui repréſente ſa viteſſe particuliere, ſa voile fuit le vent de la quantité CF, & pour trouver cette quantité, il n'y a qu'à faire cette analogie ; le ſinus p de l'angle F égal à l'angle d'incidence ECV eſt à la viteſſe $Cc = v$ du Navire, comme le ſinus q de l'angle ECc ou CcF que fait la voile avec la route, eſt au côté $CF = \frac{qv}{p}$; & ſi on retranche CF de CG, on aura $a - \frac{qv}{p}$ pour la viteſſe reſpective du vent. Mais les impulſions des fluides étant comme les produits du quarré de leur viteſſe par le quarré du ſinus de leur angle d'incidence, multipliés par l'étenduë de la ſurface & par la denſité du fluide ; ſi nous prenons E pour repréſenter, non pas ſeulement l'étenduë de la voile, mais cette étenduë appliquée à la denſité de l'air, nous aurons

Digitized by Google

$a - \frac{qv}{p} \times \frac{p^2}{n^2}$ E pour l'effort absolu du vent sur les voiles. Fig. 84. Nous multiplions l'étenduë E, non-seulement par le quarré de la viteſſe reſpective du vent, mais auſſi par $\frac{p^2}{n^2}$ qui eſt proportionel au quarré du ſinus p de l'angle d'incidence, parce que cet effort depend de toutes ces quantités : & comme il doit être égal à la réſiſtance de l'eau contre la prouë, nous avons l'équation $v^2 \times CY = a - \frac{qv}{p} \times \frac{p^2}{n^2}$ E, dont on tire $v\sqrt{CY} = a - \frac{qv}{p} \times \frac{p}{n}\sqrt{E}$, ou $nv\sqrt{CY} = ap - qv\sqrt{E}$ & $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. De ſorte que nous avons pour toutes les routes la viteſſe du Navire exprimée en grandeurs connuës ou en grandeurs que nous pouvons toujours connoître avec facilité.

III.

Il eſt effectivement très-aiſé de découvrir par une ſeule expérience & indépendamment des autres moyens que nous avons déja donnés, la relation de CY (Fig. 84.) & de l'étenduë E des voiles. L'expreſſion générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ des viteſſes du Navire, ſe réduit à $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$ dans le cas de la route directe, lorſque CY devient CQ, & que le ſinus p de l'angle d'incidence du vent eſt égal au ſinus total n, de même que le ſinus q de l'angle que fait la voile avec la route. Mais de $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$, on en déduit $v\sqrt{CQ} = a\sqrt{E} - v\sqrt{E}$, & l'analogie $a - v | v || \sqrt{CQ} | \sqrt{E}$. Ainſi il n'y a qu'à chercher une ſeule fois dans la route directe la viteſſe reſpective $a - v$ du vent par raport au Vaiſſeau ; en laiſſant aller au vent quelques duvets ou quelqu'autres corps très-legers, & en meſurant l'eſpace qu'ils parcourent dans le Vaiſſeau dans un certain tems. Si on met après cela cette viteſſe reſpective $a - v$ au premier terme d'une proportion dont la viteſſe même v du Vaiſ-

Digitized by Google

Fig. 84. ſeau ſera le ſecond qu'on connoîtra par les moyens que fournit le Pilotage, il ne reſtera plus qu'à mettre la racine quarrée de CQ au troiſiéme terme, & on aura au quatriéme la racine quarrée de l'étenduë E qu'il faudra introduire dans la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. Supoſé que k exprime combien de fois la viteſſe abſoluë du vent eſt plus grande que celle que reçoit le Navire dans la route directe, on aura $\sqrt{E} = \frac{1}{k-1}\sqrt{CQ}$, & $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\frac{n\sqrt{CY}}{k-1} + q\sqrt{CQ}}$, qui ſe réduira à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{1n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, lorſque la viteſſe abſoluë du vent ſera triple de celle du Navire dans la route directe; à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{3n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$ lorſque la viteſſe abſoluë du vent ſera quadruple, &c. Expreſſions qui ſont toutes extrémement ſimples, & qui ne contiennent que des grandeurs que la figure nous offre pour ainſi dire.

IV.

Nous croyons devoir inſiſter un peu ſur la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, pour faire remarquer que généralement parlant, il s'en faut beaucoup que les viteſſes du navire ſoient proportionelles, comme on ſe l'imagine ordinairement, aux racines quarrées $\sqrt{E}$ de l'étenduë des voiles, lorſque toutes les autres circonſtances ſont les mêmes. Le P. Fournier croyoit qu'elles étoient proportionelles aux étenduës mêmes; de ſorte que quatre fois plus de ſurface de voile devoit faire marcher le vaiſſeau quatre fois plus vite. Je ſuis extrêmement étonné, je l'avouë, que l'expérience ne fit pas ſentir à cet Auteur qui paſſoit une partie de ſa vie ſur Mer, combien il ſe trompoit. Les Mathématiciens qui ſont venus depuis & qui ont examiné la choſe avec plus de ſoin, ont penſé que les viteſſes du ſillage n'étoient que comme les racines quarrés des ſurfaces des voiles; de ſorte qu'ils ont prétendu que quatre fois plus de ſurface, au lieu de faire ſingler le Navire quatre fois plus

Digitized by Google

vite, ne lui procuroit que deux fois plus de viteſſe. C'eſt ce qui aproche beaucoup plus d'être vrai; mais ce qui ne l'eſt cependant encore, que lorſqu'on ſuppoſe la viteſſe du vent infinie par raport à celle du ſillage. Lorſqu'on admet cette ſupoſition & que le Navire marche deux fois plus vite, il éprouve quatre fois plus de réſiſtance de la part de l'eau; cette réſiſtance eſt comme le quarré de la viteſſe, & pour la vaincre il ſuffit de faire les voiles quatre fois plus grandes. Fig. 84.

Mais que la viteſſe du ſillage ſoit comparable à celle du vent, comme elle l'eſt en effet, ce n'eſt plus la même choſe: il ne ſuffit pas de donner aux voiles quatre fois plus de ſurface; parce qu'outre la grandeur qu'il faut leur donner pour vaincre la réſiſtance, il faut leur en donner encore pour réparer la diminution que ſouffre l'impulſion du vent par la fuite plus rapide du Navire. Supoſé qu'un Vaiſſeau prenne le tiers de la viteſſe du vent & qu'il s'agiſſe enſuite de le faire aller deux fois plus vite ou de lui faire recevoir les 2 tiers de la viteſſe du vent; il faut d'abord rendre ſa voile quatre fois plus grande, puiſque le Navire trouvera quatre fois plus de réſiſtance de la part de l'eau: mais la viteſſe reſpective du vent étant enſuite deux fois moindre, & ſon impulſion particuliere quatre fois plus petite, il faudra encore augmenter l'etenduë des voiles quatre fois. Ainſi il faudra leur donner non pas ſimplement quatre fois, mais ſeize fois plus de ſurface, pour faire doubler le ſillage. En un mot, *lorſqu'on veut faire croître la viteſſe de la marche dans un certain raport, il ne ſuffit pas d'augmenter l'etenduë des voiles ſelon le quarré de ce raport, il faut encore toujours l'augmenter en même raiſon que le quarré de la viteſſe reſpective du vent ſe trouve plus petite.* On voit après cela combien les maximes ordinaires de manœuvre ſont défectueuſes au moins à cet égard: & on peut remarquer auſſi que s'il a été facile par une diſpoſition même groſſiere de toutes les parties du Navire de donner au ſillage une certaine rapidité, il eſt maintenant extrêmement difficile de procurer à cette premiere viteſſe qui a couté ſi peu, une

Digitized by Google

Fig. 84. augmentation considerable. C'est un terme qu'on ne se résoudra peut être jamais à passer, & auquel on ne parviendra même toujours qu'avec quelque peine, que de faire prendre aux Frégates legeres dans leur marche la moitié de la viteſſe abſoluë du vent

V.

Par un bonheur ſur lequel on ne pouvoit pas compter, car la choſe n'a pas été examinée, cette autre maxime ſe trouve vraie ; *que la viteſſe du ſillage eſt toujours proportionelle au ſinus de l'angle d'incidence réel du vent ſur les voiles, lorſqu'on reçoit le vent plus ou moins obliquement & que les autres circonſtances ſont les mêmes.* Il faut bien remarquer que nous ne diſons pas l'angle d'incidence aparent : car la regle n'eſt exacte que pour l'angle d'incidence vrai, qui par malheur n'eſt viſible que ſur le papier ou dans les figures. Dans la formule $v = \frac{apVE}{nV\overline{CY} + qVE}$, on s'aperçoit que v eſt effectivement proportionnelle à p. Car la voile faiſant toujours le même angle avec la route, le ſinus q ſera conſtant, de même que la quantité CY ; de ſorte que la valeur de v ne change que par le changement de p & dans le même raport ; ſelon qu'en plaçant differemment le Navire, ſa voile reçoit le vent plus ou moins perpendiculairement. Mais il arrive ici comme dans la plûpart des autres recherches qui ſe font par le moyen de l'Algebre ; qu'on trouve ſeurement la vérité & qu'on ne la voit pas : car ce n'eſt pas la voir que de n'en pas apperçevoir la cauſe ou la raiſon. Elle ſe montrera à nous cette raiſon, ſi nous jettons les yeux ſur la figure 86 qui repréſente le Vaiſſeau en deux differentes ſituations par raport au vent, & la voile toujours diſpoſée de même maniere par raport à la quille.

Lorſque le Vaiſſeau eſt dans la premiere ſituation, il ſingle ſur la route Cc, & en paſſant de C en c il fait perdre au vent la partie de viteſſe CF retranchée par cF qui eſt parallele à la voile DE & qui marque ſa ſituation lorſque le Navire eſt parvenu en c. La voile eſt donc frappée avec le

Digitized by Google

surplus FG de la viteſſe du vent. Dans la ſeconde diſpoſition, la route eſt Cx : mais le Vaiſſeau en paſſant de C en x fait perdre au vent préciſément la même partie de viteſſe CF par raport à la voile. C'eſt par cette raiſon que la viteſſe du ſillage ne dépend que du ſinus de l'angle vrai d'incidence, ſans que la diverſité de cette angle apporte d'autre difference. Les viteſſes Cc & Cx étant proportionelles aux ſinus des angles d'incidence VCE & VCe, elles le ſont également aux ſinus des Angles CFc & CFx qui leur ſont égaux : mais auſſi-tôt qu'il y a même raport du ſinus de l'angle CFc à Cc dans le triangle CFc, que du ſinus de l'angle CFx à Cx dans le triangle CFx ; & que les angles en c & en x ſont égaux, puiſque la voile fait toujours le même angle avec la route, le côté CF doit être exactement le même dans les deux triangles. Fig. 86.

Ainſi lorſqu'on change la ſituation entiere du Vaiſſeau par raport au vent, pourvû qu'on laiſſe aux voiles la même diſpoſition par raport au Navire, la viteſſe reſpective du vent par raport à la voile ne ſouffre aucun changement, & dans ce cas les regles ordinaires de manœuvre ne doivent donc pas être troublées. Supoſé que le ſinus de l'angle vrai d'incidence du vent, ſoit deux ou trois fois plus grand, le Navire ſinglera deux ou trois fois plus vite. Car ſi la réſiſtance qu'éprouve la prouë de la part de l'eau, eſt enſuite quatre fois ou neuf fois plus grande, ou ſi elle eſt comme le quarré de la viteſſe du ſillage, l'impulſion du vent ſur la voile qui eſt la cauſe du mouvement & qui eſt proportionelle au ſeul quarré du ſinus de l'angle d'incidence, puiſque la viteſſe reſpective FG eſt ici toujours la même, ſera auſſi quatre fois ou neuf fois plus forte. Mais la proportion ne ſubſiſte pas, nous le repetons, entre les viteſſes du Navire & les ſinus des angles d'incidence aparens : parce que l'impulſion ne dépend pas moins des viteſſes apparentes du vent cG & xG que de ces ſinus, & que la viteſſe aparente du vent eſt ſujette à changer par le changement de la route.

Digitized by Google

Pg. 86.

VI.

Il ne nous reſte plus pour épuiſer les remarques qui ſe preſentent ſur les viteſſes du Navire, qu'à expliquer comment il ſe peut faire que le ſillage ſoit plus rapide, lorſqu'on reçoit un peu le vent de côté, que lorſqu'on ſingle exactement vent en poupe. Tous les Marins penſent unanimement de même que les Mathématiciens qui ont examiné ce ſujet, que cette proprieté ne tire ſon origine que de ce qu'en prenant un peu le vent de côté toutes les voiles deviennent utiles, & que celles de l'avant qui étoient auparavant couvertes par celles de l'arriere, commencent auſſi à avoir part à l'impulſion. Mais il eſt encore une autre cauſe qui quoique plus cachée & très-ſecrette, n'eſt pas moins réelle, & qui malgré ce qu'on s'imagine généralement, peut faire joüir le Navire de la même proprieté, quoiqu'il n'ait qu'un ſeul mât & qu'une ſeule voile, comme nous le ſupoſons toujours dans cette Section. Si le vent dans tous les cas frape la voile DE (Fig. 84.) perpendiculairement, l'expreſſion générale $\frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$ des viteſſes v du Navire, ſe change en $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$, qui ſe réduit dans la route directe à $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E}}$. Et il eſt facile de remarquer que quoique la premiere partie du dénominateur de cette derniere expreſſion devienne plus grande, en ſe changeant en $n\sqrt{CY}$, lorſque la route de directe devient oblique, il peut cependant arriver que le dénominateur entier diminuë; parce que la ſeconde partie $n\sqrt{E}$ deviendra plus petite par le changement du ſinus total n en q, ou par la diminution de l'angle que fait la voile avec la route: changement qui doit produire d'autant plus d'effet qu'il ſe multiplie par la racine quarrée de l'étenduë E de la voile qu'on peut ſupoſer auſſi grande qu'on veut. Or ſi le dénominateur entier diminue, il n'en faut pas davantage pour que la viteſſe v devienne plus grande; elle croîtra dans le même raport que le dénominateur aura diminué. En un mot, pour que la

la viteſſe $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$ qu'à le Navire BA dans la route oblique CH, ſoit plus grande que la viteſſe $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E}}$ qu'il a dans la route directe, il ſuffit que $n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E} > n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}$, ou que $\sqrt{E} > \frac{n}{n-q}\times\overline{\sqrt{CY}-\sqrt{CQ}}$.

La poſſibilité de ce paradoxe ſe trouve de cette ſorte ſuffiſamment établie ; il ne reſte qu'à en donner la raiſon phyſique. Lorſque le Navire ſingle vent en poupe, & qu'il fait beaucoup de chemin, toute ſa viteſſe eſt abſolument à retrancher de celle du vent ; & la voile eſt donc choquée avec moins de force. Lorſque le Navire ſuit au contraire une route un peu oblique, il peut aller auſſi vite & même beaucoup plus vite, & que néanmoins ſon mouvement ne retranche pas une ſi grande partie de la viteſſe abſolue du vent ; ce qui fera que la voile recevra une plus grande impulſion. Si, ſans changer la diſpoſition du Vaiſſeau BA par raport à la direction VG du vent dans la Fig. 86. on rend la voile exactement perpendiculaire à cette direction, la ligne *c*F deviendra auſſi perpendiculaire à GV, & alors la partie CF de la viteſſe abſolue CG du vent que le mouvement du ſillage rendra inutile, ſera beaucoup plus petite que la viteſſe même C*c* du Navire : aulieu que ſi la route C*c* tomboit exactement ſur la direction même CG, toute la viteſſe C*c* ſeroit à rabatre de celle du vent, & feroit par conſequent diminuer davantage la viteſſe relative FG avec laquelle la voile eſt frappée. Toutes ces differences deviendront inſenſibles, lorſque la viteſſe reſpective FG du vent ſera trop grande par raport à elles : mais elles ſe manifeſteront ou produiront dés effets marqués, auſſi-tôt que cette viteſſe ſera aſſez petite pour pouvoir en être conſiderablement alterée. C'eſt par cette raiſon qu'il ſuffit toujours pour qu'un Navire ſingle plus vite dans les routes un peu obliques que dans la directe, de faire enſorte, en augmentant l'etenduë de ſa voile, qu'il ſingle beaucoup plus vite dans l'une & dans les autres, ou qu'il ſingle plus vite dans toutes. Fig. 86.

Digitized by Google

Fig. 84.

VII.

Nous pouvons pouſſer le paradoxe encore plus loin, en y joignant une autre particularité incomparablement plus étonnante. Nous pouvons montrer, en attendant que nous donnions les moyens d'effectuer la choſe, que certains Navires peuvent aller dans quelques rencontres plus vite que le vent même. Le vent, lorſqu'il commence à nous incommoder par ſa force, fait 24 ou 25 pieds par ſeconde & parcourt 5 à 6 lieuës par heure: mais il n'eſt pas impoſſible que le Navire qui en eſt pouſſé faſſe alors ce chemin & même plus, quoique par la ſeule action de ſes voiles. S'il eſt queſtion de déterminer la direction de ſa route & la diſpoſition de ſa voile qui rendent ſa viteſſe v la plus grande qu'il eſt poſſible, il eſt évident, lorſqu'on jette les yeux ſur la formule $v = \frac{apV\text{E}}{nV\text{CY} + qV\text{E}}$ ou ſur ſon équivalente $v = \frac{apV\text{CQ}}{k-1 \times nV\text{CY} + qV\text{CQ}}$, qu'il faut d'abord augmenter le ſinus d'incidence p du vent ſur la voile, juſqu'à le rendre égal au ſinus total. Ainſi, quoique la voile ſoit ſituée obliquement par raport à la quille, il n'y aura toujours, comme nous l'avons ſupoſé dans l'article précédent, qu'à diſpoſer le Navire de maniere que ſa voile ſoit frapée perpendiculairement par le vent, pour procurer au ſillage la plus grande rapidité, autant qu'elle dépend de ce chef; ce qui nous donnera $v = \frac{anV\text{E}}{nV\text{CY} + qV\text{E}}$ ou $v = \frac{anV\text{CQ}}{k-1 \times nV\text{CY} + qV\text{CQ}}$. On voit en ſecond lieu, que ſi l'étenduë E des voiles étoit infinie, le premier terme $nV\text{CY}$ du dénominateur de l'expreſſion de la viteſſe v, deviendroit comme nul; ce qui reduiroit cette expreſſion à $v = \frac{an}{q}$: nouvelle formule qui nous aprendroit, ſi nous ne le ſçavions déja, que le Navire iroit alors auſſi vite que le vent dans la route directe. Mais ce qu'il ne faut pas manquer de conſiderer, c'eſt que la viteſſe v du ſillage augmenteroit encore & devien-

Digitized by Google

droit par conſéquent plus grande que celle a du vent, ſi on laiſſoit toujours la voile dans une ſituation perpendiculaire au vent, & qu'on fit embraſſer au Navire une route oblique: car q ſe trouvant moindre que n, la valeur $\frac{na}{q}$ de la viteſſe du ſillage ſe trouveroit plus grande que a. Fig. 84.

La ſingularité que nous annonçons n'eſt pas attachée au ſeul cas dans lequel l'étenduë de la voile eſt infinie. Car lorſque le ſinus q eſt moindre que le ſinus total, il ſe peut faire que le premier terme $n\sqrt{CY}$, ou $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY}$ du dénominateur de la valeur v, ne ſuplée qu'à peine, ou ne ſuplée pas à ce qui manque au ſecond terme, pour qu'il ſoit égal au facteur $n\sqrt{E}$ ou $n\sqrt{CQ}$ du numérateur; & dans ce dernier cas v ſera néceſſairement plus grande que a. Il ſuffit toujours pour cela dans notre formule $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, que k ne ſurpaſſe que très-peu l'unité, ou que le Navire prenne preſque toute la viteſſe du vent dans la route directe: car le terme $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY}$ ſera très-petit, & il n'empêchera pas que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$ ne ſoit moindre que $n\sqrt{CQ}$. En un mot, pour que le Navire avance dans pluſieurs routes obliques avec plus de viteſſe que n'en a le vent même; il ſuffit que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ} < n\sqrt{CQ}$ ou que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} < \overline{n-q}\sqrt{CQ}$; & on aura la premiere & la derniere de toutes ces routes, en faiſant $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} = \overline{n-q}\sqrt{CQ}$. Il ſera enfin très-facile de déterminer pour chaque Navire l'obliquité qui procure la plus grande de toutes ces viteſſes déja ſi grandes; puiſqu'il ne s'agira que de faire un *minimum* de la quantité $\overline{k-1}\, n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$, qui ne renferme que deux variables CY & q dont nous avons la relation.

Nous avons marqué d'avance la raiſon de ce paradoxe, lorſque nous avons parlé du premier dont celui ci n'eſt

qu'une extenſion. Le Navire, quoiqu'il marche réellement plus vite que le vent, en eſt cependant encore atteint & frapé; parce qu'il ne ſuit pas la même direction, & qu'il n'évite le choc que par une partie de ſa viteſſe. C'eſt ce qu'on verra d'une maniere ſenſible en jettant les yeux ſur la Figure 85, dans laquelle la direction du vent eſt repreſentée par VG & ſa viteſſe par CG; pendant que CH repréſente la route du Navire & C*c* ſa viteſſe. Cette derniere viteſſe eſt plus grande que la premiere, mais l'obliquité de la route C*c* eſt cauſe que le mouvement du ſillage ne rend inutile que la ſeule partie CF de la viteſſe du vent, & qu'il reſte encore la partie FG avec laquelle ſe fait l'impulſion. Ainſi il ſuffit de donner aſſez d'étenduë à la voile, afin de recompenſer en même tems le peu de viteſſe relative avec laquelle elle eſt frapée & le peu de denſité de l'air, pour qu'elle puiſſe entretenir la viteſſe C*c* du ſillage. Si le Navire embraſſoit une direction trop oblique, de même que s'il en prenoit une trop approchante de la directe; au lieu de parvenir en dehors du cercle GQ dont C eſt le centre, il ſe rendroit ſeulement en quelque point de ſa circonférence; ſa viteſſe ſeroit alors ſimplement égale à celle du vent: & ce ſeroient donc là les deux limites, dont nous avons parlé, & que nous ſommes en état de déterminer, entre leſquelles ſont renfermées toutes les routes comme C*c*, qui donnent lieu au paradoxe. Nous ne croyons pas qu'il ſoit néceſſaire de pouſſer cette explication plus loin; mais nous montrerons dans la ſuite, ainſi que nous nous y ſommes engagés, comment on peut faire enſorte, par des moyens qui ne ſont pas abſolument impraticables, que les Navires joüiſſent effectivement de cette proprieté extraordinaire*. Il eſt toujours utile de s'occuper de pareilles Recherches; quoiqu'on ne ſe propoſe pas d'aller réellement dans la pratique juſqu'au terme qui en eſt l'objet, & qu'on ſoit même réſolu de s'arrêter beaucoup en deçà.

Fig. 85.

* Voyez le Chap. 8. de la quatriéme Sect. art. 3.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

De la conſtruction des Tables des Viteſſes.

I.

ENfin, ſi on veut conſtruire une Table des viteſſes du Navire, le calcul dans lequel il faudra s'engager pour cela lorſqu'on ſe ſervira de la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k-1\times n\sqrt{CY}+\sqrt{CQ}}$, ne ſera jamais difficile. Nous nous ſommes contentés de chercher ici ces viteſſes pour trois diverſes diſpoſitions de voile par raport au Navire; parce que nous nous propoſons ſimplement de montrer la forme que nous ſouhaiterions qu'euſſent ces nouvelles Tables.

La premiere colonne marqueroit l'angle de la voile avec la quille, l'angle ECA (Fig. 86) & la ſeconde l'angle de la dérive ou l'obliquité de la route AC*c*. On a enſuite ſupoſé pour chaque de ces diſpoſitions, divers angles d'incidence VCE du vent ſur la voile, & on les a marqués dans la troiſiéme colonne. Dans la quatriéme on a mis les angles V*c*C de la direction réelle du vent avec la route, leſquels ſont toujours formés, comme il eſt évident, de la ſomme des trois précédens; la cinquiéme colonne marque la viteſſe du Navire à proportion de celle du vent qu'on a repreſentée par 300. Enfin les deux dernieres colonnes indiquent les angles aparens du vent avec la voile & avec la route. On a trouvé ces angles en reſolvant le triangle C*c*G par le moyen d'une figure, & en retranchant l'angle G que fait la direction aparente *c*G du vent avec la direction réelle CG, des angles vrais marqués dans la troiſiéme & la quatriéme colonne. De toutes ces quantités il n'y a que la premiere des viteſſes pour chaque route, qui engage à une opération un peu longue; nous venons de voir que toutes les autres diminuent comme les

Fig. 86.

Digitized by Google

ſinus des angles d'incidence vrais du vent ſur la voile. Il eſt vrai que la choſe ira un peu autrement, ſi le Navire a pluſieurs mâts & pluſieurs voiles; parce qu'il faudra faire attention à l'étenduë de la nouvelle partie des voiles de la proüe, qui ſera ſujette à l'impulſion, lorſqu'on rendra l'angle d'incidence plus petit. On peut continuer cette Table; mais après cela il ſera à propos d'en calculer au moins deux autres pour les Vaiſſeaux, qui aulieu de recevoir le tiers de la viteſſe du vent, comme on l'a ſupoſé ici, en reçoivent quelqu'autre partie. Il faut remarquer que preſque tous les calculs qui ſerviront à la conſtruction d'une de ces Tables, ſerviront auſſi aux autres, puiſqu'il n'y aura que la ſeule quantité *k* qui ſera differente. Mais enfin il eſt fâcheux que ce ne ſoit point encore aſſez: il faudroit ſe reſoudre à former encore d'autres Tables ſemblables à ces premieres, au moins pour trois ou quatre figures de proües differentes; c'eſt-à-dire pour celles qui ſont ſujettes à differentes dérives, quoique les voiles ſoient orientées de la même maniere. L'opération ſe réduiroit à ſuppoſer le ſommet Q de la parabole SQR (Fig. 84) en trois ou quatre points differens de C&; ou à attribuer trois ou quatre grandeurs differentes au petit axe Q& de l'ellipſe VQv&.

Digitized by Google

Angles de la voile avec la quille.	Angles de la dérive.	Angles d'incidence réels du vent sur la voile.	Angles réels du vent avec la route.	Vitesses du Navire.	Angles d'incidence apparens du vent sur la voile.	Angles apparens du vent avec la route.
D.	D. M.	D.	D. M.		D.	D.
90.	0. 0	90.	180.	100.	90.	180.
		80.	170.	98.	75.	165.
		70.	160.	94.	71.	152.
		60.	150.	87.	49.	139.
		50.	140.	77.	38.	128.
		40.	130.	64.	29.	119.
		30.	120.	50.	21.	111.
		20.	110.	34.	14.	104.
		10.	100.	17.	7.	97.
80.	1. 12	90.	171. 12	100.	86.	167.
		80.	161. 12	98.	71.	152.
		70.	151. 12	94.	58.	140.
		60.	141. 12	87.	47.	128.
		50.	131. 12	77.	37.	118.
		40.	121. 12	64.	29.	110.
		30.	111. 12	50.	21.	102.
		20.	101. 12	34.	14.	95.
		10.	91. 12	17.	7.	88.
75.	1. 51	90.	166. 51	99.	80.	160.
		80.	156. 51	97.	70.	147.
		70.	146. 51	93.	57.	134.
		60.	136. 51	86.	46.	123.
		50.	126. 51	76.	36.	113.
		40.	116. 51	63.	28.	105.
		30.	106. 51	50.	20.	97.
		20.	96. 51	34.	13.	90.
		10.	86. 51	17.	6.	83.

II.

On déduira de la nature même de l'ellipſe, ſi on le veut, la valeur des lignes CQ & CY; mais notre formule $v =$

Fig. 84. $\frac{apV\overline{CQ}}{k-1\times nV\overline{CY}+qV\overline{QC}}$ aura également son aplication lorsqu'on cherchera immédiatement sur la proüe même, par les moyens Géometriques ou Mécaniques que nous avons proposés dans la Section précedente, les impulsions auxquelles elle est sujette par la rencontre de l'eau. Il suffira de se souvenir que CQ représente toujours l'impulsion directe, lorsque le Navire se meut précisement dans le sens de son axe, & CY l'impulsion absoluë horisontale qu'il souffre dans chaque route oblique CH; & cela lorsque sa viteſſe est toujours la même: car les lignes CQ & CY ne représentent les impulsions qu'autant qu'elles dépendent de la surface de la Carène; conformément à ce qu'on a vu dans le premier article du Chapitre précédent. On cherchera, si on le veut, ces impulsions par la méthode du Chapitre VI. de la Section citée: la premiere CQ trouvée une fois par l'art I. servira dans tous les calculs; il n'y aura que la seconde CY sujette à changer par l'obliquité des routes; & comme elle résulte de la composition des impulsions relatives directe & latérale, qu'on trouvera par l'art. II. du même Chapitre, il n'y aura qu'à resoudre le triangle rectangle dont elle sera l'hypotheneuse & dont les deux impulsions relatives seront les cotés. Il me semble que c'est la façon la plus simple de calculer CY, lorsqu'il s'agira de Recherches particulieres, & non pas de solutions générales. Il ne restera plus après cela pour déterminer toutes les viteſſes v du Navire, qu'à faire entrer ces valeurs de CQ & de CY dans la formule; en même tems qu'on y introduira à la place de a la viteſſe absoluë du vent; à la place de k le nombre qui exprime combien de fois cette viteſſe est plus grande que celle du Navire dans la route directe; & à la place de n, de p & de q, le sinus total, le sinus de l'angle d'incidence du vent sur la voile, & le sinus de l'angle que fait la voile avec la route, c'est-à-dire le sinus de l'angle ECH.

III.

Digitized by Google

Fig. 84.

III.

Comme je ne doute pas qu'on ne puiſſe ſouvent regarder les Navires qu'on conſtruit de notre tems, comme ſi leur proüe étoit formée de deux arcs de cercle, on peut avec facilité tirer parti du travail de M. Pitot, qui s'eſt donné la peine de calculer les impulſions que ſouffrent divers ſegmens de cercles joints par leur corde, & qui en a dreſſé des Tables dans ſon Traité de Manœuvre. Il eſt vrai que cet Académicien n'a pas inſeré les impulſions qu'il a trouvées, au moins celles qui naiſſent de la derniere compoſition de primitives; mais ce qui revient au même, il a marqué toutes les viteſſes que recevroit le Navire en ſuivant differentes routes, dans la ſupoſition que le vent, malgré la rapidité du ſillage, frapât toujours la voile préciſément avec la même force; & on ſçait que ces viteſſes ſont en raiſon inverſe des racines quarrées des impulſions que nous avons actuellement intérêt de connoître. Car ſi le Navire dans une certaine route, par exemple, préſente 4 fois ou 9 fois moins de ſurface au choc de l'eau, ou une ſurface qui, parce qu'elle eſt moins grande ou plus differente de la plane, reçoit à cauſe des ſeules circonſtances qui lui ſont propres, 4 fois ou 9 fois moins de choc, il eſt évident à tous les lecteurs qui ſe ſont mis au fait des principes expliqués ci-devant, qu'il ſuffira que le Navire ſingle 2 ou 3 fois plus vite pour faire une parfaite compenſation, ou pour que l'impulſion actuelle de l'eau ſoit toujours égale à celle du vent, ſupoſé conſtante. On peut donc conſulter les Tables de M. Pitot, ſçavoir la quatriéme, la cinquiéme, la ſixiéme, &c. juſqu'à la douziéme incluſivement, qui ſont préciſément celles que demandoit M. Bernoulli; & on obtiendra tout d'un coup les valeurs de CQ & de CY, en diviſant l'unité ou quelqu'autre grandeur conſtante par les quarrés des viteſſes indiquées dans ces Tables.

Je prends pour exemple un Navire dont la proüe eſt formée par deux arcs de cercle, qui ſont en ſe rencontrant un

Fig. 84. angle curviligne de 60 degrés: cette figure apartiendra à la douziéme Table dans laquelle la viteſſe pour la route directe eſt marquée, de même que dans les autres Tables par 1000, ce qui donne $\frac{1}{1000000}$ pour CQ, ou $\frac{1}{1000}$ pour $\sqrt{CQ}$. Je ſupoſe de plus que la grandeur des voiles eſt telle que le Navire dans la route directe prenne le tiers de la viteſſe abſoluë du vent, ce qui rend $k=3$. Si on nous propoſe après cela de découvrir la viteſſe avec laquelle doit ſingler ce Navire, lorſque ſa voile fait avec ſa quille un angle de 59 degrés 31′. & que l'angle réel d'incidence du vent ſoit de 40 degrés, je cherche dans la Table vis-à-vis de 59 degrés 31′ & je trouve la viteſſe 923. Ainſi j'ai $CY=\frac{1}{923\times 923}$ ou $\sqrt{CY}=\frac{1}{923}$; & la même Table m'aprend que l'angle de la dérive eſt de 2 degrés 30′, & l'angle par conſequent que forme la voile avec la route de 62 degrés 1′. De ſorte que prenant 100000 pour le ſinus total (n,) j'ai 88308 pour le ſinus q, en même tems que j'ai 64279, pour le ſinus p de l'incidence du vent ſur la voile. Or l'introduction de tous ces nombres dans notre formule $v=\frac{ap\sqrt{CQ}}{k-1\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ}}$, la changera en $v=a\times\frac{64279}{304923}$ qui ſatisfait à la queſtion, en nous indiquant le raport qu'a la viteſſe (v) du Navire dans la route propoſée avec la viteſſe abſoluë (a) du vent. Si cette derniere viteſſe eſt repreſentée par 3000, on trouvera 632 pour celle du Navire: & rien n'empêche, en ſuivant la même Méthode, de réſoudre aſſez d'autres cas pour pouvoir en dreſſer une Table complette.

Il ne faudra pas ſe contenter de ſupoſer que la viteſſe du Navire eſt le tiers de celle du vent dans la route directe, il faudra faire varier ce raport, ainſi que nous en avons expreſſément averti; afin d'embraſſer les Vaiſſeaux dont la mâture a des dimenſions differentes. Si on ſupoſe que le Navire dont l'angle curviligne de la proüe eſt toujours de 60 degrés, a des voiles aſſez étenduës pour que la viteſſe qu'il reçoit lorſqu'il ſingle exactement vent en poupe, ſoit la moitié de celle du vent; & ſi on demande celle qu'il doit prendre, lorſque ſa voile fait avec la quille un angle

Digitized by Google

de 54 degrés 38′, & que l'angle réel d'incidence du vent sur cette voile eſt droit, on trouvera d'abord dans les Tables de M. Pitot que l'angle de la dérive eſt de 3 degrés, & par conſéquent l'angle de la voile & de la route de 57 dégrés 38′, & que la viteſſe pour le cas dans lequel cet Auteur la cherchée, eſt de 900, à proportion de 1000 qui exprime celle de la route directe. Ainſi on aura dans cet exemple $\sqrt{CQ} = \frac{1}{1000}$; $\sqrt{CY} = \frac{1}{900}$; $n = p = 100000$; $q = 84463$; $k = 2$, & enfin $v = a \times \frac{100000}{195774}$; de ſorte que le Navire prendra dans cette diſpoſition plus de la moitié de la viteſſe du vent, & plus de viteſſe que lorſqu'il ſingle vent en poupe. Ce ſera donc là un des cas du paradoxe dont nous avons parlé dans l'art VI. du Chapitre précédent: ſupoſant la viteſſe abſoluë (*a*) du vent de 3000, il viendra 1533 pour celle du Navire, aulieu qu'elle n'eſt que de 1500 dans la route directe. On peut dans le calcul, ſans ſe conformer ſervilement à nôtre formule, ſuivre les veſtiges du chemin qui nous y a conduits, & imaginer differens abregés qui diminuront encore la longueur de l'opération, quoiqu'on n'ait point à ſe plaindre de ſa prolixité. On obtiendra par ce moyen des Tables qui ſeront parfaitement exactes, & dont on ne devra la facilité de la conſtruction à aucune négligence des circonſtances eſſentielles. Fig. 84.

CHAPITRE VII.

De la diſpoſition la plus avantageuſe des Voiles & du Vaiſſeau par raport au Vent, pour ſuivre une route propoſée, pour gagner au Vent, &c.

I.

CEs Tables ſeroient d'un grand uſage; elles ſerviroient principalement à réſoudre ſur le champ les Problêmes de Manœuvre, ſans qu'on ſe trouvât dans la

Digitized by Google

néceſſité d'examiner la figure particuliere de chaque Navire. Un de ces Problêmes & un des plus importans, eſt de découvrir la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles & du Vaiſſeau par raport au vent pour faire une route propoſée : ce Problême ſeroit tout réſolu par les Tables. Supoſé qu'il fût queſtion de ſuivre une route qui fit un angle de 50 degrés avec la direction du vent, il n'y auroit qu'à voir en cherchant ce nombre dans la quatriéme colomne, la diſpoſition des voiles & du Vaiſſeau qui procureroit au ſillage la plus grande viteſſe poſſible. Si on faiſoit la même choſe pour toutes les autres routes de degré en degré ou de cinq en cinq, on pourroit former une nouvelle Table deſtinée ſeulement à marquer les réſultats ou la diſpoſition la plus avantageuſe, pour ſuivre chaque route.

II.

Un ſecond Problême qui n'eſt pas moins important ; c'eſt de déterminer la diſpoſition des voiles & du Vaiſſeau la plus convenable, pour *gagner* au vent : on le pourroit auſſi reſoudre par les Tables.

Il eſt vrai que ce ſecond Problême eſt plus difficile que le premier : il eſt de ceux qui apartiennent aux queſtions *de maximis maximorum*. Il s'agit lorſque le Vaiſſeau eſt en C (Fig. 83.) de le diſpoſer tellement par raport au vent de même que ſa voile DE, qu'il s'éloigne le plus qu'il eſt poſſible de la perpendiculaire MN à la direction VG du vent. Il n'eſt pas queſtion de rendre l'angle VC*c* des deux directions VC & C*c*, le moindre qu'il eſt poſſible : car le vent frapant les voiles plus obliquement, & outre cela une moindre partie de l'impulſion s'exerçant ſelon la route, le Vaiſſeau ſingleroit moins vite, & s'éloigneroit peut-être d'une moindre quantité de la ligne MN ; & on doit bien remarquer qu'on ne gagne au vent qu'autant qu'on s'éloigne de cette perpendiculaire, ou qu'on avance vers l'origine même du vent. L'autre Problême où il s'agit de rendre l'angle de la voile & de la route le moindre qu'il

Fig. 83.

Digitized by Google

se peut, mérite auſſi d'être examiné par les Auteurs qui traitent de la Manœuvre. Ce n'eſt qu'en ſe conformant à la diſpoſition qu'il fournit, qu'on réuſſit ſouvent à *doubler* un Cap ou à éviter un écueil : car il faut quelquefois *pincer le vent* le plus qu'il eſt poſſible, ou rendre l'angle EC*c* de la route & de la voile le plus petit qu'il ſe peut, afin de faire diminuer l'angle total VC*c* du vent & de la route, lorſqu'il s'agit de paſſer dans un Canal étroit, ſans qu'il importe avec quelle viteſſe on ſingle. On n'a calculé dans la Table du Chapitre IV. les angles de dérive que juſqu'à cette diſpoſition, ce qui peut tenir lieu d'une ſolution plus exacte, qu'il n'eſt pas d'ailleurs difficile d'obtenir ; puiſque le Problême n'eſt réellement que du ſecond degré. Fig. 83.

III.

On dirigera de cette ſorte la route le plus vers le vent qu'il ſe pourra. Mais cependant on ne *gagnera* pas au vent le plus qu'il ſera poſſible ; parce qu'en ſuivant, lorſque la choſe ſera permiſe, une route C*c* un peu plus éloignée de la direction VC, on ſinglera plus vite, & cet excès de viteſſe reparant ce que la direction de la route fait perdre, il ſe trouvera que tout compté, la quantité P*c* dont le Navire avancera vers l'origne du vent, ſera plus grande. C'eſt par cette ſeconde diſpoſition qu'on diſpute l'avantage du vent à un ennemi, ou qu'on chicane, pour ainſi dire, contre le vent même, lorſqu'il eſt abſolument contraire à la route qu'on ſe propoſoit de faire, & qu'on eſt en pleine Mer. On veut aller exactement vers le midi ; mais malheureuſement le vent vient préciſément de ce côté : il faut donc en préſentant la proüe vers cet endroit de l'horiſon la diriger tantôt vers l'orient & tantôt vers l'occident ; il faut marcher en *zigzags* ou *louvoyer* comme parlent les Marins, & ſuivre de chaque côté, je le repete encore, non pas la route C*c*, qui fait le plus grand angle *c*CN avec la perpendiculaire CN au lit du vent, mais la route qui fait que le Navire s'éloigne de cette perpendiculaire de la plus grande

Digitized by Google

Fig. 83. quantité Pc. On considere le vent comme un large fleuve dont toutes les parties se meuvent précisément dans le même sens, & avec la même viteſſe; & on veut en se servant de sa propre force, remonter contre son cours le plus qu'il est possible.

Entre les differentes manieres de décomposer la difficulté, afin de résoudre à part chaque question *de Maximis* dans lesquelles elle se partage, tous nos Auteurs de Manœuvre se sont accordés à considerer que la situation du Vaisseau étant donnée par raport à la direction du vent, il y a une certaine disposition de voile qui est préférable; & que pour chaque disposition de voile il y a aussi une certaine situation du Vaisseau qui est plus avantageuse. Mais lorsqu'on entreprend de résoudre le Problême selon cette distribution, on est obligé de se livrer à un double tâtonnement; puisqu'il y a une infinité de diverses dipositions de voiles, & que pour chacune il y a une infinité de diverses situations du Vaisseau. Si pour éviter la prolixité d'un travail si pénible, ou vouloit d'un autre côté négliger la dérive, les déterminations auxquelles on parviendroit, ne seroient pas plus exactes le plus souvent, comme on le verra plus bas, que si on prenoit au hazard les premieres disposition qui se présentent. C'est ce que l'intérêt de la vérité qu'il n'est pas permis de trahir dans une matiere si importante, me force de dire; & je le puis faire avec d'autant plus de liberté, que je connois toute la candeur des Mathématiciens qui pourroient en être blessés. Mais il y a une autre maniere de partager la question qui ôtant la moitié du tâtonnement, leve aussi la moitié de la difficulté, & qui nous mettroit outre cela en état de résoudre le Problême d'une maniere directe, universelle & parfairement géometrique, si nous croyons pouvoir en rendre la solution assez simple pour l'accommoder aux usages de la pratique.

Au lieu de considerer que pour chaque disposition du Vaisseau par raport au vent, il y a une disposition plus avantageuse de voile; & que pour chaque disposition de voile

Digitized by Google

par raport au vent, il y a auſſi une certaine ſituation du Vaiſſeau qui eſt préférable; nous n'avons qu'à ſupoſer d'abord que la voile eſt ſtable par raport au Navire, & chercher la diſpoſition la plus avantageuſe qu'on peut donner à l'un & à l'autre par raport au vent; & après cela nous conſiderons la voile dans diverſes ſituations par raport au Navire, & nous examinerons qu'elle eſt la meilleure. La premiere partie du Problême ſe réſoudra fort aiſément; on trouvera la diſpoſition dont il s'agit par cette regle très-ſimple que nous démontrerons ci-après; que la voile doit toujours être autant éloignée de la direction du vent, que la route eſt éloignée de la perpendiculaire au vent, ou de la ligne quelle qu'elle ſoit dont on veut s'écarter. C'eſt-à-dire que quelque ſoit l'angle que fait la voile avec la quille; *il faut toujours, pour que le Vaiſſeau avec la diſpoſition actuelle de ſa voilure gagne au vent le plus qu'il eſt poſſible, que l'angle réel d'incidence* VCE (Fig. 83.) *que fait le vent avec la voile, ſoit égal à l'angle* cCP *que fait la route avec la ligne* CN *dont il eſt queſtion de s'éloigner.* Fig. 83.

Ainſi le tâtonnement ne peut plus tomber que ſur le ſeul angle que doit former la voile avec la quille. Si cet angle eſt de 40 degrés, & que l'angle correſpondant de la dérive ſoit de 9, l'angle total EC*c* de la voile & de la route ſera de 49; & ſi on ôte cet angle de l'angle VCP qui eſt de 90 degrés, & qu'on prenne la moitié du reſte, on aura 20 $\frac{1}{2}$ degrés pour chacun des angles VCE & *c*CP, conformément à la regle que nous venons de raporter. Or ſi on cherche dans la Table du Chapitre précédent la viteſſe C*c* du Navire & qu'on détermine P*c* en réſolvant le triangle rectangle *c*CP dont on connoîtra l'hypotheneuſe & l'angle PC*c* de 20 $\frac{1}{2}$ degrés, on aura la quantité dont le Navire aura gagné au vent. Il n'y aura qu'à faire la même choſe pour un certain nombre d'autres diſpoſitions de la voile par raport à la quille, & à l'aide de trois ou quatre tentatives, on ſçaura ordinairement laquelle des diſpoſitions eſt préférable ou celle qui fait faire au Vaiſſeau le plus de progrès P*c* dans le ſens directement contraire au lit du

Digitized by Google

Fig. 83. vent. Comme nous n'avons pas pouſſé aſſez loin la Table du Chapitre précédent, nous allons éclaircir ce que nous venons de dire par un exemple pris dans les Tables de M. Pitot, à la conſtitution deſquelles nous nous conformerons, en ſupoſant que la viteſſe du vent, eſt comme infinie par raport à celle du Vaiſſeau.

Nous choiſirons la Table 12 qui exprime les circonſtances du mouvement d'un Navire qui ſeroit formé par deux ſegmens de cercle chacun de 60 degrés. Si nous ſupoſons que l'angle de la dérive ou l'angle que fait la route avec la quille eſt de $8\frac{1}{2}$ degrés, nous trouverons dans cette Table que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41′. D'où il ſuit que la voile fait avec la route un angle EC*c* de 37 degrés 11′ que nous n'avons qu'à ôter de 90 degrés & prendre la moitié du reſte, & il nous viendra 26 degrés $24\frac{1}{2}$′ pour l'angle d'incidence VCE & pour celui *c*CN que doit faire la route avec la ligne CN dont on veut s'éloigner le plus qu'il eſt poſſible. On trouve dans la même Table 654 pour l'expreſſion de la viteſſe: mais il faut remarquer que cette viteſſe eſt celle qui eſt produite par l'impulſion perpendiculaire du vent ſur la voile & qu'elle doit être ici diminuée dans le raport que le ſinus de l'angle d'incidence 26 degrés $24\frac{1}{2}$′. eſt plus petit que le ſinus total. Ainſi elle n'eſt actuellement que de 291; & ſi en réſolvant le triangle rectangle CP*c* dont l'angle C eſt de 26 degrés $24\frac{1}{2}$′. & l'hypotheneuſe C*c* de 291 parties on cherche le progrès P*c* vers le vent, on trouvera qu'il eſt d'environ $129\frac{1}{2}$: au lieu que ſi on ſupoſe que l'angle de la dérive eſt de 8 ou de 9 degrés & qu'on faſſe la même opération, on trouvera que le progrès P*c* eſt un peu moindre, & que la premiere diſpoſition eſt par conſéquent la plus avantageuſe. Or il ſuit de-là que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41′, & avec le vent de 26 degrés 24′: au lieu qu'on trouve* le premier de ces angles d'environ 20 degrés, & le ſecond d'environ 35, lorſqu'on néglige la dérive.

* Pag. 82. du Traité de Manœuvre.

IV.

IV.

Il ne nous reſte plus qu'à montrer la vérité de la regle que nous venons d'employer, laquelle pouvant ſervir également lorſqu'il s'agit de s'éloigner le plus qu'il eſt poſſible de toute ligne donnée, doit être d'uſage dans pluſieurs autres rencontres, & principalement lorſqu'on *donne chaſſe* à un Vaiſſeau qu'on veut atteindre. J'ai montré dans les Mémoires de l'Académie des Sciences *, en parlant des lignes que j'ai nommées *courbes de pourſuite*, combien on perdoit de tems & combien on s'expoſoit à manquer ſa proye, lorſqu'au lieu de tâcher de lui couper le chemin, on s'arrêtoit à diriger toujours ſa route ſur elle, & à décrire une ligne courbe. Si le Vaiſſeau AB (Fig. 87.) veut atteindre infailliblement le Vaiſſeau FG qui fait la route KO, il faut qu'il ſuive une ligne CN avec une viteſſe qui ſoit telle qu'il parvienne en L & en N ſur les paralleles LM & NO à la premiere ligne CK, préciſément en même-tems que l'autre Vaiſſeau parvient ſur ces mêmes paralleles en M & en O; c'eſt-à-dire, qu'il faut malgré le mouvement des deux Navires, que l'un reſte toujours au même rumb de vent par raport à l'autre. S'ils vont enſuite en s'aprochant, ils ſe rencontreront infailliblement, parce qu'ils ſe trouveront en même tems à l'interſection Q de leurs deux routes. Mais ſi le Vaiſſeau AB, lorſqu'il eſt dans la diſpoſition même qui peut l'éloigner le plus de la ligne CK, reſte de l'arriere par raport à l'autre Navire, il ſera inutile, comme on le voit évidemment, qu'il continuë ſa pourſuite. Or il s'agit de démontrer qu'une des conditions de cette diſpoſition la plus avantageuſe (dont il n'eſt pas néanmoins toujours néceſſaire de ſe ſervir, parce qu'au lieu de rencontrer le Vaiſſeau qu'on pourſuit, on paſſeroit quelquefois au-devant de lui) eſt que l'angle d'incidence réel VCE du vent ſur la voile, ſoit égal à l'angle LCK que fait la route avec la ligne CK, dont on veut s'éloigner. Lorſqu'il s'agit *de gagner au vent*, on ſe propoſe de s'éloigner d'une ligne qui eſt perpendiculaire au lit du vent; au lieu que lorſqu'on

* Année 1732.

Fig. 87.

veut atteindre un autre Vaiſſeau & qu'on ne peut le faire qu'à peine, il s'agit de s'éloigner de la ligne CK qui joint les deux points d'où partent les Navires. Mais la régle eſt générale & aplicable à tous les cas, comme on va le voir.

Fig. 86. Auſſi-tôt que l'angle ECA ou *e*C*a* (Fig. 86.) de la voile & de la quille eſt donnée, l'angle de la dérive eſt le même; la route fait un angle conſtant EC*e* ou *e*C*x* avec la voile, & les viteſſes C*e* ou C*x* que prend le Vaiſſeau dans les diverſes ſituations où on le met par raport au vent, ſont proportionelles comme nous l'avons prouvé, aux ſinus des différens angles d'incidence que fait le vent avec la voile: c'eſt-à-dire, que C*e* eſt à C*x* comme le ſinus de l'angle VCE eſt au ſinus de l'angle VC*e*. Mais puiſque dans le triangle *e*C*x* les côtés C*e* & C*x*, qui ſont ſupoſés ne former qu'un angle infiniment petit, ſont auſſi proportionels aux ſinus des angles qui leur ſont opoſés en *x* & en *e*, & que la différence de ces deux angles, qui eſt l'angle *e*C*x*, eſt égale à la différence EC*e* des deux angles d'incidence, il s'enſuit que les angles en *e* & en *x*, ſont égaux aux angles d'incidence: car il faut néceſſairement que deux angles ſoient égaux à deux autres angles, auſſi-tôt qu'il y a entr'eux la même différence, & qu'outre cela il y a le même raport entre leurs ſinus. Ainſi en donnant différentes diſpoſitions au Vaiſſeau par raport au vent, on lui fait ſuivre différentes routes, & on le fait parvenir en divers points *e*, *x*, &c. qui forment une courbe O*exx*P: nous ne nous arrêtons pas à montrer que cette courbe eſt un cercle; mais auſſi-tôt que l'angle de la voile avec la quille eſt toujours de même, on voit que cette courbe, ou ce qui eſt la même choſe, que la ligne infiniment petite *e x* qui joint les deux points *e* & *x* où le Navire parvient, lorſqu'on lui donne deux diſpoſitions qui ne différent qu'infiniment peu l'une de l'autre, fait toujours avec la route C*e* un angle *e* égal à l'angle correſpondant d'incidence du vent ſur la voile. S'il s'agit donc de choiſir la diſpoſition qui fait que le Vaiſſeau s'éloigne le plus qu'il eſt poſſible d'une ligne droite donnée CM, ou de le faire parvenir

Digitized by Google

dans l'endroit de la courbe O*cx*P, qui étant parallele à la ligne proposée, en est à la plus grande distance, il faut que l'angle *c*CM que fait la route avec cette ligne, soit égal à l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile; puisque le premier de ces angles doit être égal à l'angle C*cx*, aussi-tôt que *cx* est parallele à CM, & que le second est toujours égal à ce même angle dans toutes les diverses dispositions du Vaisseau. Notre régle servira non-seulement dans les circonstances que nous avons mentionnées; elle servira également lorsqu'on voudra *s'élever* d'une côte, ou doubler un cap, &c.

CHAPITRE VIII.

Construction des Problémes proposés dans le Chapitre précédent.

I.

NOUS pouvons donner aussi une construction assez facile des deux Problêmes précédens, à laquelle on aura recours lorsqu'on voudra éviter le procedé trop lent du calcul. Ayant tiré une ligne DE (Fig. 88.) pour représenter la voile; après avoir élevé une perpendiculaire CF pour représenter la direction de son effort, je tire plusieurs lignes, comme CH, pour marquer les diverses routes du Navire, & je retranche sur ces lignes des espaces CG, qui désignent les viteſſes dans chaque route. L'angle, GCE que fait la route avec la voile étant donné, le Vaisseau peut avoir une infinité de différentes viteſſes, selon que le vent frape les voiles plus ou moins obliquement; mais les espaces CG marquent seulement celles que prend ce Vaisseau lorsque le vent frape les voiles à angle droit: de sorte que CG est bien la valeur de v fournie par la formule $v = \frac{qp\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$; mais c'est lorsqu'on fait p, qui dé- Fig. 88.

Fig. 88. ſigne le ſinus de l'angle d'incidence du vent, égal au ſinus total *n*. En un mot les viteſſes que nous employons ici ſont les premieres qui ſont marquées dans la Table du Chapitre V. pour chaque diſpoſition particuliere de voile. Les angles HCE de la route & de la voile, ou leur complement HCF, ſont pris de la figure 84, où ils ſont exprimés par les mêmes lettres, & les quantités CQ & CY qui entrent dans la formule des viteſſes, ſont, comme on s'en ſouvient, fournies par la même figure, ou le ſeront par l'examen actuel qu'on fera de la prouë. La courbe NFG, que nous conſidérons maintenant & qui paſſe par tous les points G, ſera géométrique; mais après tout, on peut faire entrer dans la détermination des viteſſes CG toutes les conſidérations qu'on croira y avoir part: nous ne demandons rien autre choſe, ſi ce n'eſt que cette courbe qui pourra enſuite ſe trouver mécanique, ſoit tracée exactement.

II.

La ſeule méthode légitime qu'on a propoſée juſques ici pour trouver la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles, pour faire une route propoſée, exigeroit qu'on traçât une infinité d'autres courbes ſemblables à celle-ci; qu'on en formât une nouvelle qui paſſât par toutes les interſections ſucceſſives de ces premieres, ou qui en fût la continuelle oſculatrice, & qu'on ſçût tirer les tangentes à cette derniere courbe. Cette conſtruction a été donnée par un Mathématicien trop ſçavant pour ne pas être élegante: mais elle ſupoſe néanmoins bien des choſes, au lieu que nous n'avons beſoin que de la ſeule courbe NFG. Je conſidere deux routes CG & Cg infiniment proche l'une de l'autre, & qui ſont avec les deux lignes VC & *v*C un angle égal à celui que fait la route propoſée avec la direction réelle du vent. Les deux lignes VC, *v*C repréſentent la diſpoſition du vent par raport à la voile, lorſque le Vaiſſeau ſuit ou CG ou Cg; & les Geométres ſçavent que ſi le Vaiſſeau marche avec la même viteſſe, en ſuivant ces deux

différentes routes, ou ce qui revient au même, que si la différentielle de la viteſſe eſt nulle, c'eſt une marque que cette même viteſſe eſt à ſon terme de grandeur, qu'elle eſt un *maximum*, & qu'on a trouvé la diſpoſition la plus avantageuſe. Il eſt vrai que Cg eſt plus grande que CG; mais il faut remarquer que c'eſt parce que ces lignes, à cauſe de la coſtruction particuliere de la courbe, expriment la viteſſe du Navire pour une incidence toujours conſtante du vent ſur la voile; au lieu que ſi les angles d'incidence ſont différens, les deux viteſſes pourront être ramenées à l'égalité. Fig. 88.

C'eſt ce qui arrivera effectivement, ſi dans le triangle GCg les angles G & g ſont égaux aux angles d'incidence correſpondans VCE & *v*CE du vent ſur la voile. Car Cg & CG étant comme les ſinus des angles opoſés G & g, elles ſeront en raiſon inverſe des ſinus des angles réels d'incidence; & la viteſſe Cg, qui conſerveroit ſa grandeur ſi elle répondoit à un angle d'incidence également grand, deviendra égale à CG; parce que repondant à l'angle d'incidence *v*CE, elle doit diminuer dans le même raport que le ſinus de ce dernier angle eſt plus petit que celui de l'autre VCE. Ce ne ſeroit pas la même choſe, ſi les deux routes, en ſe terminant en quelques autres points de la courbe, faiſoient avec la courbe des angles plus grands ou plus petits que ceux d'incidence du vent ſur la voile. Comme les lignes CG & Cg ne repréſentent toujours les viteſſes du ſillage que pour une égale incidence du vent, il eſt vrai qu'il faudroit faire également une déduction à la ſeconde viteſſe Cg, puis qu'elle répondroit à une incidence plus petite. Mais la diminution ſe faiſant dans le même raport que le ſinus d'un angle d'incidence eſt plus petit que l'autre, il eſt néceſſaire que dans le triangle GCg, les angles G & g ſoient égaux à ces angles d'incidence; ou que les côtés Cg & CG ſoient en raiſon inverſe des ſinus de ces mêmes angles, pour que la viteſſe Cg après la déduction faite, ſe trouve parfaitement égale à CG.

Ainſi le point G où ſe termine la route CG dans la dif-

Fig. 88. position la plus avantageuse, est marqué par cette proprieté distinctive, que l'angle G que fait la route avec la courbe NFG, est exactement égal à l'angle d'incidence VCE du vent sur la voile. Mais cela supposé, si on tire au point G une tangente CS à la courbe, l'angle extérieur GSR qu'elle fera avec le prolongement de la voile, sera égal à la somme des deux angles intérieurs G & SCG, & sera donc aussi égal à l'angle VCG de la route & de la direction du vent, qui est formé de l'angle SCG & de l'angle d'incidence VCE égal à l'angle G. Nous avons par conséquent cette regle pour obtenir la disposition la plus avantageuse du Vaisseau & de la voile, lorsqu'il s'agit de faire une route dont l'angle avec la direction du vent est donné. *Nous chercherons le point* G, *où tirant à la courbe* NFG *des viteſſes une tangente* GS, *elle faſſe avec la voile prolongée* CR *un angle* GSR *égal à celui que forme le vent avec la route qu'on veut ſuivre ; & conduiſant au point* G *la droite* CG, *on aura la ſituation de la route par raport à la voile, pendant que* VC, *qui ſera avec* CG *l'angle donné, indiquera la vraie direction du vent.*

Le Problême se trouve de cette sorte débarrassé de tout ce qu'il avoit de difficile, & réduit à une question simple de pure Géometrie. Mais ce n'est pas ici le lieu d'en parler davantage; d'autant plus que nous croyons qu'il suffit dans la pratique de former avec une fausse équerre l'angle RSG égal à celui du vent & de la route proposée, & de faire glisser une des branches de cette fausse équerre le long de la ligne RC, jusqu'à ce que l'autre vienne toucher la courbe, & indique le point G qu'on vouloit découvrir.

III

L'autre Problême dans lequel il s'agit de *gagner au vent* ou de s'éloigner le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée, ne sera pas plus difficile; il suffit pour le résoudre de faire usage des maximes déja établies. Nous supposons

Fig. 89. que notre courbe des viteſſes NFG (Fig 89.) est déja tracée,

Digitized by Google

& que VC repréſente la direction du vent, pendant que CG Fig. 83.
eſt la route, & CQ la ligne dont il s'agit de s'éloigner le plus promptement qu'il eſt poſſible, & qui fait avec VC un angle donné VCQ. Il faut d'abord que l'angle d'incidence VCE ſoit égal à l'angle GCQ que fait la route avec la ligne CQ dont il s'agit de s'écarter: c'eſt là une condition néceſſaire, comme nous l'avons vû dans le dernier article de l'autre Chapitre. Mais pendant qu'elle eſt obſervée, il faut encore que le Navire ſingle ſur CG avec la plus grande viteſſe: car plus il ira vite ſur CG, plus il s'éloignera de CQ, toutes les autres circonſtances étant les mêmes. Ainſi il faut conformement à ce que nous venons de montrer dans l'article précédent que la route CG faſſe en G avec la courbe NFG un angle PGg égal à l'angle d'incidence VCE. Mais puiſque l'angle d'incidence VCE eſt non ſeulement égal à l'angle GCQ, qu'il l'eſt auſſi à l'angle PGg de la route & de la courbe, les deux derniers angles ſeront égaux entr'eux, & par conſéquent la courbe ſera parallele en G à la droite CQ dont il s'agit de s'éloigner.

Cela ſupoſé, je fais l'angle QCO égal à l'angle QCG ou à l'angle d'incidence VCE; ou ce qui revient au même, je tire la CM de maniere qu'elle faſſe avec la voile un angle OCE égal à celui que fait avec la direction du vent la ligne dont on veut s'écarter. Si après cela on éleve au point G ou g une perpendiculaire GQ à la courbe, cette ligne ſera auſſi perpendiculaire à CQ, & lorſqu'elle viendra rencontrer la ligne CM dans un point O, elle formera avec la route & avec CO un triangle iſocelle GCO. Nous pouvons donc maintenant caractériſer aiſément le point G où ſe doit terminer la route qu'il eſt le plus avantageux de ſuivre. *Il faut lorſqu'on éleve une perpendiculaire à la courbe* NFG *des viteſſes dans ce point* G, *que cette perpendiculaire vienne retrancher ſur* CM *qui fait avec la voile un angle égal à celui que fait la ligne donnée avec la direction du vent, une partie* CO *égale à* CG.

Toute la difficulté ſe réduit encore de cette ſorte comme ci-devant à une queſtion de Géometrie pure; & pour

Fig. 89. la résoudre aisément dans la pratique, il n'y a qu'à tracer plusieurs arcs de cercle comme NG, *ng*, &c. qui couperont CM dans les points O, *o*, &c. On tirera les cordes des arcs interceptés OG, *og*, &c. & il n'y aura qu'à examiner laquelle de ces cordes, est perpendiculaire à la courbe NFG; cette corde perpendiculaire fera connoître le point G. On peut pour exécuter cela plus aisément poser successivement la branche d'une équerre sur les cordes OG, *og*, &c. & s'arrêter, aussi-tôt que l'autre branche de l'équerre sera exactement tangente à la courbe.

IV.

On ne peut pas dire avec M. le Chevalier Renau que la courbe NFG des viteſſes eſt un cercle; mais il peut arriver qu'elle n'en differe que très peu & qu'on ne commette aucune erreur ſenſible à ſupoſer qu'elle le ſoit. Alors les deux Problêmes précédens ſe reſoudront d'une maniere immediate & abſolument géometrique avec une ſimplicité que les autres ſolutions qu'on en avoit données, ne devoient pas naturellement faire attendre. Il n'y aura qu'à décrire un ſecond cercle du point C comme centre, qui paſſe par le centre *z* du cercle NFG, & l'interſection G de ces deux cercles marquera le point où doit ſe rèndre la route CG qui fait *gagner au vent* le plus qu'il eſt poſſible. On réſoudra avec la même facilité l'autre Problême dans lequel il s'agit de trouver la diſpoſition des voiles & du Vaiſſeau la plus avantageuſe par raport au vent pour ſuivre une route propoſée. M. Renau s'étoit trouvé obligé de recourir à une conſtruction ſi longue qu'une partie conſiderable de ſon livre eſt deſtinée à la détailler ou à l'établir, & encore n'eſt-elle que Mécanique; au lieu qu'il n'y a qu'à former ſimplement au centre *z* un angle C*z*G égal à celui que doit faire la route avec la direction du vent; & le rayon *z*G indiquera le point où doit ſe terminer la route. Mais il me paroît que nous avons aſſez examiné le mouvement du Vaiſſeau en général: il nous faut maintenant diſcuter en particulier les modifications qu'y apportent les differentes formes de la carène & la diverſe diſpoſition de toutes les autres parties.

TROISIE'ME

Digitized by Google

TROISIE'ME SECTION.

Du Vaiſſeau conſideré par raport à la proprieté qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du Gouvernail, que par le moyen des Voiles.

CHAPITRE PREMIER.

De la ſituation des Mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les Voiles de la Proüe & de la Poupe.

I.

LE principe établi dès les commencemens de ce troiſiéme Livre touchant l'égalité & l'opoſition parfaite qui doivent ſe trouver entre les impulſions du vent & de l'eau, ſuffit pour nous mettre en état d'aſſigner d'une maniere ſure la place des mâts. Si on n'en veut donner qu'un ſeul au Navire, il faut néceſſairement l'arborer dans le point C (Fig. 67.) qui eſt l'interſection de la direction du choc de l'eau dans les routes obliques, & de la quille: autrement les deux differentes impulſions ne pourroient pas être directement opoſées ni parfaitement contraires. On ne doit pas craindre que ce point change de place dans chaque route, puiſqu'on a vû cette vérité importante, que pourvû que l'eau ne frape que les mêmes parties de la Fig. 67.

Digitized by Google

Fig. 67. proüe, quelque figure qu'elle ait, la direction du choc coupe la quille toujours préciſément dans le même endroit. * Mais ſi au lieu d'un ſeul mât on veut en mettre pluſieurs, il faudra les placer en avant & en arriere du point C, comme en Z & en Y, de maniere que les voiles ſoient dans un parfait équilibre de part & d'autre de ce point; afin qu'elles faſſent préciſément le même effet qu'une ſeule qui y ſeroit appliquée.

* Voyez le Chap. VIII. art. 2. de la 1re. Sect. de ce 3e. Liv.

La plûralité des voiles eſt abſolument néceſſaire, non ſeulement parce qu'il n'eſt pas poſſible qu'une ſeule ait aſſez de largeur; mais encore parce qu'il faut des voiles appliqueés aux deux extrémités du Vaiſſeau, pour pouvoir le faire tourner en toutes ſortes de ſens, ce qui ne pourroit preſque jamais s'exécuter avec une ſeule. Outre cela ſi la route devient ſi oblique que l'eau frape differentes parties de la proüe, le point C s'aprochera de la poupe, peut-être d'une huitiéme partie de la longueur du Navire; & ce ne ſera encore qu'avec le ſecours de pluſieurs voiles, ſelon qu'on expoſera au vent, une plus grande ou une moindre ſurface de celles de l'avant ou de l'arriere, qu'on pourra rendre leur effort commun ou total directement opoſé au choc de l'eau, en les faiſant ſe contre-balancer exactement autour du nouveau point C.

Il eſt ſelon cela de la derniere importance de déterminer ce point avec préciſion. C'eſt ce qui nous a obligé d'inſiſter dans le Chapitre VI. de la premiere Section ſur la maniere de chercher la ſituation de la direction FC du choc de l'eau, en partageant la ſurface de la carène en parties triangulaires ſenſiblement planes. Lorſqu'on attribue au Navire la figure qu'on lui donne le plus ordinairement, on trouve que la direction FC coupe la quille environ aux deux neuviémes de ſa longueur, à commencer de l'avant, ou à peu près aux cinq ſeiziémes de toute la longueur du Vaiſſeau. C'eſt-à-dire que ſi la diſtance BA du haut de l'étambot, au haut de l'étrave eſt de 160 pieds, la diſtance CA eſt d'environ 50; ce qui ne peut pas être parfaitement exact pour tous les Navires, mais ce qui con-

Digitized by Google

vient au plus grand nombre. Lorſque le Vaiſſeau ſera formé de deux cones joints par leur baſe, dont l'un ſervira de prouë & l'autre de poupe, & que le premier ſera les $\frac{4}{11}$ de la longueur totale, pendant que le ſecond en ſera les $\frac{7}{11}$, & pendant que la plus grande largeur ſera le quart de toute la longueur, la diſtance CA ne ſera pas tout-à-fait de 50 parties, dont toute la longueur eſt de 160; mais d'environ $48\frac{1}{7}$: cette même diſtance ne ſera que de 46 parties, lorſque la largeur DF ſera la ſixiéme partie de la longueur AB. Il faut remarquer que toutes ces diſtances ne conviennent au point C que dans ſa premiere ſituation ou dans les premieres routes obliques, lorſqu'il ne s'eſt pas encore ſenſiblement reculé vers la poupe. Si on ne pouvoit pas, au reſte, ſe réſoudre pour le déterminer à examiner en détail la figure de chaque prouë, on pourroit le chercher par expérience ſur un petit Navire, d'un ou deux pieds de longueur, fait ſur la même forme. Il eſt difficile de conclure la hauteur des mâts des grands Vaiſſeaux par la hauteur qu'on peut donner aux mâts d'un très-petit; parce qu'il eſt alors queſtion de la force même des puiſſances qui agiſſent, laquelle ne ſuit pas le raport ſimple de la longueur ou de la largeur du Vaiſſeau; au lieu que l'aplication de la mâture ſur différens points de la quille dépend de la ſeule ſituation des directions des puiſſances, laquelle eſt parfaitement ſemblable dans les grands & dans les petits Navires. On pourra encore mettre en mouvement dans le Port même le Vaiſſeau déja conſtruit, en le tirant par le moyen d'un cordage apliqué au côté de la prouë: ce cordage étant prolongé coupera la quille ou l'axe AB dans le point requis C, comme l'a remarqué M. Camus dans ſa Piece ſur la mâture, qui eſt toute pleine de choſes utiles. Fig. 67.

Auſſi-tôt enfin que le point C ſera déterminé, on pourra ne placer qu'un ſeul mât qu'on apliquera dans ce point, ou bien on en mettra pluſieurs de part & d'autre, en obſervant toujours qu'il y ait entre les voiles un parfait équilibre. Si on veut, par exemple, raprocher le mât qui eſt

Fig. 67. en Y, & le porter à une distance du centre d'effort C; moindre d'une dixiéme partie, sans toucher aux autres mâts, il n'y aura qu'à rendre sa voile plus grande dans le même raport qu'on rendra sa distance au point C plus petite. On démontrera dans la suite qu'on doit allonger considérablement les Navires, qui ne sont faits exprès que pour la marche, ou ce qui est équivalent, qu'on doit les retrécir: il faudra en même-tems retrécir leurs voiles; & on pourroit alors en multiplier le nombre, en mettant quatre mâts verticaux, au lieu de trois, depuis la poupe jusqu'à la prouë, afin de ne pas perdre dans les routes obliques le vent qui passeroit sans cela entre ces voiles trop étroites. Ce n'est que l'expérience qui aprendra si la chose peut s'exécuter commodement. Mais il n'y auroit toujours qu'à faire ensorte que le moment total des unes fût égal au moment total des autres, de part & d'autre du point C.

II.

On peut de cette sorte se dispenser de suivre aussi superstitieusement que le font les Constructeurs, leurs maximes ordinaires. Il est vrai que si leurs regles ne sont pas uniques, elles sont au moins ici presque toujours sûres, & que leur plus grand défaut ne consiste que dans leur simple limitation. Ils auront sans doute d'abord placé le mât du milieu ou le *grand mât* vers le point G; mais voyant que sa voilure ne servoit point ou ne servoit que très-peu à faire tourner le Navire, ils se sont trouvés obligés d'en mettre d'autres vers l'avant & vers l'arriere, le mât *de misaine* en Z & l'*artimon* en Y; & enfin à force de les changer de place & de reparer l'équilibre, ils sont parvenus à la disposition actuelle, qui est bonne, mais qui pouvoit être différente d'une infinité de manieres. Le mât *de beaupré*, ce mât panché en avant & qui sort du Vaisseau, s'est introduit ensuite; parce qu'il arrivoit quelquefois qu'on n'avoit pas encore assez de voiles vers la prouë, par la raison que nous expliquerons ci-après, & qu'on l'a d'ailleurs trouvé commode, pour fixer plusieurs cordages qui soutien-

Digitized by Google

nent les autres mâts. Si on étoit parti d'un autre terme, Fig. 76.
si on avoit, par exemple, commencé à mettre le premier mât vers la proüe, on se trouvoit vraisemblablement amené à un autre arrangement ; mais la Pratique, quoique dépourvuë de Théorie & quoique grossiere, ne pouvoit toujours dans cette rencontre que bien conduire, vû la simplicité du sujet qui n'est mêlé de rien d'étranger. Ce n'est pas seulement entre toutes les voiles que l'équilibre se trouve de part & d'autre du point C ; il subsiste encore lors qu'on en a serré une partie & qu'on ne laisse que les quatre principales ou les quatre *majeures* ; & on en a encore toute l'obligation à l'expérience. Souvent on ne peut porter que ces quatre voiles ; & si elles ne se contrebalançoient pas exactement, on ne pourroit pas suivre constament la même route.

Il est facile de s'assurer de l'équilibre dont nous parlons. La surface de la grande voile & celle du grand hunier dans un Vaisseau du premier rang, est d'environ 9500 pieds quarrés, pendant que celle de la mizaine & de son hunier, est d'environ 8040. Or ces deux étenduës sont à très-peu près en raison inverse de leur distance au point C ; de sorte que la moindre dimension des voiles de l'avant est exactement recompensée par le bras de levier plus long, auquel elles sont apliquées. Pour le vérifier tout d'un coup, il n'y a, conformement au premier principe de Mécanique, qu'à multiplier chaque étenduë par sa distance particuliere au point C qui sert d'hypomoclion, & voir si les deux produits ou momens sont égaux. La grande voile est éloignée du point C de $32\frac{1}{4}$ pieds, & la misaine à très-peu près de $38\frac{1}{2}$ pieds ; ce qui donne 306120 pour le produit ou pour le moment de la premiere, & 309540 pour celui de la seconde.

III.

On peut sans doute retrecir très-considérablement les Navires, avant qu'il soit permis d'augmenter le nombre de leurs mâts : mais en poussant le retreciſſement encore

Digitized by Google

Fig. 67. plus loin, les voiles qui ſeront auſſi moins larges, ſeront moins ſujettes à s'embarraſſer ; & rien n'empêchera alors d'arborer quatre mâts verticaux, comme on l'a déja dit. Dans ce cas il faudroit raprocher le mât de miſaine Z le plus près qu'il ſe pourroit de l'extrémité A de la proue ; & on mettroit deux grands mâts, l'un vers P en avant, s'il étoit poſſible du Point C, & l'autre vers Q en arriere, & même au-delà du milieu du Navire. Les voiles de ces trois mâts, du mât de miſaine arboré en Z, mais raproché de la proue, du premier grand mât placé en P, & du ſecond en Q, ſe mettroient exactement en équilibre autour du point C, ou ce qui revient au même, on rendroit le moment des deux premieres parfaitement égal à celui de la troiſiéme ; & on obſerveroit en même tems, autant qu'on le pourroit, de faire l'intervale PQ un peu plus grand que l'intervale PZ, de le faire plus grand à peu près dans le même raport, que la ſomme des largeurs des deux grandes voiles, ſeroit plus grande que la ſomme de la premiere grande voile & de la miſaine. Cette condition eſt néceſſaire, comme il eſt aſſez évident ; afin que les voiles reçoivent le plus de vent qu'il eſt poſſible dans les routes obliques, ſans ſe l'intercepter les unes aux autres. Enfin l'artimon s'arboreroit toujours en Y, ou on le reculeroit un peu plus vers la poupe ; & ſes voiles ſerviroient toujours à ſupléer l'équilibre dans les routes très-obliques, lorſque l'eau commence à fraper la partie poſtérieure de la carène, & que le point C s'aproche conſidérablement du milieu du Navire. Les voiles du mât de beaupré conſerveroient auſſi toujours leur uſage qui eſt tout contraire ; il ſuffiroit de diminuer un peu leur étenduë.

Si on vouloit traiter la choſe en rigueur, ſans avoir égard à la commodité des Marins, qui ne peuvent pas manquer de trouver plus de difficulté à la manœuvre, à meſure qu'il y a un plus grand nombre de différens mâts, il ne faudroit ſe borner ni à quatre mâts verticaux ni à cinq, mais en déterminer le nombre, de même que l'aplication, de la maniere ſuivante. Après avoir raproché la miſaine DE

Digitized by Google

(Fig. 90.) le plus près de l'extrémité A de la proüe qu'il Fig. 90.
ſeroit poſſible, & reglé ſa largeur ſur celle qu'a le Navire dans ce même endroit, on lui feroit faire avec la quille, le plus petit angle ACE qui convient pour aller *au plus près*. On connoitroit la quantité de cet angle, ou en examinant ce qui ſe paſſe dans d'autres Navires, ou bien en ſe conformant aux ſolutions que nous avons données dans les deux derniers Chapitres de la Section précédente; & on trouveroit en même tems le plus petit angle VCE que doit faire la direction du vent avec la voile. Quant au moindre angle total VCA du vent & de la quille, il ſeroit de 45 degrés, ſi le Navire étoit infiniment peu large, & il doit être d'environ 55 degrés dans les Navires actuels. Tout cela ſupoſé du bord D de la miſaine qui eſt ſous le vent, on tireroit la parallele D*v*, à la direction du vent; & il faudroit raprocher aſſez le ſecond mât pour que la voile LM, dont la largeur ſeroit auſſi reglée ſur celle du Navire, vint ſe terminer en M à cette parallele D*v*. Par le bord L de la ſeconde voile, on conduiroit une nouvelle parallele L*u* à la direction CV; & on placeroit le troiſiéme mât de maniere que le bord de ſa voile qui eſt au vent, vint ſe rendre à cette parallele. On continueroit enfin de cette ſorte, en multipliant les mâts, juſqu'à ce qu'il y en eût aſſez pour que l'effort total du vent s'exerçât ſur une direction parfaitement opoſée à celle du choc de l'eau; ou ce qui revient au même, pour que toutes les voiles ſe trouvaſſent en équilibre de part & d'autre du point de la quille par lequel paſſe l'axe de ce dernier choc. Il eſt évident que cette diſpoſition oblige d'augmenter le nombre des mâts ou des voiles à meſure qu'on diminue la largeur du Navire: lorſque cette largeur étoit fort grande, trois mâts ou même deux ſuffiſoient; mais il faudroit en augmenter le nombre à l'infini, ſi on pouvoit rendre les Navires infiniment étroits.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

De la figure qu'il faudroit donner aux Vaiſſeaux pour qu'ils gouvernaſſent parfaitement bien par le moyen des voiles.

I.

IL nous faut examiner maintenant les accidens qui doivent arriver au Vaiſſeau, lorſqu'on altere l'équilibre entre ſes voiles; ſoit lorſqu'on en ſerre quelqu'une, ſoit lorſqu'on en expoſe au vent quelqu'une de plus: il eſt clair que le Navire doit changer de route en obéiſſant au plus grand effort. C'eſt l'art de le faire ainſi tourner en toutes ſortes de ſens qui conſtituë la partie de la Manœuvre que les Officiers cultivent avec le plus de ſoin; parce qu'elle leur eſt d'une néceſſité abſoluë dans les combats; & c'eſt cette même partie qui a été traitée avec ſuccès par le P. Hoſte. Il ſemble que le retranchement ou l'addition d'une voile doit infailliblement produire cet effet, de faire tourner entierement le Navire; de même qu'auſſi-tôt qu'on touche un peu à un des poids qui ſont en équilibre, on fait trebucher la balance. Mais le Vaiſſeau n'eſt pas toujours dans une parfaite indifférence à ſe tourner dans toutes ſortes de ſens, & cela parce qu'il affecte de lui-même une certaine ſituation par raport au choc de l'eau. C'eſt ce qui trouble les regles, & ce qui empêche ſouvent l'effet auquel on s'attendoit, faute d'avoir préſente cette conſidération.

Au lieu d'une ſeule voile, ſupoſons que toutes les voiles ſoient ſerrées & qu'elles le ſoient tout à coup. Il eſt évident que le Navire ne continuera pas à avancer ſur la même ligne juſqu'à la derniere extinction de ſon mouvement: comme la direction IC (Fig. 90.) du choc de l'eau ſur la proüe paſſera en avant du centre de gravité G, la

Fig. 90.

proüe

proüe flechira d'abord ; & le Navire tournera en presentant la proüe A un peu plus au vent. Ce premier effet du choc de l'eau eſt infaillible ; mais il en arrivera un tout contraire un inſtant après. Le Vaiſſeau par ſon détour donnera occaſion à l'eau de fraper toute la partie poſtérieure de la carène ou toute la partie du flanc qui eſt du côté de la poupe, & cette impulſion ſera revenir le Vaiſſeau avec force & avec viteſſe à ſa premiere ſituation, & le fera paſſer au-delà. Ce ſecond mouvement, quoique tout-à-fait contraire au premier, en eſt cependant une ſuite & un effet : car ſi le Vaiſſeau ne tournoit pas d'abord dans le premier ſens & marchoit toujours préciſément ſur la même ligne, l'eau ne fraperoit que les mêmes parties de la carène. Mais ce qu'il y a encore de plus embarraſſant, & ce qui étonne tous les jours les Marins, qui voyent quelquefois que leur Navire gouverne & que quelquefois il ne gouverne pas ; c'eſt que le ſecond effet ne ſuit le premier, que lorſque le premier a été porté juſques à un certain terme ; & cela dépend non-ſeulement du plus ou du moins de promptitude avec lequel on a operé le changement des voiles ; mais auſſi de l'inſtant précis auquel on l'a fait. Fig. 90.

II.

Il eſt clair que le moyen infaillible & l'unique moyen de remedier à cet inconvenient, c'eſt de faire enſorte que la direction IC du choc de l'eau dans les routes obliques, paſſe toujours exactement par le centre de gravité G. Alors le choc de l'eau ne tendra plus à faire tourner le Navire, lequel étant dans une parfaite indifference pour tous les états, obéira avec facilité à tous les divers mouvemens qu'on voudra lui imprimer. C'eſt ce qui a mis les Conſtructeurs dans la néceſſité de groſſir l'avant de leur Vaiſſeau, quoiqu'ils alleguent un autre motif & même fort different de cet uſage. Tant que la proüe A a été fort aiguë & de même longueur que la poupe, il eſt arrivé dans les premieres routes obliques, ou lorſque le Navire a ſuivi une ligne GH peu differente de la quille, que la direction IC, ſelon laquelle s'eſt exercé le choc de l'eau contre la proüe

& contre le flanc de la carène, a été fort éloignée du centre de gravité G: & le choc de l'eau a donc fait un continuel effort, & un effort fort grand, pour faire tourner le Navire. Mais auſſi-tôt que la prouë a été racourcie ou renduë plus groſſe, comme dans la Fig. 91; la direction IC s'eſt raprochée du centre de gravité; en même tems que ce point a fait auſſi quelque chemin vers l'avant, & la direction IC paſſant enſuite par le centre de gravité ou à peu de diſtance de ce point; quelque grand qu'ait été le choc de l'eau, il n'a preſque point travaillé à faire tourner le Navire d'un côté ou d'autre. Cette force eſt toujours oppoſée au mouvement du ſillage, comme cela ne pouvoit pas manquer d'arriver dans un milieu réſiſtant: mais ſon oppoſition n'a que peu bleſſé l'indifférence parfaite du Vaiſſeau à l'égard d'une ſituation ou d'une autre.

Fig. 90. & 91.

Fig. 91. Quelquefois dans les routes obliques, lorſque nos Vaiſſeaux s'inclinent beaucoup, la partie actuellement ſumergée de leur carène ſe trouve avoir une figure fort irréguliere. Le haut de la prouë étant plus renflé que le bas, le côté de l'inclinaſon devient plus gros, & l'autre au contraire devient plus maigre; de ſorte que la partie ſumergée prend alors la figure BiAk. Cette irrégularité étant cauſe que le côté de la prouë vers *i* reçoit plus d'impulſion, & que cette impulſion a pour direction une ligne preſque perpendiculaire à la quille, produit preſque toujours le même effet, que lorſque la prouë eſt trop aiguë; & la direction IC du choc ſe tranſportant en *ic*, ſe trouve à une plus grande diſtance du centre de gravité G. C'eſt par cette raiſon que la plus grande partie de nos Vaiſſeaux ſont *raviers* ou qu'ils ont trop de facilité à venir au vent. Auſſitôt qu'ils s'inclinent beaucoup, le choc de l'eau ſelon la direction *ic* agiſſant avec une grande force relative ou un grand moment, la prouë doit céder, & doit avancer du côté du vent vers V. Preſque tous les Marins attribuent cet effet à la hauteur de la poupe qui ſert de voile & qui eſt jettée ſous le vent par ſon impulſion. Mais il faut certainement que cet effet ait une autre cauſe & qu'il ait

Digitized by Google

celle que nous disons, puisqu'il a également lieu dans les Chaloupes.

Quoiqu'on doive regarder cette disposition comme un défaut, aussi-tôt qu'elle va trop loin, on peut néanmoins en tirer parti, & c'est ce qu'il seroit à propos que tous les Marins sçussent. M. de Radoüay dans une rencontre très-pressante, fit heureusement usage de cette remarque, qui est dûë à M. le Chevalier de Goyon. Son Navire se perdoit infailliblement, à ce qu'il nous assure, si pour le faire *arriver* ou obéir aux voiles de la prouë en tournant, il n'avoit fait passer la plus grande partie de son équipage du côté du vent, pour faire diminuer l'inclinaison de l'autre côté. Lorsqu'on veut qu'un Navire qui fait route & qui ne sent pas assez son gouvernail, se détourne vers la droite ou vers la gauche, il faut toujours, vû les gabaris qu'employent actuellement les Constructeurs, le faire incliner davantage du côté opposé, soit par le poid de l'équipge, soit par quelqu'autre poids considérable dont on puisse se servir avec promptitude. C'est ce que M. le Chevalier de Goyon avoit remarqué par cette sagacité naturelle dont nous avons déja parlé, avec laquelle il faisoit sans cesse de nouvelles tentatives dans les Vaisseaux qu'il commandoit; & on voit maintenant la raison assez cachée de cette pratique singuliere. On voit aussi qu'elle ne doit réussir que dans les Vaisseaux d'une certaine forme qu'il sera toujours facile de distinguer, aussi-tôt qu'on sçaura déterminer la direction du choc de l'eau sur la prouë: d'autres Navires pourroient avoir la propriété toute opposée.

Pour revenir à la grosseur de la prouë, il est certain que l'expérience, quoique grossiere, a tellement ici devancé la spéculation que si les Constructeurs se sont trompés sur le droit, ils ne se sont pas au moins trompés sur le fait, & qu'ils ont eu raison de grossir l'avant du Navire; quoiqu'il ne soit point vrai qu'il fende ensuite l'eau avec plus de facilité. Ils ont raporté pour prouver une prétention si étrange l'exemple des poissons qui sont effectivement toujours plus gros par la tête que par la queuë; ils ont

adjouté que lorſqu'on remorquoit un mât, on le faiſoit toujours aller le gros bout le premier. Ces pretenduës raiſons ont eu aſſez de crédit pour ſe faire adopter par quelques Mathématiciens, qui n'ont pas remarqué que lorſque l'Auteur de la nature a créé les poiſſons, il a voulu en faire des animaux; qu'il a voulu leur donner une tête, un eſtomac, &c. & qu'il n'eſt nullement certain qu'ils ayent la forme la plus propre pour fendre l'eau, puiſque cet avantage a pû être ſacrifié en partie à quelqu'autre que nous ne connoiſſons pas. Le mât qu'on remorque ne prouve encore rien: j'ai toujours remarqué qu'on ne ſe déterminoit à faire avancer l'extrémité la plus groſſe la premiere, qu'afin que le cordage qui étoit lié ſur le mât, ne gliſſat pas. Mais enfin nous pouvons concilier tout; en diſant qu'il eſt à propos de donner à la proüe une certaine groſſeur & preſque toujours plus de groſſeur qu'à la poupe, non pas afin que le Vaiſſeau ſingle mieux; car nous ſommes ſurs que c'eſt tout le contraire, mais afin qu'il gouverne avec plus de facilité. Il faut malheureuſement renoncer un peu au premier de ces avantages pour jouir un peu plus de l'autre; & comme nous n'avons pas l'art de les balancer, parce qu'ils ſont de différens genres, nous ſommes obligés d'apprendre de l'expérience, le partage le plus convenable qu'on peut faire entr'eux.

III.

Cela ne nous empêchera pas d'indiquer ici ou de chercher quelques figures qui doivent avoir la propriété parfaite de bien gouverner. On doit mettre dans le premier rang, les Navires qui ont la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé, tels que ſont à peu près les Navires Chinois. Car la direction du choc de l'eau ſur tous les côtés de la carène, paſſe par le centre de gravité, & laiſſe par conſéquent le Navire à lui-même ou dans une parfaite indifference. Ce doit être la même choſe dans les routes obliques que dans la route directe. La direction du choc de l'eau paſſant toujours exactement par le même

Digitized by Google

point, cette force ne tend à alterer la situation du Navire ni d'un côté ni de l'autre; & aussi-tôt donc qu'on touche aux voiles de l'avant ou de l'arriere, rien n'empêche le Vaisseau de tourner & d'obeïr. On ne compte pas ici pour un obstacle la pesanteur du Vaisseau ou plûtôt son inertie ou cette force de persistance dont nous avons eu occasion de parler à la fin du livre précédent; car elle ne résiste qu'à proportion qu'elle se laisse vaincre: nous aurons cependant le soin d'examiner attentivement ses effets. Mais d'un autre côté la figure d'un parallelipipede rectangle n'est pas propre pour le sillage, en même tems qu'elle est sujette à une grande dérive; & on peut dire la même chose de toutes les autres formes qui donneront au Vaisseau l'avantage de mieux gouverner.

On s'en convaincra parfaitement, en considerant un Navire dont l'avant & l'arriere soient coniques, tels que les représente la figure 92. Lorsque nous supposons que la proüe est un cone, ce n'est pas dans le seul dessein de rendre nos recherches plus simples, c'est parce que cette figure ne différe pas extrémement de celle qui fend l'eau avec la plus grande facilité. Si on partage par la pensée la surface de cette proüe FEAD en une infinité de triangles, comme FA*f*, dont la pointe soit au sommet A du cone, le choc de l'eau sur chaque de ces triangles, se réunira dans son centre de gravité I qui sera au tiers de sa hauteur; & si on éleve de chaque de ces centres des perpendiculaires IC à la surface des triangles, elles représenteront les directions particulieres du choc, & elles viendront toutes rencontrer l'axe AB dans un même point C. Pour déterminer la distance AC de ce point à l'extrémité A de la proüe, il n'y a qu'à considérer que les triangles rectangles FHA & CIA sont semblables, & faire cette analogie; AH est à AF comme AI, qui est les deux tiers de AF, est à AC. Ainsi nommant a la longueur AH de la proüe, & x la demie largeur FH, ce qui nous donnera $AF = \sqrt{a^2+x^2}$, nous aurons en caracteres algébriques $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$ pour la valeur de AC. Fig. 92.

Digitized by Google

Fig. 92. Il n'eſt donc maintenant queſtion, ſi l'on veut donner au Navire AB formé de deux demi-cones, la proprieté complete de bien gouverner, que de faire enſorte que le centre de gravité C du tout, ſoit à la même diſtance $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$ du point A. Le centre de gravité particulier de chaque cone eſt au quart de ſa hauteur, comme on le prouve en Mécanique: le point K eſt le centre de gravité du cone de la proüe, & L le centre de gravité du cone de la poupe; & HK eſt le quart de HA, de même que HL eſt le quart de HB. Le centre de gravité commun C du tout partage la diſtance LK d'un centre de gravité particulier à l'autre reciproquement aux ſolidités des deux cones, qui à cauſe de la même baſe, ſont en même raiſon que les axes HA & HB, & que leurs mêmes parties aliquotes HK & HL. Ainſi il n'y a qu'à tranſporter HK en LC, ou HL en KC, & nous aurons en C le centre de gravité commun; c'eſt-à-dire, que ſi nous nommons y toute la longueur AB du Navire, ce qui nous donnera $y-a$ pour HB, nous n'avons qu'à joindre le quart $\frac{1}{4}y-\frac{1}{4}a$ de HB, avec AK $=\frac{1}{4}a$, & il nous viendra $\frac{1}{4}y+\frac{1}{2}a$ pour la diſtance CA du centre de gravité C à l'extrémité A de la proüe. Or c'eſt cette diſtance qui doit être égale à $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$, puiſqu'on veut que le centre de gravité concoure avec le point C où la direction du choc de l'eau coupe l'axe AB; nous avons donc l'équation $\frac{1}{4}y+\frac{1}{2}a=\frac{2a^2+2x^2}{3a}$. Supoſé maintenant que le raport de la longueur AB du Navire à la largeur DF ſoit donné & exprimé par m & n, nous pouvons faire cette analogie, $m \mid n \mid\mid y \mid 2x$, & nous obtiendrons l'équation $2mx = ny$ qu'il ne reſte plus qu'à introduire dans l'autre, pour avoir $\frac{mx}{2n}+\frac{1}{2}a=\frac{2a^2+2x^2}{3a}$. Mais on tire de cette derniere la *formule* $x=\frac{3ma}{8n}\pm a\sqrt{\frac{m^2-16n^2}{64n^2}}$ qui nous aprend la relation de la longueur a de la proüe à la demie largeur HD ou HF.

Dans les cas où la longueur du Navire ſera triple de ſa

Digitized by Google

largeur, on aura à la place de m & de n les nombres 3 & 1, & la formule précédente se réduira à $x = \frac{2}{5}a + a\sqrt{\frac{61}{64}}$. Supposé que a ou HA soit de 100 parties, la demie largeur HD ou HF sera d'environ $212\frac{1}{4}$, & l'angle CAF de presque 65 degrés. L'angle DAF qui est double, sera de plus de 129; & on juge assez qu'une proüe si obtuse éprouveroit de la part de l'eau une très-grande résistance; elle en éprouveroit presque deux fois plus, que la proüe des Flutes construites le plus grossierement. Fig. 92.

Ainsi il n'est que trop vrai qu'il y a une espece d'incompatibilité entre les deux proprietés du Navire, de bien gouverner par le moyen des voiles & de bien marcher, & qu'il faut, comme nous l'avons dit, renoncer un peu à l'une, afin de ne pas perdre tout-à-fait l'autre. Il est déja comme décidé que les Vaisseaux du premier & du second rang ne doivent pas disputer la promptitude du sillage aux Frégates, & qu'ils ne sont pas destinés à les poursuivre. Leur principal usage est de naviger en corps d'Armée, & de combattre en ligne. Ainsi on peut sans inconvenient être attentif à leur donner l'avantage de bien gouverner, en avançant un peu plus leur plus grande largeur ou leur centre de gravité vers la proüe. Dans les Frégates on exige au contraire la promptitude de la marche; il faut donc ne pas faire la proüe si obtuse, & reculer un peu plus vers l'arriere la plus grande largeur; ce qui fera aussi qu'elles dériveront moins. Mais ce changement ne doit jamais être que peu considérable, & tout au plus que d'une vingt-quatriéme partie de toute la longueur du Vaisseau; afin de ne pas trop préjudicier à quelques unes des autres proprietés.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

De l'endroit où le Vaiſſeau doit avoir ſa plus grande largeur, pour être plus ſenſible à l'effet du Gouvernail.

I.

LORSQU'IL ne s'agit pas de changer de route & qu'on veut ſimplement faire revenir le Vaiſſeau à ſa premiere direction, dont le choc irregulier des vagues l'avoit détourné, on ne ſe ſert que du Gouvernail. La Mer étant continuellement agitée, l'équilibre ſe trouve ſans ceſſe alteré, & il faut pour le rétablir faire un uſage continuel de cet inſtrument. Le Navire ſe meut en effet preſque toujours par élans; on le fait revenir inutilement à ſa vraie route, ſon mouvement le tranſporte de l'autre côté; ce qui met les *Timoniers* dans un travail qui ne ceſſe jamais. Nous allons examiner l'endroit du Navire, où il faut mettre ſa plus grande largeur, pour que ſa propre peſanteur ou ſon inertie favoriſe l'action du gouvernail le plus qu'il eſt poſſible.

Pluſieurs Mécaniciens ont déja découvert que lors qu'une puiſſance apliquée à l'extrémité d'une verge également peſante par tout, travaille à la faire tourner, cette verge tourne ſur un point qui eſt aux deux tiers de ſa longueur; & nos Auteurs de Marine, ſans remarquer que le cas pouvoit être différent, ſe ſont hâtés d'en inférer que l'endroit le plus gros & le plus peſant du Vaiſſeau, devoit être au tiers de ſa longueur vers la proüe. C'eſt vers cet endroit qu'on a mis pendant long-tems la plus grande largeur du Navire; d'où on ne l'a depuis reculée peu à peu vers le milieu, qu'afin de rendre la proüe plus aiguë & de diminuer la réſiſtance de l'eau. Mais il eſt certain qu'on a encore

Digitized by Google

encore aidé par ce changement l'action du gouvernail; & que c'eſt ici une de ces circonſtances où on a mieux fait de ſe laiſſer abſolument conduire par l'expérience, que de s'en raporter à une Théorie demeurée imparfaite, parce qu'elle n'avoit pas été pouſſée aſſez loin.

II.

Afin de mieux repréſenter le Vaiſſeau & ſon mouvement de tournoyement, nous nous imaginerons que la regle AB (Fig. 93.) eſt chargée d'un poids en D. Nous chercherons d'abord ſur quel point C elle doit tourner, lorſqu'une puiſſance apliquée en B pouſſe ſon extrémité de B en *b*; nous ferons enſuite changer le poids D de place en le faiſant gliſſer le long de la verge, & nous chercherons en quel endroit il faut l'arrêter, pour que l'angle de converſion BC*b* devienne un *maximum*, quoique la puiſſance qui agit en B ſoit toujours la même. Lorſque la regle AB tourne ſur le point C, chaque de ſes parties prend plus ou moins de mouvement, ſelon qu'elle eſt plus ou moins éloignée de ce point, & l'*inertie* ou la force de perſiſtence de toutes les parties BC fait le même effet qu'une puiſſance qui agiroit ſelon EF dans le ſens contraire au mouvement; en même tems que l'*inertie* des parties CA fait le même effet qu'une puiſſance qui agiſſant dans le point K, auroit KH pour direction. Or ces deux puiſſances doivent faire équilibre avec la puiſſance apliquée en B, qui produit tout le mouvement. Cette derniere puiſſance communique plus de viteſſe au point B qu'à tous les autres qui reſtent en arriere par leur inertie; & l'obſtacle que les parties de BC mettent à recevoir du mouvement, fait que la verge tourne ſur le point C, & que l'extrémité CA ſe meut dans un ſens contraire. Il eſt clair après cela, en y faiſant un peu de reflexion, qu'il n'y a qu'un équilibre parfait entre la réſiſtance que cauſe l'inertie des deux parties CA, CB, & la puiſſance apliquée en B, qui puiſſe empêcher la verge, ou de recevoir plus de mouvement, ou de tourner Fig. 93.

Digitized by Google

Fig. 93. sur un autre point. Nous ne mettrons point par tout ici, au nombre des obſtacles au mouvement de la regle, la réſiſtance que peut faire le milieu : car comme il ne s'agit que du ſeul commencement du mouvement, ou des premiers degrés de viteſſe qui ſont, ſi on le veut, infiniment petits, la réſiſtance du milieu doit être nulle.

Chaque partie de BC recevant un mouvement proportionel à ſa diſtance au point C, nous pouvons repréſenter le mouvement de tout BC par le triangle BC*b*; & le mouvement de tous les points de l'autre portion CA par le triangle AC*a*. Chaque point réſiſte à proportion du mouvement qu'il prend; de ſorte que les deux triangles BC*b* & AC*a* ne repréſentent pas moins les quantités de la réſiſtance que les quantités du mouvement. Si on conſidere de plus chaque de ces réſiſtances, comme réunie dans un ſeul point, ce ſera dans le centre de gravité de chaque triangle qui la repréſente, & ce ſera par conſéquent en E & en K aux deux tiers de CB & de CA, à commencer au centre de converſion. Mais puiſque la réſiſtance de BC ſelon EF, produit le mouvement de CA, & que nous pouvons prendre le point B pour hypomoclion, parce que l'équilibre eſt parfait entre la puiſſance appliquée en B & les deux réſiſtances qui s'exercent ſelon EF & KH; il eſt évident que la réſiſtance de BC multipliée par BE, doit être égale à la quantité du mouvement que reçoit CA multipliée par BK. Il eſt ordinairement plus naturel de prendre pour hypomoclion le point du levier qui ne change point de place; & on y eſt obligé lorſque le point d'apui eſt inébranlable, & lorſqu'il eſt capable d'ailleurs de toute la force qui eſt néceſſaire : mais dans l'équilibre parfait de trois ou d'un plus grand nombre de puiſſances qui ſuſpendent totalement l'effet les unes des autres, on peut toujours faire ſervir laquelle de ces puiſſances on veut d'hypomoclion, comme il eſt facile de s'en aſſurer. Il y a même preſque toujours de la commodité à en préferer une; parce que ſon moment ſe trouvant enſuite nul, on eſt diſpenſé d'y avoir égard. Plaçant dans la recherche

presente l'hypomoclion en B, le moment de la réſiſtance de BC eſt égal au moment du mouvement de CA, & il n'y a rien à conſiderer de plus, lorſqu'il n'y a point de poids en D: mais il eſt clair que la réſiſtance que forme le mouvement de ce corps, doit aider ici à celle de la partie BC. Fig. 93.

III.

Cela ſupoſé, nous n'avons qu'à nommer a la longueur de toute la regle AB, & repreſenter ſa peſanteur par la même lettre. Si nous nommons en même tems b la peſanteur du corps D; m ſa diſtance BD à l'extrémité B; u la viteſſe Bb, & enfin x la diſtance BC du centre de converſion à la même extrémité: nous aurons $\frac{1}{2}xu$ pour l'étenduë du triangle CBb, & $\frac{1}{2}a - \frac{1}{2}x \times \frac{u \times a - x}{x}$ moitié du produit de CA $= a - x$ par A$a = \frac{u \times a - x}{x}$ pour celle du triangle ACa. Et ſi nous multiplions la premiere par BE $= \frac{1}{3}x$ & la ſeconde par BK (= BA — AK) $= \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}x$, nous aurons les momens $\frac{1}{6}x^2u$ & $\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3 \times \frac{u}{x}$ qui ſeroient égaux; ſans qu'il faut joindre au premier le moment de la réſiſtance du corps D. Nous aurons d'abord la viteſſe de ce corps par cette analogie BC $= x$ | B$b = u$ || DC $= x - m$ | $x - m \times \frac{u}{x}$; multipliant enſuite cette viteſſe pat la peſanteur b, nous aurons $x - m \times \frac{bu}{x}$ pour la quantité du mouvement de ce corps & de la réſiſtance que produit ſon inertie, & multipliant cette réſiſtance par BD $= m$, nous en aurons le moment $bmx - bm^2 \times \frac{u}{x}$, qui doit être ajoutée au moment $\frac{1}{6}x^2u$ de la réſiſtance de la partie BC; & nous aurons l'équation $bmx - bm^2 \times \frac{u}{x} + \frac{1}{6}x^2u = \frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3 \times \frac{u}{x}$ dont nous tirons la formule $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ qui nous aprend en termes connus, com-

Digitized by Google

Fig. 93. bien le centre de conversion C est éloigné de l'extrémité B de la verge AB.

IV.

On peut faire différentes remarques sur cette formule : on voit, par exemple, qu'il y a deux cas où le corps D, quelque pesant qu'il soit, n'empêche pas le centre de conversion d'être aux deux tiers de la regle : c'est lorsqu'il est à l'extrémité B, à laquelle la puissance motrice est appliquée, ou lorsqu'il est dans le centre de conversion même aux deux tiers de la regle. Car qu'on suppose $m = 0$, ou $m = \frac{2}{3}a$, la quantité $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ se reduit alors également à $x = \frac{2}{3}a$; sans qu'il importe que la pesanteur b du corps D soit d'une grandeur ou d'une petitesse énorme par raport à celle de la regle : ce que la formule nous indique, est d'ailleurs évident. Mais il est maintenant question de chercher pour chaque position que peut avoir le poids D, la quantité de l'angle de conversion BCb. Nous représenterons pour cela la puissance qui agit en B par le mouvement d'un corps d'une pesanteur ou d'une masse connuë p qui vient fraper l'extrémité B avec une viteſſe constante V, & nous supoſerons que le choc se fait à la maniere des corps absolument dénués d'élasticité; c'est-à-dire, que nous considererons le corps & la regle, ou comme mols ou comme infiniment durs : car c'est la même chose, lorsqu'il s'agit de la communication des mouvemens.

La quantité de mouvement que reçoit la regle est le produit de sa masse ou de sa pesanteur a par la viteſſe que prend son centre de gravité qui est au milieu M de sa longueur. Certaines parties se meuvent plus vite; d'autres plus lentement; mais la viteſſe du centre de gravité, est la viteſſe moyenne, & on peut toujours sans se tromper l'attribuer à tout le corps. Ainsi nous n'avons qu'à faire cette analogie; $BC = x \mid Bb = u \mid\mid CM = x - \frac{1}{2}a \mid u - \frac{au}{2x}$, nous au-

rons $u - \frac{au}{2x}$ pour la viteſſe que prend la verge, & la multipliant par a, nous aurons $au - \frac{a^2u}{2x}$ pour la quantité de mouvemeut reçûë. Nous avons déja trouvé la quantité de mouvement reçûë par le corps D; c'eſt $bu - \frac{bmu}{x}$, qu'il n'y a qu'à ajouter à celui de la regle, & nous aurons le mouvement total $au + bu - \frac{a^2u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ communiqué par la puiſſance qui agit en B. Or ce dernier mouvement doit être égal à celui qu'à perdu la puiſſance ou le corps p qui la repréſente, & qui n'a après le choc que la viteſſe u, au lieu qu'il avoit auparavant la viteſſe V. Cette égalité doit être parfaite: car ce n'eſt pas ici le cas où un obſtacle inébranlable, qui ſert d'hypomoclion, abſorbe quelquefois une partie du mouvement; toute la regle ſe meut ou peut ſe mouvoir, & le mouvement ſe fait outre cela dans le ſens perpendiculaire à ſa longueur, ou dans le même ſens qu'agit la puiſſance B, ſans qu'il y ait aucune réduction ou décompoſition de force à faire. Fig. 93.

Pour mieux s'en convaincre, on n'a qu'à conſiderer que lorſqu'un corps vient fraper une regle dans un certain point, le centre de mouvement que reçoit cette regle, & en même tems tous les poids dont elle eſt chargée, ſe trouve néceſſairement dans le point frapé. Car il faut toujours que le mouvement de la regle ſoit en équilibre de part & d'autre de ce point; autrement une des extrémités de la regle prendroit plus ou moins de viteſſe: ou pour dire encore la même choſe en d'autres termes, le point frapé doit toujours devenir le centre de percuſſion de la regle en mouvement & de ſes poids. Ainſi la direction moyenne ſur laquelle s'exerçoit le mouvement perdu du corps choquant, ne differe pas de la direction du mouvement acquis de la regle, c'eſt préciſement la même ligne. Supoſé donc qu'on prenne pour hypomoclion le point ſur lequel tourne la regle, ou qu'on prenne tout autre point imaginable, les deux directions en ſeront toujours également éloignées, &

Digitized by Google

Fig. 93. par conſéquent les deux forces ne peuvent pas manquer d'être exactement égales ; le mouvement perdu d'un des corps, & le mouvement acquis de l'autre. Il ſuit de là que pV déſignant le mouvement qu'avoit d'abord le corps p, & pu celui qui lui reſte, ſon mouvement perdu ſera déſigné par $pV - pu$; & que nous aurons l'équation $pV - pu = au + bu - \frac{a^2u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ dont on tire $u = \frac{pVx}{a+b+px x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$.

Formule qui nous marque en grandeurs entierement connuës, puiſque nous avons déja trouvé x, la quantité de la viteſſe u que prend l'extrémité B de la verge.

V.

Mais nous ne devons pas faire de cette viteſſe l'unique objet de notre recherche ; c'eſt l'angle de converſion BCb qu'il s'agit maintenant de découvrir ; & il eſt évident que la grandeur de cet angle dépend de la grandeur de la viteſſe Bb, & de la petiteſſe de BC. Plus la viteſſe Bb ſera grande, tout le reſte étant égal, plus l'angle BCb ſera grand ; & ce même angle ſera encore plus grand, plus la diſtance BC où les deux côtés qui forment l'angle, vont ſe rencontrer, ſera petite. Cet angle peut donc être repréſenté par Bb diviſée par BC ; & nous aurons pour ſon expreſſion algébrique $\frac{u}{x} = \frac{pV}{a+b+p\times x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$ qui ſe change en $\frac{pV \times \frac{1}{2}a^2 + bm}{\frac{1}{12}a^4 + \frac{1}{3}a^3b + \frac{1}{3}a^3p - a^2bm + bpm^2 + abm^2}$, lorſqu'on introduit $\frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ à la place de x. Il ne nous reſte plus après cela qu'à rendre cette quantité un *plus grand*, en ſupoſant m variable. Je prens la différentielle de cette quantité, & l'égalant à zéro, ſelon les regles ordinaires, il vient $\left.\begin{matrix} +ab^2 \\ +b^2p \end{matrix}\right\} m^2 + \left.\begin{matrix} +a^3b \\ +a^2bp \end{matrix}\right\} m = \frac{7}{12}a^4b + \frac{1}{3}a^3b^2 + \frac{1}{3}a^3bp$ qui contient la valeur de m qu'on vouloit découvrir, ou la diſtance BD à laquelle il faut arrêter le poids D, pour que la verge BA tourne avec le plus de facilité qu'il eſt poſſible.

Digitized by Google

Si on suposé que le mobile qui frape l'extrémité B de la regle, est d'une petitesse indéfinie, & que son action ne soit sensible que parce qu'elle est repetée une infinité de fois, comme cela arrive effectivement à celle de l'eau contre le gouvernail, il faut effacer tous les termes qui contiennent p, & on aura $bm^2 + a^2m = \frac{7}{12}a^3 + \frac{1}{3}a^2b$, dont on tire $m = -\frac{a^2}{2b} \pm \sqrt{\frac{a^4}{4b^2} + \frac{7a^3}{12b} + \frac{1}{3}a^2}$. Veut-on maintenant que le poids b du corps D soit énorme par raport à la pesanteur a de la regle ; nous aurons $m = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de sorte que si la longueur AB est de 100 parties, il faudra mettre le poids D à presque 58 parties de distance de l'extrémité B. Le poids D au contraire est-il infiniment petit, nous aurons $m = \frac{7}{12}a$; de sorte que si ce corps étoit capable de quelque effet, pendant qu'il est infiniment petit, il faudroit le mettre à $58\frac{1}{3}$ parties. Ce sera encore à peu près la même chose, si on suposé le poids D égal à celui de la regle; car on aura $m = -\frac{1}{2}a \pm a\sqrt{\frac{7}{6}}$ qui est égal à très-peu près aux $\frac{7}{12}$ de BA. Or on peut inférer de-là que la plus grande largeur des Vaisseaux pour qu'ils puissent mieux sentir le gouvernail, *ne doit pas être au milieu de leur longueur ni aussi tout-à-fait aux deux tiers ; mais à peu près entre ces deux points, ou à environ une douziéme partie de toute la longueur plus en avant que le milieu.* Nous disons que le Vaisseau doit avoir sa plus grande grosseur dans cet endroit & non pas son centre de gravité. Car excepté le cas qui n'a jamais son aplication, où le poids D est infiniment grand, par raport à la pesanteur de la regle BA, le centre de gravité du tout est toujours entre le point D & le milieu de la regle; & lors qu'on mettra la plus grande largeur du Navire D vis-à-vis des cinq douziémes de sa longueur à commencer de la proüe A, le centre de gravité sera aussi toujours plus vers le milieu. Fig. 93.

VI.

Il est vrai que la plus grande largeur ne sera pas dans l'endroit où il faut qu'elle soit pour satisfaire à la condition

Digitized by Google

Fig. 93. que nous avons taché de remplir dans le Chapitre précédent : mais il faut toujours se souvenir qu'il n'est pas possible de concilier les quatre divers avantages qu'on peut avoir actuellement en vûë ; & que ce n'est pas non plus ici le même cas qu'en Geométrie, lorsqu'il s'agit des quantités qu'on nomme *maximum maximorum*. Là le changement de certaines conditions faisant augmenter une grandeur, & la rendant un *maximum*, le changement de quelques autres conditions qui se joignent aux premieres, fait encore croître la grandeur & la même grandeur. Ainsi il n'y a qu'à combiner toutes les conditions ou les équations qui les représentent, pour obtenir le *maximum maximorum*. C'est tout le contraire dans les Problêmes qui font maintenant l'objet de notre recherche. Il s'agit de *maximum* de genres tout différens, & qui se nuisent par leur contrarieté. Si nous voulons conserver au Vaisseau cette indifférence de situation qui fait qu'il gouverne aisément par le moyen des voiles, il faut porter sa plus grande largeur beaucoup plus vers la prouë ; mais alors nous ferons tort à la proprieté qu'il doit avoir d'être sensible au gouvernail, de même qu'à celle de singler avec promptitude, & à celle d'être sujet à peu de dérive ou de déviation dans les routes obliques. Nous avons montré dans la premiere Section que ces deux dernieres proprietés vont toujours ensemble : d'abord elles sont jointes aussi, pour ainsi dire, d'interêt avec celle que doit avoir le Vaisseau d'obéir aisément au gouvernail, mais elles s'en séparent à la fin ; puisque pour faire accelerer de plus en plus le sillage, de même que pour rendre la dérive de plus petite en plus petite, il faudroit porter la plus grande largeur beaucoup plus en arriere qu'aux cinq douziémes de la longueur du Navire, à commencer de l'extrémité de la prouë. On est obligé encore une fois de se prêter plus ou moins à l'une ou à l'autre des quatre conditions, selon les usages auxquels on destine les Navires ; & on pourra pour cela, ainsi que nous en avons déja averti à la fin du Chapitre précédent, avancer ou reculer la plus grande largeur d'une vingt-

Digitized by Google

vingt-quatriéme partie. Au reſte quoiqu'il ſoit clair qu'on ne doive pas trop preſſer la comparaiſon entre le Vaiſſeau & la regle ou verge peſante; comme on voit néanmoins que les maſſes ou les peſanteurs les plus différentes qu'on attribuë au poids qui la charge, ne font changer que très-peu le point le plus avantageux où il faut l'apliquer, on a ici une forte confirmation, de ce que l'expérience ſeule, mais aidée d'un long tâtonnement, avoit déja réuſſi à déterminer.

CHAPITRE IV.

Méthode de reconnoître ſi un Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire gouvernera avec facilité; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puiſſances tendent à faire tourner en même tems de deux différens côtés.

I.

PUIS qu'on ne doit pas donner aux Vaiſſeaux la proprieté parfaite de bien gouverner, afin de ne pas trop préjudicier à ſes autres qualités; on doit au moins examiner s'ils la poſſederont dans un degré ſuffiſant, pour les uſages ordinaires. La queſtion ſe réduit à ſçavoir, lorſque le Navire eſt expoſé au choc du vent & à celui de l'eau, & que ces deux forces ne ſont pas directement contraires, laquelle des deux doit prévaloir. Nous repréſenterons encore le Vaiſſeau par une regle AB (Fig. 94.) mais à chaque point de laquelle on attribuera la peſanteur qu'on voudra, & nous la ſupoſerons expoſée à l'action de deux puiſſances extérieures qui agiſſant perpendiculairement à ſa longueur, tendent à la faire tourner en différens ſens, l'une en s'exerçant ſelon la direction A*a* & l'autre ſelon la direction DE. Nous ſçavons bien que l'effort du vent ſur la voile n'agit pas perpendiculairement à la longueur du Vaiſſeau, Fig. 94.

Fig. 94. non plus que le choc de l'eau sur la proüe ; mais on peut toujours réduire aisément ces puissances à un effort perpendiculaire, en négligeant la partie qui agit exactement selon la longueur du Navire, & qui ne contribuë aucunement à le faire tourner ; de cette sorte la comparaison sera parfaite.

Si les deux puissances apliquées en A & en D sont égales, celle qui sera la plus éloignée du centre de gravité G de la regle doit dominer infailliblement, & la regle tourner sur son centre de gravité G, par la même raison que le Vaisseau dans le roulis, fait ses balancemens autour du même point. La regle AB prenant la situation *ab*, toute la partie GA résiste par son inertie, comme une puissance qui agiroit dans le sens contraire de I en K, conformement à ce que nous avons déja dit tant de fois, & l'inertie de la partie GB, fait le même effet qu'une puissance qui s'exerceroit selon FH. Or ces deux puissances doivent être en équilibre avec les deux forces motrices qui agissent selon A*a* & selon DE ; & puisque ces deux forces motrices sont égales entr'elles, il faut que les deux autres le soient aussi. * Mais il résulte de là que les deux parties GA & GB doivent prendre précisément la même quantité de mouvement, & que toute la regle doit donc tourner sur son centre de gravité.

* Voyez l'article 1. & 3. du Chap. 1. Sect. 3. Liv. 2.

Cette proprieté est très-remarquable ; qu'aussi-tôt que les deux puissances motrices sont égales, elles font toujours tourner la regle sur son centre de gravité, sans qu'il importe en quel endroit elles soient apliquées. Il n'y a que la quantité du tournoyement qui dépende de cette derniere circonstance ; car si c'est une des conditions de l'équilibre que la somme des deux forces qui agissent d'un côté, soit égale à la somme des deux autres forces qui agissent de l'autre, parce que les directions sont exactement paralleles, il faut encore qu'il y ait égalité entre les momens ; & cette égalité naît du différent raport qu'ont les résistances produites par l'inertie, avec les forces motrices. Lorsque ces deux dernieres forces sont inégales, les deux résistan-

Digitized by Google

ces doivent l'être pareillement ; & la regle au lieu de tourner sur son centre de gravité, doit tourner sur un autre point. De tout cela il naît différens cas qu'on peut distinguer, en examinant les circonstances de l'équilibre qui doit toujours se trouver entre les quatre forces qui sont ici à considerer. Mais nous allons discuter la chose d'une maniere plus simple & qui aplanira extrémement toutes les difficultés qui peuvent se présenter dans cette recherche.

II.

Nous considérerons les deux forces motrices, dont l'action est simultanée, comme si elles agissoient l'une après l'autre, en ne mettant que le moindre intervale entre leurs effets successifs. On examinera de cette sorte le tournoyement que chaque puissance cause à part, & on obtiendra à la fin le résultat total ou ultérieur. Nous avons pour cela besoin de deux principes, l'un desquels nous a déja servi & que nous avons éclairci ; sçavoir, qu'en quelque endroit que soit apliquée la puissance motrice, le centre de gravité de la regle ou du corps sur lequel cette puissance agit, prend toujours la même viteſſe ; parce que c'est le chemin que parcourt ce point qui exprime ou qui représente le mouvement que reçoit tout le corps, & que ce mouvement doit être égal à la force employée par la puissance motrice;& constament le même, aussi-tôt que la puissance agit avec une viteſſe incomparablement grande par raport à celle que prend le corps dans chaque instant. Le second principe, c'est que plus la force motrice est apliquée proche du centre de gravité de la regle, plus elle la fait tourner sur un point qui en est éloigné, & les deux distances sont toujours en raison inverse l'une de l'autre. Je crois que ce second principe est connu des Mécaniciens, & qu'il a même été déja établi, quoique sous une face différente, par M. Huguens dans son Traité *de Horologio oscillatorio* ; je n'en suis cependant pas sûr, & c'est ce que je ne puis vérifier maintenant. On croira sans peine que

je n'ai dans les deſerts & ſur les montagnes du Pérou, où je travaille à ce Traité, que les ſeuls Livres qui me ſont abſolument néceſſaires pour mes opérations actuelles, & que je manque de tous les autres qu'on ne connoît pas même dans le Païs.

III.

* Quoique j'aie vû à mon retour que M. Huguens avoit établi le principe dont il eſt queſtion, j'ai cru ne devoir rien changer ici.

Pour ne pas, dans le doute *, laiſſer ſans quelque explication le principe dont il s'agit, conſidérons la regle BA (Fig. 95.) pendant qu'elle tourne ſur ſon extrémité B, en prenant la ſituation B*a*. Chaque de ſes points, comme F, recevra une viteſſe proportionelle à ſa diſtance au point B; mais comme nous ſupoſons que cette regle n'eſt pas par tout également peſante, le mouvement de ſes parties ne ſera pas proportionel à leur viteſſe, mais il ſera repréſenté par les ordonnées FH d'une courbe BHA; chaque ordonnée étant égale au produit de la peſanteur du point correſpondant par ſa viteſſe, ou ce qui eſt la même choſe par ſa diſtance à l'extrémité B; & toute l'étenduë curviligne ABHA, qui eſt la ſomme de toutes les ordonnées, exprimera le mouvement de toute la regle. Ce mouvement eſt égal au produit de la maſſe entiere par la diſtance GB de ſon centre de gravité G à l'extrémité B; puiſqu'on démontre en Mécanique, que ſi on fait une ſomme des produits de toutes les parties d'un corps par leur diſtance à un point qu'on prend pour terme, cette ſomme eſt égale au produit de tout le corps par la diſtance de ſon centre de gravité commun, à ce point qui ſert de terme.

Fig. 95.

On peut conſiderer outre cela le mouvement de toute la regle, réuni dans un centre D, lequel doit differer du centre de gravité G; parce que toutes les parties de la regle, prennent des viteſſes différentes; & il eſt évident que ce centre doit répondre en D, vis-à-vis du centre de gravité E de l'eſpace curviligne, qui exprime non-ſeulement la quantité totale du mouvement, mais qui en marque auſſi la diſtribution par ſes ordonnées. Or il eſt clair

Digitized by Google

que si une puissance pousse la regle perpendiculairement dans le point D, elle la fera tourner exactement sur son extrémité B: car aussi-tôt que D est le point dans lequel on peut considerer que tout le mouvement se réunit, les quantités de mouvement que prend la regle de part & d'autre de ce point, doivent se contrebalancer parfaitement, de même que les résistances que cause l'inertie; au lieu que cet équilibre ne subsisteroit plus si la puissance étant toujours apliquée en D, la regle tournoit sur tout autre point que sur l'extrémité B. Fig. 95.

Supofons maintenant que la regle tourne sur le point C, & prenne la situation ba. Alors le mouvement de chaque point, comme F, au lieu d'être proportionel au produit de sa masse par sa distance FB à l'extrémité B, sera proportionel au produit de sa masse par sa distance FC au centre de conversion C; ainsi pour représenter le mouvement total de la regle, il faut ajouter à la figure mixtiligne ABHA, une autre figure curviligne AHBIA dont les ordonnées, comme HI, soient proportionelles au produit de la masse de chaque point F par la ligne constante BC. La pesanteur de chaque point étant multipliée par la ligne BC; le centre de gravité g de la figure ajoutée AHBI doit répondre exactement vis-à-vis du centre de gravité G de la regle. Et il est clair que le point K où il faut apliquer la force motrice qui doit faire tourner la regle sur le point C, en la poussant perpendiculairement, doit répondre vis-à-vis du centre de gravité de la figure entiere ABIA, qui représente le mouvement total de la regle. Or pour déterminer ce centre de gravité commun, ou pour déterminer le point K, il n'y a qu'à partager l'intervale GD compris entre les points G & D qui répondent au centre de gravité des deux figures partiales BHAI & BFAH; il n'y a, dis-je, qu'à partager GD en raison inverse des deux figures ou des deux lignes CB & BG qui sont en même raport que ces deux figures; puisque l'une est le produit de toute la masse de la regle AB par CB, & l'autre le produit de cette même masse par BG.

Digitized by Google

Fig. 95. Ainſi ſi une figure eſt égale à l'autre, CB ſera égale à BG, ou CG double de BG, & le point K étant au milieu de GD, l'intervale GD ſera auſſi double de GK. Si pareillement la figure partiale BHAI eſt double de la figure BFAH, la ligne CB ſera double de BG, & CG en ſera triple; mais le point K étant deux fois plus voiſin de G que de D, l'intervale GD, qui eſt conſtant, ſera auſſi triple de GK. En un mot, il y aura toujours même raiſon, entre KG & KD, qu'entre BG & BC; & il y aura donc auſſi même raiſon entre GK & GD, qu'entre GB & GC; ce qui montre qu'à meſure que le centre de converſion C eſt plus éloigné du centre de gravité G de la regle, le point K où il faut que la force motrice ſoit apliquée, eſt plus proche de l'autre côté du centre de gravité, & qu'il s'en aproche préciſément en même raport que le centre de converſion s'en éloigne; de ſorte que les deux diſtances ſont toujours en raiſon reciproque.

CHAPITRE V.

Suite du Chapitre précédent; uſage des Principes établis ci-devant pour déterminer la quantité de mouvement de converſion que prend un corps expoſé à l'action de pluſieurs puiſſances.

I.

LEs principes que nous venons d'établir étant admis, il eſt facile de prévoir toutes les particularités du mouvement d'une regle qui eſt ſujette à l'action de deux ou d'un plus grand nombre de puiſſances. Imaginons-nous
Fig. 96. la regle AB (Fig. 96.) pouſſée en même tems en A par un agent qui s'exerce ſelon la direction Aa, & en D par un autre agent qui s'exerce ſelon DE. On ſçait que c'eſt la même choſe quant à l'effet ultérieur, lorſqu'un corps

Digitized by Google

eſt expoſé à l'action de pluſieurs puiſſances, de ſupoſer que ce corps a été mû par la diagonale qui eſt la direction compoſée de toutes ces puiſſances, ou de ſupoſer qu'il a cedé ſucceſſivement à chaque impreſſion particuliere l'une après l'autre ; & qu'on trouve toujours qu'il eſt parvenu dans le même point. Ainſi quoique les deux actions dont il s'agit ici ſoient ſimultanées, nous pouvons les conſiderer chacune à part, ſans qu'il importe laquelle nous examinions la premiere. Je dis donc que la puiſſance apliquée en A ſera tourner la regle ſur un certain point C, dont la ſituation dépendra de la diſtance AG de la puiſſance A au centre de gravité G, & que le chemin Gg que parcourra ce même centre de gravité, ſera proportionel à la force abſoluë de la puiſſance A, parce que ce chemin repréſente, comme nous l'avons dit, le mouvement total que reçoit la regle. Plus ce chemin ſera grand, plus l'angle de converſion ACa le ſera auſſi : mais la grandeur de ce même angle depend en même tems de la diſtance CG du centre de converſion C au centre de gravité G. Si cette diſtance eſt deux ou trois fois plus petite, tout le reſte étant égal, l'angle de converſion ſera deux ou trois fois plus grand ; de ſorte que l'angle de converſion qui ſuit la raiſon inverſe de CG, ſuit la raiſon directe de GA. Or il ſuit de là, en conſidérant tout, que cet angle eſt proportionel au produit du chemin Gg du centre de gravité par GA, ou ce qui revient au même, qu'il eſt comme le produit de la puiſſance A par ſa diſtance GA au centre de gravité G. C'eſt-à-dire, que nous avons ce Théoreme très-digne de remarque, que *la grandeur de l'angle de converſion d'une regle pouſſée perpendiculairement à ſa longueur, ou que la quantité de ſon détour eſt toujours proportionelle au moment de la puiſſance par raport au centre de gravité de cette regle, ſans qu'il importe ſur quel point la regle tourne ni par quel endroit elle ſoit pouſſée.* Fig. 96.

Mais auſſi-tôt que la regle AB a été tranſportée en ab par l'effort de la premiere puiſſance, elle doit ſortir de

Fig. 96. cette situation par l'effort de l'autre qui est apliquée en D ou en *d* & qui agit selon *d*E. Plus cette seconde puissance sera voisine du centre de gravité G ou g, plus elle fera tourner la regle ab sur un point *c* éloigné; & conformement à ce que nous avons déja dit, le centre de gravité g doit parcourir dans ce second moment un chemin g*g*, proportionel à la force absoluë de la seconde puissance. Ainsi si cette seconde puissance est parfaitement égale à la premiere, le centre de gravité ne fera autre chose que revenir dans la premiere place G; & il arrivera donc que la regle n'aura tourné que sur ce point. Car on voit assez que les autres centres de conversion C & *c* ne sont que fictices & qu'ils ne doivent leur origine qu'à la distinction d'ordre que nous feignons pour notre commodité entre les actions des deux puissances, quoi qu'elles soient parfaitement simultanées. Mais si la seconde puissance qui agit selon *d*E a plus de force absoluë que la premiere qui agit selon Aa, le centre de gravité g sera transporté plus loin que G, il sera porté jusqu'en *g*, & la regle ab se trouvera située en *ab*; de sorte que l'action mutuelle des deux puissances aura fait passer la regle AB en *ab*, & l'aura par conséquent fait tourner réellement sur le centre de conversion F.

Ainsi l'angle vrai de conversion, celui qui résulte des deux actions réunies & qui en est l'effet ulterieur, est l'angle AF*a* ou BF*b*, lequel, comme on le voit, est la différence des deux angles de conversion ACa & a*ca* que causeroient séparement les deux puissances. Mais par la même raison que le premier angle de conversion ACa est proportionel au moment de l'agent A, ou au produit de sa force absoluë par sa distance GA au centre de gravité G, le second angle a*ca* est proportionel au moment de la seconde puissance, ou au moment de sa force absoluë par la distance *d*g ou DG au centre de gravité de la regle; & de là il suit que l'angle réel AF*a* de conversion, celui qui est produit par la concomitance des deux puissances, est proportionel (parce que ces deux puissances agissent en sens

ſens contraire) à l'excès d'un moment ſur l'autre. Supoſé que nous nommions A une des puiſſances & D l'autre, l'angle réel de converſion ſera donc proportionel à $A \times AG - D \times DG$; & cet angle ſera poſitif ou négatif, ſelon la maniere dont l'excès du premier moment ſur le ſecond, ſera affecté. Si le premier moment eſt réellement plus grand que le ſecond, la premiere puiſſance vaincra la ſeconde & le mouvement ſe fera comme il eſt repréſenté dans la figure 96. Si les deux momens ſont égaux, l'angle réel de converſion ſera nul; de ſorte que les deux différentes ſituations AB & *ab* ſeront exactement paralleles, comme dans la figure 97, & la verge qui aura changé de place, n'aura pas tourné. Enfin ſi le moment de la premiere puiſſance eſt moindre que celui de la ſeconde, l'angle de converſion ſera négatif; la premiere puiſſance ſera vaincuë par la ſeconde, & l'effort des deux aura fait paſſer la regle AB dans la ſituation *ab*, comme le repréſente la figure 98. Fig. 96.

II.

On voit aſſez que c'eſt ordinairement le premier de ces trois cas que nous devons rechercher. Car la premiere puiſſance, celle qui eſt apliquée en A, repréſente les voiles de l'avant, pendant que la ſeconde puiſſance, celle qui agit ſelon DE, repréſente le choc de l'eau ſur la proüe, produit par la viteſſe du ſillage; & le plus grand inconvenient qu'on a preſque toujours à craindre dans les Navires qui ne gouvernent pas, c'eſt que l'effort des voiles de l'avant ne ſoit pas capable de ſurmonter le choc de l'eau, lorſqu'il s'agit de faire tourner le Navire. Mais rien n'empêchera maintenant de reconnoître avec une extréme facilité, les bonnes ou les mauvaiſes qualités qu'auront à cet égard tous les Vaiſſeaux qu'on ſe propoſe de conſtruire: il n'y aura qu'à examiner combien un des momens eſt plus grand que l'autre par raport au centre de gravité. Il étoit aſſez facile de ſoupçonner que ce moyen devoit ſervir, lorſque le centre de converſion ne differe pas du centre

Fig. 96. de gravité; ce qu'il y a de particulier, c'eſt qu'il a également lieu, lorſque le mouvement ſe fait ſur tout autre point.

Supoſé que le Vaiſſeau de la figure 67 ſingle à toutes voiles, on pourra repréſenter l'effort du vent par l'étenduë même des voiles; & cette même étenduë repréſentera auſſi la force du choc de l'eau ſur la prouë qui s'exerce ſelon FC; puiſque les efforts du vent & de l'eau, ſelon le ſens horiſontal, ſont parfaitement égaux. Si après cela on ſuprime une des voiles, & qu'il ſoit queſtion de ſçavoir ſi le Navire obéira avec promptitude à l'effort des autres voiles, on pourroit décompoſer les forces, & chercher les parties qui agiſſent dans le ſeul ſens perpendiculaire à la quille; mais cela n'eſt pas néceſſaire: continuant à exprimer le choc de l'eau ſur la prouë par l'étenduë qu'avoient toutes les voiles, il n'y aura qu'à multiplier cette étenduë par la diſtance GC du centre de gravité G du Navire à la direction FC du choc, & on aura le moment de ce choc. On trouvera de la même maniere le moment de l'effort des voiles qui ſervent; & on verra de cette ſorte dans tous les cas imaginables laquelle des impulſions doit dominer.

Si l'étenduë des voiles avec leſquelles le Vaiſſeau faiſoit route, étoit par exemple, de 20000 pieds quarrés, & que la direction CF de leur effort paſſât à 30 pieds de diſtance du centre de gravité G, on aura 600000 pour leur moment ou pour celui du choc de l'eau contre la prouë qui eſt préciſément le même. Pour peu enſuite qu'on diminuë l'étenduë des voiles de la poupe, la force relative avec laquelle les autres voiles travailleront à faire tourner le Navire ne pourra pas manquer de ſe trouver plus grande; puiſque le moment de la partie ſuprimée tendoit à produire un effet contraire, il étoit négatif; auſſi-tôt que cette partie étoit en arriere du centre de gravité du Vaiſſeau. Ainſi la retrancher, c'eſt la même choſe que ſi on l'ajoutoit en avant. Mais on aprendra, en multipliant par leur diſtance au centre de gravité l'étenduë des voiles actuel-

Digitized by Google

lement déployées, ſi leur moment eſt effectivement plus grand d'une quantité aſſez conſidérable. Supoſé que l'étenduë des voiles de la poupe qu'on a ſerrées, ſoit de 3000 pieds, & que la direction compoſée ou moyenne des autres qui auront 17000 pieds de ſurface, ne ſe trouvât éloignée que de 36 pieds du centre G, leur moment ne ſeroit que de 612000; & le moindre obſtacle, comme une Mer un peu agitée, ou une legere diminution, mais ſubite dans la force du vent, ſeroit cauſe tous les jours que ces dernieres voiles ne reuſſiroient pas à vaincre le choc de l'eau dont le moment ſeroit de 600000. On concluroit donc que dans le partage qu'on a fait entre les proprietés que doit avoir le Vaiſſeau, on a trop accordé à l'avantage de marcher avec viteſſe, au préjudice de celui de gouverner avec facilité. Pour corriger ce défaut, il faudroit mettre encore quelques voiles vers la prouë dont on ſe ſerviroit dans l'occaſion; ou ſi la choſe n'étoit pas poſſible, & que le Vaiſſeau ne fût que projetté, il faudroit, conformement à ce qu'on a vû dans les Chapitres précédens, porter un peu plus vers l'avant la plus grande largeur de la carène.

III.

Nous n'avons pas beſoin dans cette recherche de ſçavoir ſur quel point doit tourner le Navire, mais on nous pardonnera ſans doute cette curioſité. Si l'angle réel AFa (Fig. 96 & 98.) de converſion étoit égal à l'angle de converſion ACa, que cauſeroit la premiere puiſſance ſi elle étoit ſeule, les triangles GCg & GFg ſeroient ſemblables, & nous aurions cette analogie Gg | Gg || GC | GF; ou en mettant à la place de Gg & de Gg, la premiere puiſſance A, & ſon excès A — D ſur la ſeconde qui ſont en même raport, nous aurons A | A — D || GC | GF; de ſorte que GF ſeroit égale à $\frac{A-D}{A} \times$ GC. Mais puiſque les angles en C & en F ne ſont point égaux, la quantité $\frac{A-D}{A} \times$ G ne doit point être la juſte valeur de GF; mais celle de Gf in- Fig. 96. & 98.

Fig. 96. & 98. terceptée entre le centre de gravité G & une ligne droite gf parallele à ba qui passeroit par le point g. Et à l'égard de CF elle doit être plus grande ou plus petite, selon que l'angle en F est plus petit ou plus grand que l'angle f ou que l'angle C; c'est-à-dire, que Gf & GF sont en raison réciproque des angles f & F, ou C & F. Ainsi nous n'aurons qu'à faire cette seconde analogie, en mettant à la place des angles dont il s'agit, les momens qui leur sont proportionels; l'excès $A \times GA - D \times GD$ du moment de la premiere puissance sur celui de la seconde, est au moment $A \times GA$ de la premiere puissance, comme la quantité $\frac{A-D}{A} \times GC$ ou Gf est à GF, qui se trouve égale à $\frac{A-D}{A \times GA - D \times GD} \times GA \times GC$: de sorte que pour trouver immédiatement la distance FG du centre de gravité G au centre réel de conversion, il n'y a qu'à faire cette unique proportion; la différence des momens des deux puissances est à la différence même de ces puissances, comme le rectangle de GA & de l'intervale GC compris entre le centre de gravité G & le point C où seroit le centre de conversion, si la regle n'étoit muë que par la premiere puissance, est à la distance GF du centre de gravité au vrai centre de conversion F. On peut faire sur cette valeur $\frac{A-D}{A \times CA - D \times GD} \times GA \times GC$ de GF différentes remarques que nous suprimons, pour ne pas allonger davantage ce Chapitre ni cette Section, & pour passer plus promptement à l'examen du Vaisseau par raport à la mâture.

Digitized by Google

QUATRIE'ME SECTION.

Où l'on examine le Vaiſſeau par raport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la Voile, ou de recevoir une voilure avantageuſe.

CHAPITRE PREMIER.

De l'effort mutuel vertical que forment enſemble les impulſions du Vent ſur les Voiles & de l'Eau ſur la Prouë.

I.

IL ſuffit pour réſoudre les Problêmes de Manœuvre, de même que toutes les queſtions que nous venons de diſcuter, d'avoir égard aux efforts du vent & de l'eau reduits au ſens horiſontal; parce que ce ſont ces ſeuls efforts relatifs qui contribuent au ſillage & qui font paſſer le Navire d'une route à l'autre. Ce n'eſt plus la même choſe auſſitôt qu'il s'agit de la diſpoſition de la mâture & de la ſituation inclinée ou horiſontale que peut prendre le Vaiſſeau: on eſt obligé de conſiderer les forces abſoluës des chocs de l'eau & du vent dans leur état actuel, & de ſe livrer à la difficulté entiere que renferme un ſemblable examen. Comme la prouë AE (Fig. 99.) a toujours quelque ſaillie, Fig. 99.

Fig. 99. ou qu'elle eſt inclinée en avant, de même que le flanc du Navire, elle ne peut pas être pouſſée par le choc de l'eau dans le ſens horiſontal, ſans l'être en même tems dans le vertical ; c'eſt-à-dire que l'eau par ſon choc fait non-ſeulement effort pour pouſſer la proüe en arriere, mais auſſi pour l'élever. Elle la pouſſe ſelon une direction DH, dont la ſituation dépend de la courbure de la proüe & de ſa ſaillie ; & l'impulſion relative verticale peut ſe trouver plus grande ou plus petite que l'horiſontale dans toutes ſortes de raports. D'un autre côté, quoique le vent ſe meuve toujours à peu près parallelement à l'horiſon, il ne pouſſe néanmoins la voile LM que ſelon la perpendiculaire à ſa ſurface, & ſi on conſidere toute l'impulſion réunie dans le milieu I de la voile, elle s'exercera ſelon une ligne SK qui ne ſera peut-être pas horiſontale. Il faut encore ajouter que ces impulſions du vent ſur la voile & de l'eau ſur la proüe ne ſont pas égales, lorſqu'on les conſidere abſolument, quoique le Navire ſoit parvenu à ſon mouvement uniforme : l'égalité ne ſubſiſte ſeulement qu'entre les parties de ces forces qui agiſſent ſelon la détermination horiſontale, & qui contribuent au mouvement du ſillage.

II.

Les deux directions DH & SK ſe coupent en N ; & il eſt évident que ce que les forces ont d'égal & de contraire doit ſe détruire entierement dans ce point, à cauſe de la parfaite opoſition qui s'y trouve ; & qu'il ne doit reſter que les ſeules forces verticales qui s'exercent ſur la direction commune NT. Il n'importe en quel endroit de ſa direction on ſupoſe qu'eſt appliquée une puiſſance, ſi l'eſpace NR repréſente l'impulſion abſoluë de l'eau ſur la proüe, ſelon la direction DH ; & NP celle du vent ſur la voile, ſelon la direction SK, & qu'on acheve le parallelograme PNRT, ſa diagonale NT marquera, conformement aux regles de la compoſition des mouvemens, la direction & la quantité de l'effort mutuel qui réſultera de

Digitized by Google

la réunion de ces deux puiſſances : c'eſt à l'effort commun NT qu'elles ſe réduiront, après la deſtruction de tout ce qu'elle auront de forces égales & contraires ; & cet effort commun doit être exactement vertical, puiſqu'il n'eſt formé que des ſeules forces relatives verticales, qui au lieu de ſe détruire, ſe joignent preſque toujours enſemble. Ainſi les impulſions du vent & de l'eau qui pouroient ſeules altérer, la viteſſe du ſillage ne conſpirent alors qu'à ſoulever le Navire ou à le tirer verticalement en haut; pendant qu'il eſt tranſporté par ſon propre mouvement ou par ſon mouvement intrinſèque déja acquis. Fig. 99.

III.

Dans les premiers inſtans du ſillage, l'impulſion du vent ſur la voile eſt fort grande, & l'impulſion au contraire de l'eau ſur la prouë eſt fort petite. L'eſpace Np repréſente, par exemple, la premiere force, & Nr la ſeconde ; & l'effort compoſé des deux eſt marqué par Nt, qui s'exerçant ſur une direction inclinée en avant, nous aprend que le choc de l'eau ſur la prouë n'a pas alors aſſez de force relative horiſontale, pour ſuſpendre tout l'effet de l'impulſion du vent ſur la voile, & que la viteſſe de la marche doit s'accelerer ; puiſque le Vaiſſeau eſt tiré en avant. Le ſillage devenant plus rapide, le vent atteindra enſuite les voiles avec moins d'impetuoſité, & la prouë éprouvera au contraire plus de réſiſtance de la part de l'eau ; cette réſiſtance ſera repréſentée par NR, pendant que l'impulſion du vent le ſera par NP ; & l'effort commun ou mutuel NT, qui réſultera de la réunion de ces deux puiſſances, agiſſant ſur une direction NT plus aprochante d'être verticale, travaillera encore à faire accelerer le ſillage, mais avec moins de force. Nous ne nous arrêtons pas à démontrer, parce que cela n'importe pas à notre ſujet, que le lieu géométrique de tous les points t, T, T qui terminent les efforts compoſés Nt, NT, &c. eſt une parabole qui a les deux directions SK & DH pour tangentes.

Digitized by Google

Fig. 99. Mais enfin, l'effort commun ou mutuel s'exercera ſucceſſivement ſur une infinité de diverſes directions Nt, NT, de moins inclinées en moins inclinées, juſqu'à ce que la direction devenuë tout à fait verticale, & l'effort mutuel NT ne tirant plus en avant, le mouvement du ſillage ne s'accelere plus & reſte dans un état permanent. Pour le dire encore une fois; les deux impulſions du vent & de l'eau agiſſent enſemble ſur le Navire, & l'effort vertical NT au lieu de les repréſenter chacune ſéparement, marque leur action commune. C'eſt pourquoi, au lieu d'examiner les effets particuliers que chaque de ces puiſſances eſt capable de produire, nous n'aurons deſormais qu'à avoir égard au ſeul effort vertical NT qui naît de l'addition des forces relatives verticales, après la deſtruction des forces relatives horiſontales qui ſont égales & contraires. Ce ſera toujours préciſement la même choſe; mais nous ne ſerons point obligés de partager notre attention entre tant d'objets; & l'examen deviendra plus ſimple.

IV.

Au reſte, il ne ſera pas difficile de déterminer la quantité de cet effort mutuel vertical, auſſi-tôt qu'on connoîtra la ſituation des directions DH & SK ſur leſquelles s'exercent les deux impulſions particulieres qui le forment. Dans le triangle PNT les trois angles ſont donnés: & on ſçaura toujours aiſément par l'Anémometre la force totale exprimée par NP du choc du vent ſur la voile. Il n'y aura donc que cette ſimple analogie à faire; le ſinus de l'angle PTN égal à l'angle TNR fait par la direction du choc de l'eau & par la verticale, eſt à l'impulſion NP du vent ſur la voile, comme le ſinus de l'angle P égal à l'angle RNS que font enſemble les directions des impulſions du vent & de l'eau, eſt à l'effort requis NR. Supoſé que l'étenduë des voiles expoſées au choc ſoit de 15474 pieds quarrés, comme dans le Vaiſſeau du premier rang que nous avons conſideré dans le premier Chapitre de la ſeconde Section, &

& que l'impulsion du vent sur chaque pied soit de six livres, l'impulsion totale sera de 92844 livres ; & si la direction SK est horisontale, & que celle DH du choc de l'eau sur la proue fasse un angle de 48 $\frac{1}{7}$ degrés avec l'horison, comme cela se trouvera à peu près dans nos Vaisseaux, & comme cela arriveroit tout-à-fait exactement si la proue étoit sphérique, mais qu'elle n'enfonçât dans l'eau que la moitié de son rayon vertical, on trouvera que l'effort mutuel NT est de 104328 ou d'un peu plus de 52 tonneaux. C'est cet unique effort qui résulte de l'assemblage des chocs du vent & de l'eau, & qui représente toute leur action. Fig. 99.

Nous pouvons sans doute nous dispenser d'expliquer comment il se peut faire, que pendant que l'impulsion du vent, qui est la premiere cause du mouvement du Navire & de tout ce qui en résulte, n'est que de 92844 livres, l'effort mutuel vertical NT est néanmoins de 104328 livres : la composition & la communication des mouvemens offrent plusieurs phénomenes semblables connus de tous les Mécaniciens. D'ailleurs il est évident que le Vaisseau étant poussé avec une force de 92844 livres, doit aller choquer l'eau avec une plus grande viteſſe, jusqu'à ce qu'il en soit repoussé dans le sens horisontal avec une force exactement égale. Mais de ce même choc, il doit naître nécessairement une impulsion verticale qui sera plus ou moins grande, selon que la proue sera plus ou moins inclinée ; & c'est principalement cette derniere force, parce qu'il n'y a rien qui puisse la détruire, qui forme l'effort vertical NT, & qui pourroit le rendre, non pas une ou deux fois plus grand, mais dix & vingt fois, si la proue avoit beaucoup plus de saillie.

CHAPITRE II.

Des différentes ſituations que l'effort mutuel vertical des chocs du Vent ſur les Voiles & de l'eau ſur la proüe, fait prendre au Navire ; & des conditions de la mâture parfaite.

SI on examine maintenant les effets que cet effort NT eſt capable de produire en tirant continuellement le Navire en haut, on verra qu'il en peut cauſer deux très-différens. Le premier de ſoulever le Navire ou de le faire un peu ſortir de l'eau ; & le ſecond de produire quelque inclinaiſon vers la proüe ou vers la poupe, ſelon l'endroit du Vaiſſeau auquel il eſt apliqué.

I.

Le Navire étant continuellement tiré en haut, ſa peſanteur doit être comme diminuée : & la pouſſée verticale
Fig. 99. de l'eau étant enſuite trop grande, le Navire doit s'élever. L'effort mutuel NT agit avec une force de 104328 livres ou de 52 tonneaux, c'eſt autant à retrancher ſur le poids total ; & la pouſſée de l'eau étant déchargée de tout ce fardeau, le Navire ne doit plus occuper un ſi grand eſpace dans la Mer ; il doit en ſortir aſſez pour que le volume d'eau déplacée par ſa carène, ſoit moindre de 52 tonneaux, ou d'environ 1456 pieds cubiques. Il eſt évident que cet effet eſt phyſiquement néceſſaire ; & il eſt également clair que la partie de la carène qui s'éleve, & qu'on peut nommer la partie *non-ſumergée*, doit avoir même raport à toute la carène, que l'effort vertical NT à toute la peſanteur du Vaiſſeau ; c'eſt-à-dire, que ſi tout le poids du Navire eſt exprimé par la ſolidité entiere de la carène ABFE, la partie *non-ſumergée* AB*ba* repréſen-

Digitized by Google

tera l'effort mutuel NT, pendant que la partie ſumergée *ab*FE repreſentera la force actuelle de la pouſſée verticale de l'eau. Au reſte cette élevation du Navire peut ſe negliger dans diverſes rencontres: car comme la coupe horiſontale du Navire faite à fleur d'eau a beaucoup d'étenduë, il ſuffit que la carène s'éleve très-peu, pour que la partie qui ſort de l'eau acquerre la ſolidité qu'elle doit avoir. Cette partie n'aura jamais que 4 ou 5 pouces d'épaiſſeur, dans le tems même que le vent aura le plus de rapidité, & qu'on donnera aux voiles le plus de ſurface. Fig. 99.

II.

Mais en même tems que l'effort NT ſouleve le Vaiſſeau, il peut le faire incliner, & porter même l'inclinaiſon ſi loin, qu'il n'y ait pas de ſureté pour les Marins. Ce ſecond effet qui n'eſt pas néceſſaire comme le premier, doit principalement varier ſelon les diverſes aplications de l'effort dont nous parlons, par raport au centre de gravité du Navire. * Lorſque la mâture eſt fort haute, la di-

* L'Auteur dont j'ai parlé dans la ſeconde partie de la notte de la page 387, a mis à la fin de ſon Livre l'extrait de deux Lettres anonymes, dans leſquelles on ſe déclare pour un autre avis ſur le point du Navire qu'il faut prendre pour hypomoclion. On m'objecte la Théorie qu'a donné M. Bernoulli ſur le point qu'il nomme *centrum ſpontaneum rotationis* N. 177. du quatriéme tome de ſes Oeuvres; j'avoue que l'autorité de M. Bernoulli eſt ſi grande en Mathématiques, que je croirois m'être trompé, ſi je l'avois contre moi, malgré toutes les raiſons ſur leſquelles mon ſentiment eſt fondé. Mais outre que j'ai reconnu avec plaiſir que j'étois parfaitement d'accord avec ce célébre Mathématicien dans pluſieurs recherches qui nous ſont communes, quoique nous ſoyons venus aux mêmes reſultats par des chemins très-différens, le Lecteur doit remarquer qu'il ne s'agit nullement ici d'oſcillations ou de balancemens, & qu'il n'en étoit pas plus queſtion dans mon Traité de la mâture, où je ne parlois de changemens de ſituations de la part du Navire, que pour tacher de les prévenir. Lorſque le Vaiſſeau eſt expoſé à l'action de pluſieurs puiſſances, c'eſt à peu près le même cas que ſi pluſieurs perſonnes tiroient une regle ou un bâton par différens endroits & ſelon différentes directions. On ſçait bien que cette regle peut changer de ſituation ſur une infinité de différens points, mais il n'en eſt nullement queſtion lorſqu'on veut que la regle ne tourne pas; & il ſuffit pour cela qu'il y ait un équilibre parfait entre les efforts de toutes les perſonnes qui agiſſent enſemble. C'eſt ce que je tache de faire auſſi à l'égard du Vaiſſeau. Mais ce qui étonnera, peut-être, l'Auteur anonyme des deux Lettres; c'eſt que quoique je ne duſſe pas penſer au centre de rotation, & que je prenne toujours le centre de gravité du Navire pour point d'apui, lorſque je conſidere

Fig. 99. rection SK de la voile coupera la direction DH du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus élevé & plus en arriere, & la direction VT de l'effort NT étant apliquée vers la poupe, soulevera cette partie & fera par conséquent enfoncer en même tems la prouë dans l'eau. Ce sera tout le contraire si la mâture a trop peu de hauteur, & que la direction SK de l'effort du vent coupe la direction du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus bas: l'effort mutuel NT soulevera alors le Navire par l'avant & fera caler la poupe. Il arrivera à peu près la même chose qu'à une piece de bois qu'on éleve par une de ses extrémités, au lieu de l'élever par le milieu: un de ses bouts reste à terre, pendant qu'on fait monter l'autre.

Le Vaisseau portera l'inclinaison dans ces deux différens cas, jusqu'à ce que la poussée de l'eau soit en état de l'empêcher d'aller plus loin. Le Navire ne peut pas perdre sa situation horisontale sans que le centre de gravité de la partie sumergée, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau, change de place & avance du côté de l'inclinaison; ce qui fait que cette force, quoique la même, se trouve ensuite apliquée à un bras de levier plus long, & qu'acquierrant un plus grand moment, elle se trouve plus en état de s'opposer à l'inclinaison. C'est sur tout dans les routes obliques que l'inclinaison va fort loin, & on n'a que trop d'exemples où elle a été poussée jusqu'au point de faire verser le Vaisseau. La figure 100 représente un Navire qui touche, pour ainsi dire, à ce fu-

chaque effort à part, je n'introduis cependant pas moins l'équilibre par raport au centre de rotation prétendue ou même par raport au centre de la Terre, que par raport au centre de gravité du Navire. La raison en est évidente à tous les Lecteurs un peu versés dans les Mécaniques. On rend ici l'équilibre parfait; c'est-à-dire, qu'on le rend tel, que généralement tous les efforts se détruisent mutuellement par leur égalité & leur opoſition. L'effort du vent contre les voiles, la résistance qu'éprouve la prouë, la poussée verticale de l'eau, la pesanteur même du Navire, toutes ces forces suspendent reciproquement leur effet: ainsi elles sont en équilibre à l'égard de tous les points imaginables. Supoſé que le reste des deux Lettres soit susceptible de quelqu'autre sens, car je ne me flate pas de les bien entendre, je crois néanmoins que cette seule réponse doit suffire.

neſte état : l'effort mutuel NT des chocs du vent & de Fig. 99.
l'eau tend à le faire coucher davantage, & il n'y a que la pouſſée verticale de l'eau qui ſe réunit dans le centre de gravité Γ de la partie ſumergée *a*E*b*, qui puiſſe le relever, ou l'empêcher au moins de porter l'inclinaiſon plus loin.

C'eſt en un mot l'équilibre de part & d'autre du centre de gravité g du Navire, entre la pouſſée verticale de l'eau & l'effort mutuel vertical NT, qui doit tout décider. Si ces deux forces ſe contrebalancent exactement ou ſont dans un parfait équilibre, le Navire conſerve la même ſituation; au lieu que ſi la pouſſée verticale de l'eau qui s'exerce ſelon ΓZ, n'eſt pas aſſez puiſſante; & ſi le Navire en s'inclinant encore, cette force quoi qu'apliquée à un bras de levier plus long, n'acquerre pas un aſſez grand moment; le péril eſt inévitable, il n'y a plus de ſalut. Enfin ce n'eſt toujours que lorſque la mâture a une hauteur moyenne, & que la direction SK (Fig. 99.) de l'effort du vent paſſe exactement par un certain point N que nous avons nommé *vélique* dans le Traité de la mâture, que le Navire ne perd du tout point ſon niveau. Alors l'effort mutuel vertical NT n'eſt apliqué ni trop vers la poupe ni trop vers la proüe, & ne s'occupe qu'à faire ſortir le Navire de l'eau par tout également.

III.

Pour déterminer le point *vélique* ou ce point N duquel dépend la perfection de la mâture, il n'y a qu'à élever du centre de gravité γ (Fig. 99.) de la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau une verticale VT, & l'interſection N de cette ligne & de la direction DH du choc de l'eau ſur la proüe, ſera le point requis ou le point par lequel on doit faire paſſer la direction SK de l'effort du vent. Comme la tranche AB*ba* de la carène qui s'éleve de l'eau, lorſque le vent a même le plus de force, n'a que très-peu d'épaiſſeur, ſon centre de gravité γ ne differe point de celui d'une ſurface

Digitized by Google

plane de même étenduë, tant que le Navire conserve ſa ſi-
Fig. 99. tuation horiſontale. Ainſi il ſuffit de faire paſſer la direction de l'effort de la voile par le point N, pour que l'effort mutuel vertical NT ſoit comme apliqué au centre de gravité γ de la partie non-ſumergée AB*ba* de la carène. Mais auſſi-tôt que cette condition eſt remplie, l'effort mutuel NT ne peut plus faire incliner le Navire; parce que la pouſſée verticale de l'eau qui ſe réunit dans le centre de gravité Γ, non pas de toute la carène, mais de la partie ſumergée *ab*FE, ſe trouve ſituée de l'autre côté du centre de gravité du Vaiſſeau, & s'opoſe à l'inclinaiſon auſſi efficacement que l'effort mutuel vertical NT y travaille.

Il eſt clair en effet, que puiſque ces deux forces ont entr'elles le même raport que les deux parties ſumergée & non-ſumergée de la carène conſiderées comme homogènes, & qu'elles ſont outre cela apliquées au centre de gravité Γ & γ de ces mêmes parties, elles doivent être en équilibre autour du centre de gravité g de toute la carène; de même que les deux parties le ſont. Cela ne fait rien à l'équilibre que la pouſſée verticale de l'eau ſelon ΓZ & l'effort compoſé NT s'exercent de bas en haut; au lieu que les peſanteurs des deux parties *ab*FE & AB*ba* tendent en bas. Mais auſſi-tôt que les deux puiſſances qui pourroient alterer la ſituation horiſontale ſe contrebalancent parfaitement de part & d'autre du centre de gravité g de la carène, elles doivent le faire également autour de tous les autres points qui ſont préciſement au-deſſus ou au-deſſous dans la même verticale; & l'équilibre doit donc ſubſiſter par raport au centre de gravité du Vaiſſeau.

IV.

Ce n'eſt pas ici le lieu d'en dire davantage ſur une matiere dont nous avons traitée expreſſement. Nous nous contenterons d'ajouter, que lorſque la maxime que nous venons d'expliquer eſt exactement obſervée, ou que le centre d'effort du vent repond vis-à-vis du *point vélique*, on

Digitized by Google

peut ſans riſque donner aux voiles qu'elle étenduë on veut, à cauſe de la bonne qualité que le Vaiſſeau contracte, de s'élever de l'eau ſans perdre ſa ſituation horiſontale; qualité dont il n'eſt pas capable, lorſque ſa mâture a toute autre diſpoſition. Toutes les puiſſances qui agiſſent ſur lui, ne font alors que le tirer en haut avec plus ou moins de force, & ne font que le ſoulever plus ou moins. Si le vent devient plus rapide, s'il devient tout-à-fait violent, le Navire ſinglera plus vite, le choc de l'eau ſur la proüe augmentera, & l'effort mutuel NT qui deviendra plus grand, fera ſortir de l'eau une plus grande partie de la carène, une partie qui aura peut-être 4 ou 5 pouces d'épaiſſeur: Mais comme l'effort NT ſera toujours apliqué ſenſiblement au centre de gravité de cette partie, l'équilibre néceſſaire pour entretenir la ſituation horiſontale, ne ſera nullement alteré. Le Navire enfin ſera, pour ainſi dire, plus leger, lorſque le vent deviendra plus fort, ou lorſque les vagues fraperont ſa proüe avec plus de violence; & on le verra toujours marcher avec la plus grande rapidité poſſible, ſans qu'il ſoit expoſé à aucun péril. Fig. 99.

Mais on perdra tous les avantages dont nous venons de parler, ſi on donne à la mâture plus ou moins de hauteur: on aura tout à craindre de la trop grande étenduë des voiles, ſi on tombe dans le premier défaut; on ſera ſouvent aſſujetti à les ſerrer, lorſqu'il ſeroit tout-à-fait néceſſaire de les étendre, pour pouvoir en dérivant moins, s'élever d'une côte, ou doubler un cap, ou éviter un écueil. C'eſt un grand inconvenient dans ces rencontres de ne pouvoir pas porter aſſez de voiles. Car l'impulſion que ſouffre toute la partie d'en haut du flanc du Navire, devient conſiderable par raport à l'impulſion totale du vent. Cette impulſion que reçoit le flanc du Navire ſe trouve dominante, vû le peu d'étenduë des voiles; & comme elle ne s'exerce gueres que dans le ſens latéral ou dans le ſens perpendiculaire à la quille, elle n'eſt capable que du mauvais effet de faire augmenter extrémement la dérive, ſans que les voiles qui pouſſent peu dans le ſens de la route, puiſſent

s'y opoſer, comme les Marins ne l'éprouvent que trop ſouvent. Le Navire outre cela, au lieu de ſortir de l'eau par tout également, au lieu d'être *leger aux lames*, deviendra peſant, s'inclinera d'un côté ou d'autre; & on ſera tout étonné de le voir conformement à ce que nous avons expliqué ci-devant *, ſingler plus lentement dans le tems même qu'on s'expoſera aux plus grands périls & qu'on hazardera tout, pour le faire aller plus vite. Enfin nous dirions que c'eſt preſque un égal défaut de donner trop peu de hauteur à la mâture que de lui en donner trop, ſi ce n'eſt que dans l'état actuel où ſont les choſes, on eſt fort éloigné du terme moyen dans lequel conſiſte la perfection, & qu'il n'y a point d'inconvenient à diminuer le plus qu'on pourra la hauteur qu'on donne aujourd'hui à toutes les voiles.

* Voyez la fin du premier Chap. de la 2. Section.

Une infinité d'expériences prouvent la même choſe; nous avons déja raporté dans le premier Livre des faits ſur cela qui ſont de notorieté publique, & qui ſont démonſtratifs; & on me permettra ſans doute d'en alleguer encore un autre qui m'intereſſe, il eſt vrai, mais qui intereſſant encore plus le Public, ne doit pas être ſuprimé. C'eſt l'eſſai que fit il y a quelques années feu M. de Radouay, en diminuant tout d'un coup de 45 pieds la hauteur de la mâture d'un Navire du troiſiéme rang **: eſſai qui réuſſit dans le voyage de la Mer Baltique, au-delà de ce qu'on devoit naturellement attendre d'une premiere tentative. Il avoit falu des ſiecles entiers, & faire une infinité de divers changemens pour porter dans la Marine les choſes dans l'état où on les voit: au lieu que M. de Radouay, ſans autre épreuve, & par une obſervation ſeulement aprochée des maximes qu'on vient d'expoſer, mais aidé auſſi par une pratique éclairée & par une connoiſſance particuliere de la Mer, ſaiſit d'abord la diſpoſition propre à ce Vaiſſeau, que les regles qu'on reſpecte ſi fort & qui ſont le fruit d'un ſi long tatonnement, n'avoient pas empêché juſques là d'être mauvais voilier. Peut-être cependant que la tiranie de l'habitude ſera toujours la plus forte,

** Le Vaiſſeau du Roy le Fleuron.

ſorte, & qu'on perſiſtera encore à ſuivre un uſage, dont on ne ſent que trop les défauts. Ce que nous pouvons donc faire de plus, c'eſt d'indiquer & de retrancher tout ce que les regles ordinaires ont de dangereux, & de faire enſorte par les reſtrictions que nous leur mettrons, qu'elles ne puiſſent plus cauſer d'accidens.

CHAPITRE III.

Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner ſans riſque à la Mâture; avec quelques remarques ſur la force qu'ont les Vaiſſeaux de divers rangs, pour porter la Voile.

I.

NOUS n'avons pour cela qu'à prendre pour limite la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture, ſans s'expoſer au riſque de verſer, lorſque le vent a le plus de force. La Théorie que nous venons d'établir nous met en état de réſoudre facilement ce Problême, tenté inutilement juſqu'à préſent par diverſes perſonnes, depuis que le P. Hoſte a vû le premier qu'il étoit utile d'y penſer.

Le Vaiſſeau de la Fig. 100. étant incliné le plus qu'il eſt poſſible, nous pouvons trouver aiſément le centre de gravité Γ de la partie ſumergée de la carène, & nous ſçaurons combien la verticale ΓZ de ce centre eſt éloignée du centre de gravité G du Navire. Nous devons auſſi regarder comme connuë la ſituation de la direction DH du choc de l'eau. Ainſi il n'y a d'indéterminée que la ſeule ſituation de la direction SK de la voile qui peut être plus ou moins haute; mais que nous ſupoſons perpendiculaire au mât. Du point Z où la verticale ΓZ ſur laquelle s'exerce la pouſſée de l'eau, coupe la direction DH, je tire la ligne ZF parallelement à la direction SK de la voile, & j'abaiſ- Fig. 100.

Fig. 100. ſe les perpendiculaires Z*i* & Z*v* ſur les directions SK de la voile & VT de l'effort mutuel vertical NT. Du point g qui eſt l'interſection de EF & de ΓZ, & qui eſt, comme on le ſçait, le *métacentre*, j'abaiſſe auſſi la perpendiculaire gV ſur VNT.

Puiſque l'effort mutuel vertical NT auquel ſe reduiſent les chocs du vent & de l'eau, doit ſe contrebalancer exactement de part & d'autre du centre de gravité G, avec la pouſſée verticale de l'eau réunie en Γ & qui s'exerce ſelon ΓZ, & que ces deux forces doivent ſoutenir enſemble la peſanteur du Vaiſſeau; nous pouvons conſiderer la ligne horiſontale gV comme une ligne inflexible, ou comme un levier à l'extrémité duquel les deux premieres forces, l'effort NT & la pouſſée verticale de l'eau ſont apliquées; pendant que la peſanteur du Navire eſt apliquée en Q, qui répond exactement au-deſſus de G. Il doit y avoir un parfait équilibre entre ces trois puiſſances; c'eſt-à-dire, qu'elles ſuſpendent reciproquement leur effet: & cela eſt cauſe qu'on peut attribuer quelle eſpece on veut au levier gV, ou prendre indifféremment g ou Q, ou même V pour point d'apui ou pour hypomoclion.

Je mets pour une plus grande facilité ce point en g dans le *métacentre* même; ou ce qui revient à la même choſe, je conſidere le levier comme s'il étoit de la ſeconde eſpece. Nous ſerons de cette ſorte diſpenſés de conſiderer la *pouſſée verticale* de l'eau, qui n'aura d'autre emploi que de rendre fixe l'extrémité g du levier gV; pendant que la peſanteur du Vaiſſeau travaillera à faire deſcendre le point Q, & que l'effort mutuel vertical NT, auquel ſe reduiſent les chocs du vent ſur la voile & de l'eau ſur la prouë ou ſur le flanc de la carène, tendra à faire monter l'extrémité V. On ne doit pas craindre que l'ordre entre les trois puiſſances puiſſe changer; quelque grande que ſoit l'inclinaiſon du Navire, pourvu qu'il ne verſe pas, le point Q ſera toujours entre les deux autres g & V. Cela ſupoſé, nous aurons dans le cas de l'équilibre le moment de la peſanteur totale du Navire parfaitement égal

Digitized by Google

au moment de l'effort NT par raport à l'hypomoclion g. Fig. 100.
C'eſt-à-dire, que ſi P déſigne la peſanteur totale du Vaiſſeau, nous aurons $P \times gQ = NT \times gV$; le produit de la peſanteur totale P par la diſtance gQ au point d'apui, parfaitement égal au produit de l'effort NT multiplié par la longueur gV du bras de levier auquel il eſt apliqué.

Mais ſi l'expreſſion du moment de la peſanteur totale du Navire, eſt fort ſimple & ne peut pas l'être davantage; ce n'eſt pas la même choſe de l'autre moment: car outre que l'effort vertical mutuel NT n'eſt connu que par le moyen des forces primitives qui le compoſent, on ne parvient encore à déterminer la diſtance gV que par un aſſez long circuit. Il ſeroit donc avantageux de trouver un autre produit, mais plus immediatement connu, qui étant toujours égal au moment $NT \times gV$, put lui être ſubſtitué. Ce produit ſe découvre aiſément, quand on y fait attention; c'eſt l'effort même NP du vent ſur la voile multiplié par ſa hauteur FI au-deſſus du point F ou du point Z, comme on va s'en convaincre.

Il y a même raport des ſinus des angles ZN*i* & ZN*v* aux côtés opoſés Z*i* & Z*v*, que du ſinus total à ZN; & par conſéquent il y a même raport du ſinus du premier angle ZN*i* à Z*i*, que du ſinus du ſecond angle ZN*v* à Z*v*. Et ſi on remarque que les angles TPN & NTP du triangle PNT ſont égaux aux angles ZN*i* & ZN*v*, & que les côtés NT & NP ſont proportionels aux ſinus de ces angles; il s'enſuivra par égalité de raiſons que Z*i* ou FI eſt à Z*v* ou à gV, comme NT eſt à NP; & que par conſéquent le produit de NT par gV eſt égal à celui de NP par FI ou par Z*i*. Il eſt donc évident qu'au lieu du produit de NT par gV ou du moment de l'effort vertical mutuel NT par raport au métacentre g, nous pouvons toujours mettre le produit qui lui eſt égal de NP par Z*i*, ou le moment de l'effort actuel NP du vent ſur la voile, non pas par raport au métacentre g, mais par raport au point F ou au point Z: & puiſque le premier produit eſt égal au moment de la peſanteur totale du Vaiſſeau, le ſecond produit eſt donc

Fig. 100. auſſi égal à ce moment. C'eſt-à-dire, qu'au lieu de faire conſiſter l'équilibre dans l'égalité des momens, $P \times gQ = NT \times gV$, nous pourrons le faire conſiſter deſormais dans l'égalité $P \times gQ = NP \times FI$.

Ainſi nous aurons cette regle qui eſt générale, qu'*auſſitôt que le Navire eſt ſtable pendant ſa navigation, ou que lors que toutes les puiſſances, à l'action deſquelles il eſt ſujet, ſe contrebalancent exactement; les momens de la peſanteur totale du Vaiſſeau & de l'effort du vent ſur les voiles ſont parfaitement égaux (mais par raport à deux différens points;) le moment de la peſanteur du Vaiſſeau par raport au métacentre* g, *& celui de l'effort du vent par raport au point* Z *qui eſt l'interſection de la direction* DH *& de la verticale* ΓZ. Cette égalité de momens ou de produits eſt abſolument néceſſaire; & il faut principalement que le ſecond produit $NP \times Zi$ ne ſurpaſſe pas le premier $P \times gQ$: car s'il étoit plus grand, la voile auroit trop de force, & l'inclinaiſon du Navire augmenteroit.

II.

L'utilité de cette regle ſe preſente naturellement; & elle nous met en état de rectifier diverſes choſes que nous n'avons pas pû rendre aſſez préciſes, lorſque nous avons parlé de la mâture dans le premier Livre. On vient de voir que la force qu'a le Navire pour porter la voile, dépend de la peſanteur abſoluë P & de la quantité dont ſon centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. Car plus le premier de ces points ſera au-deſſous de l'autre, plus le bras de levier gQ auquel ſera apliquée la peſanteur P ſera long, & le moment $P \times gQ$ ſera grand. On vient de voir en ſecond lieu, que l'effort que fait la voile pour faire incliner le Navire n'a pour hypomoclion ni le centre de gravité G du Navire ni le métacentre g, mais le point Z de la direction DN, lequel eſt exactement au-deſſus ou au-deſſous du métacentre dans la même verticale. Ces choſes ſupoſées, il ne ſuffit pas pour que les maximes que nous avons données dans le premier Livre ſoient ſenſiblement exactes,

Digitized by Google

que les formes extérieures des carènes des Navires ſoient ſemblables, il faut encore que la diſtribution intérieure du poids, ſoit la même; afin que le centre de gravité ſoit ſitué de la même maniere ou ſemblablement par raport au métacentre: ce n'eſt que lorſque cette condition eſt obſervée, que la force relative P × gQ qu'ont les Navires pour porter la voile, eſt comme la quatriéme puiſſance de leurs dimenſions ſimples. Cette force s'opoſe à l'effort de la voile; & le moment de ce dernier effort eſt exprimé par le produit de la largeur de la voile par ſa hauteur & par la hauteur de ſon centre d'effort I au-deſſus du point Z. C'eſt pourquoi, ſupoſant la largeur des voiles proportionelle à celle du Vaiſſeau, le cube des dimenſions ſimples du Navire, ou ce qui revient au même, la peſanteur P doit être proportionelle, non pas préciſément au quarré de la hauteur des voiles; mais au produit de leur hauteur par celle de leur centre d'effort au-deſſus du point Z. Fig. 100.

Il eſt clair auſſi que l'avantage ou le deſavantage qu'ont les Navires pour porter la voile, dépend principalement de la quantité Gg dont leur centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. Un Vaiſſeau qui ne doit porter qu'une mâture proportionelle à ſes autres parties, n'a pas plus d'avantage qu'un autre. Qu'importe-t-il en effet que les voiles ſoient deux fois plus hautes & deux fois plus larges, ou quelles ayent quatre fois plus d'étenduë, ſi d'un autre côté la ſurface de la proüe étant quatre fois plus grande, éprouve auſſi quatre fois plus de réſiſtance de la part de l'eau? Le ſillage ne ſera pas plus rapide. Les regles vulgaires qui rendent la mâture proportionelle, ſupoſent donc que les Navires ſont tous égaux en cela, ou ſans aucune preéminence les uns par raport aux autres: ce qui arriveroit ſi la quantité Gg dont leur centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre, étoit toujours exactement la même dans les petits & dans les grands. L'effort abſolu de la voile étant comme ſon étenduë ou comme le quarré des dimenſions ſimples du Navire, ſon effort relatif ou ſon moment qui s'occupe à produire l'in-

Digitized by Google

Fig. 100. clinaiſon & qui dépend encore une autre fois de la hauteur de la mâture, ſeroit comme le cube; & ce ſeroit donc aſſez pour le contrebalancer, que de la ſeule peſanteur du Navire, apliquée toujours à un même bras de levier gQ. Il ſuit de là que les Navires grands ou petits, mais extérieurement ſemblables, dans leſquels la quantité Gg eſt la même, ne jouiſſent d'aucune diſtinction & portent également bien la voile. Mais il y a de la différence, auſſitôt que Gg eſt plus grande ou plus petite; puiſque la peſanteur P qui étoit déja ſuffiſante par elle-même pour faire équilibre, eſt apliquée alors à un levier plus ou moins grand; ce qui oblige de rendre la mâture plus grande ou plus petite que la proportionelle.

Il ne tient qu'aux Marins de ne pas priver les plus grands Vaiſſeaux de cette proprieté particuliere, de mieux porter la voile, dont ils devroient jouir. Ils n'ont qu'à ne pas entaſſer un ſi grand nombre de ponts les uns ſur les autres, ni les charger outre cela d'une ſi peſante artillerie; ce qui eſt cauſe que le centre commun de gravité G ſe trouve trop haut & vient preſque ſe placer dans le métacentre même. Des Navires de la grandeur de ceux qu'on nomme du premier rang, conſtruits à tous égards & équipés comme les Frégates, feroient ſentir l'extrême avantage qu'ils recevroient de leur grandeur; & comme ils pourroient porter plus de voiles qu'ils ne font actuellement, ils ſingleroient beaucoup plus vite, en même tems qu'ils ſe comporteroient beaucoup mieux. Lorſque le vent deviendroit plus fort ou plus foible, le grand Vaiſſeau mériteroit encore la préference, ſans que la plus grande reſiſtance de l'eau contre ſa proüe y fût un obſtacle, puiſque ſa mâture & l'impulſion du vent ſeroient toujours plus grandes à proportion. Malheureuſement les hommes n'ont pas eu en vûë, lorſqu'ils ont conſtruit de plus grands Vaiſſeaux, tous ces avantages qui étoient ſi naturels & ſi légitimes; ils n'y ont au contraire renoncé que trop expreſſement, pour ſe détruire d'une maniere plus infaillible.

Cependant je crois que l'avantage augmente réellement

Digitized by Google

lorſqu'on paſſe des petits Navires aux plus grands, pourvû qu'on s'arrête à ceux de 60 ou 70 canons, ou du troiſiéme rang, leſquels n'ont au plus que deux ponts & demi avec une ſeule dunette; juſques là la quantité dont le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre, devient plus grande. Nous avons trouvé que cette quantité dans la Frégate la *Gazelle* étoit de 4 ou 5 pieds; dans les Vaiſſeaux de 60 canons elle ſera peut-être de 6 à 7 pieds, & ces Vaiſſeaux pourront donc porter plus de voiles à proportion que la Frégate. Dans les Vaiſſeaux encore plus grands, dans ceux de 80 ou 90 canons qui ont trois ponts & deux dunettes, le poids de toutes les parties ſupérieures fait que le centre de gravité monte & s'aproche du métacentre, & revient ſe mettre ſeulement à 4 ou 5 pieds au-deſſous. Alors la peſanteur totale étant apliquée pendant l'inclinaiſon à la même diſtance du métacentre que dans la Gazelle, ſa force relative n'eſt plus grande que dans le ſeul raport des cubes, ce qui eſt cauſe que la mâture de ces Vaiſſeaux ne doit être grande qu'à proportion de leurs dimenſions ſimples, & qu'ils pourroient être comparés à cette Frégate pour la marche, ſi la figure de leur carène n'étoit pas alterée, & s'ils n'étoient pas outre cela embaraſſés par leurs œuvres-mortes qui font la fonction de voiles, mais qui y nuiſent, comme nous l'avons déja dit. Enfin les Vaiſſeaux ſont-ils du premier rang, ont-ils 100, 110 ou 120 canons, avec trois ponts & demi, le centre de gravité eſt encore beaucoup plus haut; il n'eſt pas quelquefois deux pieds au-deſſous du métacentre. Ainſi la peſanteur totale perd de la grandeur de ſon moment par le levier gQ qui eſt moins long; le Vaiſſeau ne doit plus porter ſi bien la voile, & doit perdre en même tems de tous ſes autres avantages, bien loin de les conſerver. Il arrive même ſouvent encore qu'on rend ces Navires moins propres pour le combat, en les chargeant d'artillerie ou en voulant les rendre plus forts; parce que devenus trop peſans & plongeant trop, la Mer pour peu qu'elle ſoit agitée, interdit l'uſage de toutes leurs batteries inférieures.

Fig. 100.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

Suite du Chapitre précédent ; déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette regle à quelques Navires.

I.

ON peut achever ſans peine la ſolution du Problême que nous avons rentée : il ſuffit d'apliquer le principe que nous venons d'établir dans l'autre Chapitre ; aplication d'autant plus facile, qu'elle n'exige preſque toujours que les ſeules connoiſſances que nous avons déja priſes, & de la figure du Navire, & de l'arrangement de ſes parties. Ce principe porte, que le Vaiſſeau ne reſte dans une certaine ſituation inclinée, que lorſqu'il y a égalité entre le moment de la peſanteur totale par raport au métacentre g, & le moment de l'effort de la voile par raport au point F ou au point Z, qui repond exactement au-deſſus ou au-deſſous du métacentre dans la direction DH du choc de l'eau ſur la proüe. Tous ces points F, Z, g & le point C ſe confondront, lorſque la direction DH paſſera par le métacentre g, comme cela arrivera, lorſque les coupes verticales *a*E*b* de la carène ſeront circulaires. Dans la plûpart des autres cas, on pourra négliger encore l'intervale gF ; parce que ſi la coupe *a*E*b* n'eſt pas un ſegment de cercle, les différentes figures qu'on lui donnera feront changer à peu près également le point g que le point C. Ce n'eſt que dans les ſeuls Vaiſſeaux conſtruits à la Chinoiſe, dans les Flutes Hollandoiſes & dans une eſpece de Frégate particuliere que nous propoſerons dans la Section ſuivante, qu'il ſera bon de ne pas regarder l'eſpace gF comme nul. Le flanc *a*E du Navire étant preſque vertical, la direction DH du choc de l'eau doit être preſqu'horiſontale, & par conſéquent

Fig. 100.

conſéquent les points Z ou F qui ſervent d'hypomoclion à l'effort de la voile ſe trouveront de niveau avec le centre de la partie ſumergée de la carène, ou ſeront enfoncés dans l'eau de la moitié de la profondeur du Navire. Fig. 100.

Quoi qu'il en ſoit, ſi on continue à nommer P la peſanteur du Vaiſſeau, on aura $P \times gQ$ pour ſon moment, qu'on peut toujours regarder comme connu. Outre la maniere exacte que nous avons donnée pour trouver la peſanteur totale P du Navire en meſurant la ſolidité entiere de la carène, & celle que nous avons propoſée pour trouver la ſituation du métacentre g & du centre de gravité G, nous avons fourni dans le Chapitre XI. de la ſeconde Section du Livre précédent, le moyen de trouver immédiatement, quand on le voudra, par l'expérience, le moment $P \times gQ$, pourvû que le Navire ſoit déja chargé. On trouvera ce moment pour une très-petite inclinaiſon, & on en conclura le moment $P \times gQ$, dont nous avons beſoin, qui augmente dans le même raport que le ſinus de l'inclinaiſon; auſſi-tôt que le métacentre ne change pas ſenſiblement de place. Supoſé qu'un poids de 700 livres placé à 30 pieds de diſtance horiſontale du métacentre ou du milieu du Navire, produiſit une inclinaiſon d'un degré, il faudroit placer ce même poids environ dix fois plus loin, pour produire une inclinaiſon de 10 degrés. Ainſi dans ce dernier cas le moment $P \times gQ$ ſeroit égal à 210000, produit de 700 livres par 300 pieds.

Si après cela on convient de la figure de la voile, cette figure reglera le raport qu'aura la hauteur OL comparée à la hauteur OI que doit avoir ſon centre d'effort I au-deſſus du point O, qui repond au bas de la voile. Lorſqu'on adoptera la figure rectangulaire ou qu'on fera les voiles également larges par en haut que par en bas, LO ſera double de IO; ſi la voile étoit un triangle iſocelle, dont le ſommet fût en haut, LO ſeroit triple de IO. On aura en général $LO = m \times IO$, & m ſera toujours donnée, quoiqu'on ne connoiſſe ni l'une ni l'autre hauteur. Les largeurs de la voile ſont auſſi reglées; elles le ſont ſur celles du

Fig. 106. Navire. Je nomme L la largeur moyenne de la voile ; ainſi ſon étenduë ſera $m \times L \times IO$ produit de la hauteur $m \times IO$ par la largeur ; cette étenduë ſera énoncée, ſi on le veut, en pieds quarrés ; & ſi E deſigne l'effort que fait le vent ſur chaque pied quarré, nous aurons $m \times E \times L \times IO$ pour l'impulſion totale qu'il ne reſte plus qu'à multiplier par FI, pour avoir ſon moment ou ſa force relative $m \times E \times L \times IO \times FI$, qui doit conſerver une parfaite égalité avec le moment $P \times gQ$ de la peſanteur du Vaiſſeau. Je diviſe ces deux momens par la même quantité $m \times E \times L$, & j'obtiens l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

La viteſſe abſoluë du vent étant donnée, on pourroit chercher l'impulſion E qu'il doit faire par ſa viteſſe relative ; mais comme on éleveroit le Problême au quatriéme degré, & qu'outre cela il n'eſt pas tant ici queſtion de trouver la hauteur préciſe de la mâture, que de déterminer la limite de ſa plus grande élevation, il vaut ſans doute mieux regarder la viteſſe reſpective même du vent comme donnée, de même que ſon impulſion E. Ainſi dans l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ le ſecond membre eſt entierement connu ; & il n'eſt par conſéquent queſtion pour conſtruire cette équation, que de déterminer le point I où doit repondre le centre d'effort de la voile ; en faiſant enſorte que le rectangle de IO par FI ſoit effectivement égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

Le Problême ſe réduit à trouver deux quantités IO & IF dont on connoît la différence OF, de même que le produit de l'une par l'autre. Il ſuffit pour cela d'élever au mât, au point O, qui repond au bas de la voile, une perpendiculaire OY égale à la racine quarrée du ſecond membre $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & ſi on prend après cela pour centre le point X qui eſt exactement au milieu de FO, & qu'on décrive un demi-cercle IYΔ qui paſſe par le point Y ; ce cercle rencontrant le mât en I, indiquera l'endroit où doit ré-

Digitized by Google

pondre le centre d'effort de la voile. Car la proprieté du cercle rend le rectangle de IO par OΔ égal au quarré de OY ou à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; mais OΔ étant égal à FI, le rectangle de IO par FI sera aussi égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$, comme il étoit question de le faire. Fig. 100.

Au reste cette construction ne peut pas manquer de se reduire aisément au calcul, comme il arrive dans la plûpart des Problêmes qui ne font que du second degré. Dans le triangle rectangle XOY nous connoissons les deux côtés XO & OY ; le premier est la moitié de la hauteur OB du bas de la voile au-dessus du point qui sert d'hypomoclion à l'effort du vent, & le second côté OY est égal à la racine quarrée de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ qui n'est autre chose que la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par la distance horisontale gQ de sa direction au métacentre, & divisée ensuite par m, qui exprime le nombre de fois que la hauteur de la voile est plus grande que la hauteur de son centre d'effort, par E qui désigne l'impulsion du vent sur un pied quarré de surface, & enfin par la largeur L de la voile. Il n'y aura donc qu'à resoudre le triangle XOY pour avoir l'hypothéneuse XY ; & on aura en même tems XI, dont il ne restera plus qu'à retrancher XO, pour avoir la hauteur requise OI du centre d'effort de la voile. Enfin multipliant OI par la quantité m, on aura la hauteur même OL de la voile, sur laquelle on reglera celle du mât.

II.

Application du Problême précédent à un Vaisseau du premier rang.

Proposons-nous, pour éclaircir toute cette matiere, de découvrir la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture d'un Vaisseau du premier rang, dont la pesanteur totale P est de 3300 tonneaux ou de 6600000 livres,

Fig. 100. & dont le centre de gravité G eſt 2 pieds au-deſſous du métacentre g. Si l'on ſouhaite que la plus grande inclinaiſon de ce Vaiſſeau ne ſoit que d'environ $9\frac{1}{2}$ degrés, le bras de levier gQ ne ſera qu'environ $\frac{1}{3}$ pied à proportion de gG qui eſt de 2, & on aura 2200000 pour le moment $P \times gQ$, moment qu'on découvrira ſi on le veut également par l'expérience, comme nous l'avons dit. Supoſons outre cela pour plus de facilité, & comme on le peut preſque toujours, que la direction DH du choc de l'eau paſſe par le métacentre; ce qui réunit en un ſeul les quatre points g, Z, F & C; & ſupoſons que le bas O de la voile eſt élevé, à cauſe des ponts, de 20 pieds au-deſſus du point F ou du point g. Il nous faut voir maintenant la largeur que nous devons donner aux voiles; de même que la plus grande force du vent qu'il eſt à propos que le Vaiſſeau puiſſe ſoutenir.

Les voiles, on ne peut guéres les faire par en bas que de deux fois la largeur du Vaiſſeau ou 96 pieds, en ſupoſant que le Vaiſſeau en a 48. Par en haut, je crois qu'on peut rendre les baſſes voiles beaucoup plus larges; c'eſt à l'expérience à nous aprendre de combien; je les avois, ce me ſemble, renduës beaucoup trop étenduës dans mon Traité de la mâture; mais donnons leur deux largeurs & demi du Vaiſſeau, ou preſque trois largeurs. Enfin ſuprimons le perroquet, & formons la voilure comme un exagone irregulier qui reſulte de l'aſſemblage de deux trapezes égaux, ſi on le veut, qui ſe joignent par leur plus grand côté; ainſi que le repréſente la figure 46. L'un ſera la voile baſſe & l'autre la ſupérieure ou le hunier, & le centre d'effort ſera au milieu de la hauteur des deux voiles ou ſur la vergue même qui les ſépare; ce qui rendra, $m = 2$. Les largeurs étant de 96 pieds, & de 120, la largeur moyenne ſera de 108, & ſi les voiles des deux principaux mâts ſont déployées, comme nous devons le ſupoſer ici, & ſi elles étoient outre cela égales, il faudroit prendre 216 pour la largeur totale; ſi ce n'eſt que le vent fait beaucoup plus d'impreſſion lorſqu'il frape avec un peu moins d'obli-

Digitized by Google

quité, quoi qu'il ne découvre enſuite qu'une moindre partie des voiles de l'avant. Il n'eſt pas fort difficile de déterminer les circonſtances de cette plus grande impulſion *; mais nous n'aſſignons que 170 pieds à la largeur totale L. Enfin ſi on veut que la viteſſe reſpective du vent ſoit de 35 pieds par ſeconde, le vent fera une impulſion d'environ 3 livres ſur chaque pied quarré de ſurface qu'il frapera perpendiculairement; mais il y a trois reductions à y faire, dont deux ſont aſſez conſiderables. Premierement le vent ne choque pas les voiles à angle droit, & l'angle d'incidence qui rend ici l'impulſion la plus grande qu'il eſt poſſible, n'eſt guéres que de 65 degrés. Cet angle, en ſecond lieu, eſt encore diminué par l'inclinaiſon du Vaiſſeau & des voiles; & enfin il ne faut prendre de l'effort abſolu du vent que la ſeule partie qui agit perpendiculairement à la longueur du Navire; puiſque c'eſt cette ſeule partie qui tend à le faire coucher ſur le côté. Tout cela me fait conclure, & on peut s'en aſſurer aiſément par le calcul, qu'on ne peut mettre qu'à deux livres, au plus, l'effort E ſur chaque pied quarré. Fig. 100.

Nous connoiſſons donc maintenant les quantités $P \times gQ = 2200000$, $m = 2$; $L = 170$, & $E = 2$; & nous aurons $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L} = 3235$ qui eſt le quarré de la perpendiculaire OY. Il ne tient qu'à nous, après cela, d'achever la ſolution du Problême, ou par une conſtruction geométrique ou par ſuputation. L'autre côté XO du triangle rectangle XOY eſt de 10 pieds, moitié de FO ou de gO qui eſt de

* La regle dont on peut ſe ſervir, mais que ce n'eſt pas ici le lieu de démontrer, parce qu'on ne ſe propoſe pas de donner un Traité de Manœuvre, conſiſte à faire enſorte que la largeur de la partie de la mizaine ou de la voile de la proüe, qui eſt découverte par le vent, jointe avec la largeur entiere de la grande voile, faſſe une ſomme préciſement égale à la diſtance diagonale qu'il y a depuis le côté de la grande voile qui eſt ſous le vent, juſqu'au côté de la mizaine qui eſt au vent. Lorſqu'un des mats a plus de hauteur que l'autre, il n'y a qu'à, par la pentée, retrancher l'excès de la hauteur & ſuppléer ſur la largeur de la voile le retranchement fait à ſon étenduë ſur l'autre dimenſion. Mais la regle n'eſt toujours que ſenſiblement exacte; parce qu'elle ſuppoſe que la viteſſe du vent eſt infinie par raport à celle du Navire.

Digitized by Google

Fig. 100. 20 ; & l'hypothéneuſe XY ſera d'environ $57\frac{4}{7}$, de même que XI. Par conſéquent OI ſera de $47\frac{4}{7}$ pieds, & l'aſſemblage des voiles de chaque mât ne doit avoir au plus que $95\frac{1}{3}$ pieds de hauteur. On verra dans le Chapitre ſuivant les raiſons que nous avons de faire les deux mâts également hauts.

Il faut bien remarquer, que l'erreur qu'on commet en confondant le point F avec le métacentre g, ne peut guére tirer à conſéquence, parce que la quantité gF eſt toujours très-peu conſidérable par raport à la hauteur de la mâture. La plus grande attention qu'il faut avoir, c'eſt lorſqu'on ne détermine pas le moment $P \times gQ$ par l'expérience, de chercher avec aſſez de préciſion la ſituation du centre de gravité G par raport au métacentre, parce que ces deux points n'étant toujours que trop proche l'un de l'autre, pour peu qu'on ſe trompât dans la quantité Gg qui les ſépare, on commettroit une erreur extrémement ſenſible dans le moment $P \times gQ$.

Application du même Problême à la Frégate la Gazelle.

C'eſt une incommodité conſidérable que d'être obligé de recommencer l'opération pour chaque Navire ; mais on ne peut pas l'éviter, ſans retomber dans le défaut que nous avons reproché aux regles vulgaires. Cependant beaucoup de choſes ſont communes. Si nous voulons trouver, par exemple, la limite de la plus grande hauteur de la mâture de la *Gazelle*, dont le poids total eſt d'environ 400 tonneaux, ou d'environ 800000 livres, & qui a ſon centre de gravité G environ $4\frac{1}{2}$ pieds au-deſſous du métacentre g ; nous pouvons admettre la plus grande partie des ſupoſitions que nous avons faites pour le Vaiſſeau du premier rang. Le bras du levier gQ ſera d'environ 9 pouces ou $\frac{1}{4}$ pied, la ſixiéme partie de gG, & nous aurons 600000 pour le moment $P \times gQ$. La largeur moyenne de chaque voile ſera de $56\frac{1}{4}$ pieds, & nous pourrons prendre 89 pieds pour la largeur totale L qui eſt expoſée à l'impulſion. En-

fin nous ferons également $m = 2$ & $E = 2$; ce qui nous donnera 1685 pour la valeur de $\frac{P \times gQ}{m \times t \times L}$; & ſi le bas des voiles eſt élevé de 6 pieds au-deſſus du point F ou du métacentre g, & que nous achevions la ſolution, nous trouverons un peu plus de 41 pieds pour XI & de 33 pour OI; de ſorte que la plus grande hauteur OL de la voilure ſera d'environ 76 $\frac{1}{4}$ pieds. Ordinairement une aſſez grande différence dans la largeur en aportera une moindre dans la hauteur: ſi au lieu de faire la largeur totale de 89 pieds, on la fait de 94 pieds ou de 5 pieds plus grande, la hauteur OL ſe trouvera de 74 pieds ou de 2 $\frac{1}{4}$ pieds plus petite. Fig. 100.

CHAPITRE V.

Dans lequel après avoir repondu à quelques objections, on examine laquelle des dimenſions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il eſt à propos que les différens mâts d'un Navire ſoient de différentes hauteurs.

I.

NOUS avons regardé dans la ſolution du Chapitre précédent la ſituation du centre de gravité du Navire comme donnée; c'eſt ſupoſer en partie ce qui eſt en queſtion, puiſque la peſanteur de la mâture fait partie de celle du Vaiſſeau. Mais on ſçaura toujours aſſez d'avance le poids de la mâture & ſes dimenſions, pour ne ſe pas tromper ſenſiblement dans la place qu'on aſſignera à ce point: & ſupoſé qu'on eût commis une erreur conſidérable, il n'y auroit qu'à recommencer la ſolution une ſeconde fois. Si on ne ſe permettoit pas d'écarter ainſi les difficultés, en mettant de la diſtinction entre les circonſtances qui n'influent que peu dans le réſultat, & celles qui y ont beaucoup de part, on ſeroit arrêté à chaque pas,

Digitized by Google

& les Problêmes dont nous ſommes venus à bout le plus aiſément, deviendroient preſque toujours intraitables.

II.

Nous éludons une difficulté bien plus grande, qui ne ſe preſenteroit à nous que trop, ſi nous ne nous propoſions pas de reformer la figure même du Vaiſſeau. Nous voulons que nos Navires ſoutiennent le plus grand effort du vent, & nous ſupoſons pour cela qu'ils portent l'inclinaiſon le plus loin qu'il eſt poſſible. Mais il n'eſt pas certain qu'il y ait à y gagner : l'expérience prouve ſouvent au contraire qu'il vaut mieux donner moins de voilure & rendre l'inclinaiſon moins conſidérable, pour ſingler plus vite ; parce que le choc de l'eau ſe trouve enſuite moins grand. Ce ſeroit donc un nouveau Problême à reſoudre : il faudroit chercher l'inclinaiſon la plus avantageuſe, ou celle qui rend la réſiſtance de l'eau la moindre à proportion de la voilure : la difficulté apartiendroit preſque toujours à la Geométrie tranſcendente ; car la loi que ſuivent les impulſions lorſque le choc de l'eau ſe fait ſur différentes parties de la carène, doit être fort compliquée ; & il faudroit faire entrer cette conſidération dans la queſtion qu'on traite actuellement. Mais on peut remarquer que ce qui étoit un ſujet de Problême pour preſque tous les Auteurs qui ont traité de la mâture, n'en eſt point pour nous ; parce que nous nous propoſons de faire enſorte, en reformant la figure de la carène, que le Vaiſſeau ſingle le mieux qu'il eſt poſſible, lorſqu'il eſt incliné d'une quantité donnée. Cet expedient fera que nous gagnerons de toutes manieres en étendant les voiles & en faiſant augmenter aſſez l'effort du vent pour porter l'inclinaiſon juſqu'au terme prévû ; car en même tems que cette plus grande impulſion fera accelerer le ſillage, elle obligera encore le Vaiſſeau d'aller chercher cet état, dans lequel on ſçait qu'il doit marcher avec plus de viteſſe.

III.

Digitized by Google

III.

Au surplus, on trouvera presque toujours par l'application de notre régle, qu'il faut, conformement à ce que nous avons déja dit, s'attacher à diminuer de la hauteur de la mâture, & c'est ce qui deviendra encore plus nécessaire lorsqu'on voudra donner aux voiles la disposition absolument parfaite. On y trouveroit toujours de l'avantage; quand même on ne réussiroit pas à reparer du côté de leur largeur ce qu'on perdroit sur leur hauteur: au lieu qu'on peut assurer qu'il n'y a au contraire rien à gagner en se conformant à l'ancien usage. Tout ce que les Marins peuvent nous répondre, c'est qu'il est à propos de conserver la grande hauteur des voiles, afin de recevoir le vent qui est plus rapide en haut, & de profiter de cette plus grande force. On reconnoit effectivement, en mesurant la viteſſe des nuages, par celle de leur ombre, que le vent est souvent en haut à 7 ou 8 cens toises au-dessus de la Terre, deux fois plus rapide qu'il n'est en bas; c'est ce que j'ai expérimenté plusieurs fois, & j'ai aussi trouvé avec l'*anémometre*, qu'une hauteur de 50 ou 60 pieds faisoit presque toujours augmenter d'une cinquiéme ou d'une quatriéme partie son impulsion. Sans doute qu'en Mer où il n'y a point d'obstacle en bas qui arrête le vent, la différence est beaucoup plus petite. Cependant on veut bien ici la supoſer plus grande, & la regarder comme excessive: on soutient malgré cela qu'il vaut mieux diminuer de la hauteur des mâts, en élargissant en même tems les voiles; & qu'on ne sçauroit être trop attentif à procurer ces deux changemens.

Tous les Lecteurs distinguent maintenant l'effort que fait la voile pour faire marcher le Navire, de celui qu'elle fait pour le faire incliner. Ces deux effets sont si différens, quoique le premier produise le second, qu'on peut faire augmenter l'un à volonté, en même tems qu'on fait diminuer l'autre. On souhaite, dans le cas préſent, que le

Vaiſſeau porte l'inclinaiſon juſqu'à un certain terme déterminé, & que la force relative qu'a la voile pour produire cette inclinaiſon ſoit par conſéquent toujours la même. Ainſi on ne doit retrancher de la hauteur de la mâture qu'autant qu'on peut reparer cette perte par la largeur. Mais comme la ſurface de la voile, ajoutée par les côtés, ſera plus baſſe que la ſurface retranchée par le haut, ou qu'elle ſera apliquée à un bras de levier moins long, il faudra qu'elle ait non-ſeulement plus d'étenduë, mais qu'elle reçoive auſſi plus d'impulſion de la part du vent: autrement elle auroit moins de moment ou de force relative, il n'y auroit pas une exacte compenſation à cet égard; & le Navire s'inclineroit moins qu'il ne faiſoit. En un mot, toutes les fois qu'on diminuë la hauteur de la mâture, on acquerre la liberté ou le droit de donner plus d'étenduë aux voiles, & de gagner plus de ſurface dans le ſens de la largeur, qu'on n'en a perdu dans celui de la hauteur. On eſt maître d'uſer de tout ce droit, ou de n'en uſer qu'en partie, afin de rendre la mâture plus legere, & de pouvoir diminuer auſſi, ſi on le veut, la peſanteur du leſt ou de la charge par en bas. Cependant le Navire ne s'inclinera pas davantage; & la réſiſtance de l'eau reſtant la même du côté de la carène, ou étant plus petite, l'effort abſolu du vent qui ſera effectivement plus grand, ſans avoir plus d'obſtacle à vaincre, ne pourra pas manquer de rendre le ſillage plus prompt.

IV.

C'eſt en ſuivant à peu près le même raiſonnement, que nous pouvons décider s'il eſt à propos que les mâts d'un Navire ſoient de différentes hauteurs, conformement à l'uſage ordinaire, ou ſi on doit les faire tous également hauts. Supoſons qu'on ait élevé extrémement le grand mât par raport à celui de mizaine, & que malgré cela le moment total de toutes les voiles de ces deux mâts, n'ait que la grandeur convenable, ou ſoit préciſement égal au moment de la peſanteur du Navire. Si on diminue la hauteur

du grand mât d'une très-petite quantité, d'une quantité infiniment petite si on le veut, le moment particulier de ses voiles, ou la force relative qu'elles ont pour faire incliner le Navire, souffrira un peu de diminution, à cause du retranchement qu'il faudra faire à leur hauteur; & il faudra par conséquent augmenter la hauteur du mât de mizaine & de ses voiles pour reparer cette perte, & faire que le moment total soit toujours le même; ou que l'inclinaison du Navire soit toujours de la même quantité. Mais on doit remarquer que puisque la petite partie qu'il faudra ajouter à la hauteur du mât de mizaine, sera moins élevée au-dessus du Vaisseau que la petite partie qu'on aura retranchée du grand mât, l'égalité dans le moment total ne pourra être conservée, que lors que la partie ajoutée aux voiles de mizaine sera plus grande que celle qu'on aura retranchée des voiles du grand mât; & il est clair qu'il faudra qu'elle soit plus grande dans le même raport que le grand mât est plus haut que l'autre. Ainsi il se trouvera un avantage réel dans le changement que nous proposons: quoique le moment ou la force relative des voiles, pour faire incliner le Navire, ne souffre aucune altération, leur étenduë, & par conséquent l'impulsion absoluë du vent qui s'occupe à faire accelerer le sillage, sera plus grande. Or ce sera la même chose si on repete le même changement une infinité de fois, jusqu'à ce que le grand mât ayant perdu peu à peu tout son excès de hauteur sur l'autre, ils soient devenus égaux; & ce sera encore la même chose, lorsqu'il y aura un plus grand nombre de mâts.

On peut excepter de cette regle le mât d'artimon, parce que ses voiles sont plutôt destinées à faire tourner le Navire dans différens sens, qu'à le faire marcher. Mais à l'égard du mât de mizaine & de celui que les Marins nomment grand mât, parce qu'ils lui donnent effectivement toujours plus de hauteur, il ne se présente aucune exception contre les raisons qu'on vient d'alleguer. Si les voiles de mizaine sont plus étroites, parce que le Navire est moins large vers la proüe, ce n'est du tout point un mo-

tif pour diminuer auſſi leur hauteur, lorſqu'il eſt démontré au contraire qu'il n'y a qu'à gagner & nul riſque à courir, lorſqu'on l'augmente. D'ailleurs cet excès d'élevation que nous voulons donner à ces voiles, n'en rendra pas la manœuvre plus difficile : elle ſera toujours moins penible que celle des voiles de l'autre mât qui ſont plus larges.

CHAPITRE VI.

Un Navire étant donné ou déja conſtruit, déterminer la máture la plus avantageuſe qu'il peut recevoir, lors qu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau.

NOUS pourrions nous diſpenſer de travailler à la ſolution de ce Problême, par les mêmes raiſons que nous avons alleguées dans l'article II. du Chapitre précédent : car de même que nous nous propoſons de donner à nos Vaiſſeaux la figure la plus parfaite, pour le cas dans lequel ils s'inclinent d'une quantité déterminée, nous aurons auſſi toujours en vûë un certain degré d'enfoncement précis pour leur carène. Cependant comme l'occaſion ne manquera jamais de mâter quelques Navires conſtruits ſans deſſein & comme au hazard, nous allons inſiſter ici ſur la maniere de ſatisfaire à la difficulté : nous le faiſons d'autant plus volontiers, qu'on pourra, en employant le même moyen, reſoudre toutes les difficultés qui s'offriront ſur le même ſujet, ſans excepter celle dont nous parlions au commencement de l'autre Chapitre.

I.

On ne peut guére ſe diſpenſer dans ce Problême, ainſi que nous l'avons dit dans le premier Livre, auſſi-tôt qu'on veut deſcendre aſſez dans le détail pour que l'examen ſoit

Digitized by Google

de quelque utilité pour la pratique, d'avoir recours à quelque eſpece d'aproximation ou de voyes mécaniques. Il ſuffira néanmoins toujours, à ce que nous croyons, de conſiderer le Navire en trois ou quatre états différens, renfermés entre des limites qu'il ſera toujours facile de reconnoître. La carène ne doit pas plonger juſqu'à faire entrer dans l'eau ſes plus grandes largeurs; il eſt néceſſaire qu'elles reſtent élevées au-deſſus de la ſurface de la Mer d'une certaine partie *du creux*, comme d'une huitiéme ou d'une neuviéme. Voilà déja un des termes qu'il n'eſt pas permis de violer; & c'eſt celui du plus grand enfoncement. Le ſecond eſt un peu plus indécis: car outre l'enfoncement, qui eſt abſolument néceſſaire pour ſoutenir le poids particulier du Navire, il faut toujours mettre quelque leſt ou quelque charge dans la cale, ce qui augmente encore ce premier enfoncement. Mais enfin la difficulté ne ſera jamais grande, l'opération ſeulement ſera longue, de chercher les dimenſions de la mâture pour ces deux différens états, & pour quelques autres pris entre deux. Les voiles auront toujours la même largeur; il n'y aura que leur hauteur qui ſera ſujette à changer, ſelon que le Navire ſe trouvera avoir plus ou moins de ſtabilité, ou de force pour ſoutenir l'effort du vent. Il ne reſtera plus après cela qu'à examiner la grandeur de l'impulſion de l'eau ſur la partie de la proüe actuellement choquée. La méthode que nous avons donnée pour cet examen dans le Chapitre VI. de la premiere Section de ce troiſiéme, a cet avantage qui lui eſt propre, que comme on partage la proüe en pluſieurs tranches par des plans horiſontaux, on pourra toujours avec une extrême facilité retrancher de l'impulſion que recevroit la ſurface entiere, toutes les portions qu'on voudra. Or il ne ſera plus enſuite queſtion que de s'arrêter au degré précis d'enfoncement de la carène, qui rend l'étenduë des voiles la plus grande qu'il eſt poſſible par raport à l'impulſion de l'eau: car on ſçait que c'eſt cette diſpoſition qui doit procurer la plus grande célerité au ſillage. Il eſt inutile, ou plutôt il eſt dangereux, de rendre l'impul-

Digitized by Google

ſion du vent abſolument la plus forte, & il ne le ſeroit pas moins de faire que la reſiſtance de l'eau contre la proüe fût très-petite : l'avantage conſiſte à rendre la premiere de ces forces la plus grande qu'il ſe peut, relativement ou eu égard à la ſeconde, comme nous l'avons déja dit tant de fois. Il n'y aura donc qu'à diviſer toujours l'étenduë des voiles ou la hauteur de la mâture par l'impulſion de l'eau dans chaque cas ; ſans qu'il ſoit néceſſaire pour cela de reduire ces grandeurs à la même eſpece : le plus grand expoſant ou le plus grand quotient marquera la diſpoſition qu'il faut adopter ; parce qu'il ſera l'*argument* de la plus grande viteſſe.

On pourra réſoudre de la même maniere la plûpart des autres queſtions qui ſe préſentent touchant *l'aſſiete*, & il n'y aura pas plus de difficulté à déterminer d'avance la profondeur qu'on doit donner aux Navires, & toutes les autres dimenſions de leur carène, lorſqu'on travaillera à en faire le projet. Il ne ſera pas néceſſaire d'inſtituer chaque fois un calcul entierement nouveau : il ſuffira preſque toujours de faire trois ou quatre hypothéſes, afin de voir diſtinctement quel eſt le progrès de ces expoſans dont nous venons de parler, & de ſçavoir dans quel ſens ils augmentent. Nous avouons encore une fois que toutes ces opérations ſont un peu longues ; mais elles ceſſeront de le paroître, lorſqu'on ſera attention qu'on peut les reduire à quelques heures de travail, à l'aide d'un peu d'exercice. Qu'on penſe outre cela que pluſieurs Vaiſſeaux ne ſe trouvent très-mauvais voiliers, qu'ils ne marchent très-mal, ou qu'ils ne ſont expoſés au péril de verſer auſſi-tôt que le vent devient un peu fort, que parce qu'on ne réuſſit pas à trouver la diſpoſition particuliere qu'ils demandent ; quoi qu'on la cherche quelquefois en Mer pendant dix ou vingt ans, ou pendant tout le tems de leur ſervice.

Si les différentes étenduës des voiles exprimées numériquement pour chaque cas, ne ſe diviſoient pas commodement par les impulſions de l'eau, il n'y auroit, ſi on le vouloit, qu'à augmenter ces premieres quantités d'un

Digitized by Google

certain nombre de zéros ; puiſqu'il n'importe que ces expoſans ſoient plus ou moins grands, & qu'il ne s'agit que de voir la grandeur qu'ils ont les uns par raport aux autres. Plus on en aura calculé un grand nombre, mieux on s'aſſurera de la loi qu'ils ſuivent, & on en inferera mieux la grandeur qu'ils doivent avoir dans tous les autres cas. On y réuſſira toujours ſans peine, en les comparant à une expreſſion générale, mais indéterminée, qu'on rendra ſpécifique en l'accommodant aux circonſtances particulieres, ou en l'aſſujettiſſant aux expoſans déja trouvés. Supoſé qu'on eût calculé quatre de ces expoſans, il n'y auroit qu'à prendre pour leur expreſſion générale une quantité formée de quatre termes, comme $lz^3 + mz^2 + nz + p$, dans laquelle les coëfficiens l, m, n, p ſont indéterminés, pendant que la variable z déſigne les divers enfoncemens de la carène, non pas ſes enfoncemens abſolus ; mais leurs excès à l'égard du premier ou du moindre, c'eſt-à-dire, les quantités verticales dont on ſupoſe que le Navire cale davantage dans les autres cas que dans le premier. La variable z déſigneroit également ou l'inclinaiſon du Navire ou la quantité dont il plonge plus vers la poupe que vers la proüe, ou toute autre circonſtance, ſi elle faiſoit le ſujet de la queſtion.

Mais au lieu de ſupoſer ici quatre expoſans connus, nous n'en conſidererons que trois, pour une plus grande ſimplicité ; & nous nous bornerons à l'expreſſion $mz^2 + nz + p$ qui eſt alors ſuffiſante. Nous nommerons a, b & c ces trois expoſans ; & nous ſupoſerons que les trois différens enfoncemens de la carène pour leſquels ils ſont calculés, ſe ſurpaſſent également de la quantité e. Ainſi ces expoſans apartiendront aux trois cas dans leſquels z ſera égale ou à *zéro*, ou à e, ou à $2e$; & nous n'aurons donc qu'à introduire ſucceſſivement ces trois valeurs de z dans l'expreſſion générale $mz^2 + nz + p$, pour l'obliger de devenir égale aux trois quantités a, b & c. Nous aurons, en un mot, les trois équations, $p = a$; $me^2 + ne + p = b$; $4me^2 + 2ne + p = c$, par le moyen deſquelles nous pouvons confor-

mement aux regles ordinaires d'Algébre, chaſſer m, n & p; & notre expreſſion générale des expoſans deviendra $\frac{a-2b+c}{2e^2} \times z^2 - \frac{3a+4b-c}{2e} \times z+a$ qui ne contient plus, comme on le voit, que des grandeurs connuës, puiſqu'il faut conſiderer comme telle la variable z. Nous pouvons donc maintenant, à l'aide de cette expreſſion, trouver les expoſans ou les *argumens* de la viteſſe du ſillage pour tous les cas que nous voudrons; & il ne reſte plus qu'à en déterminer le *maximum*, pour connoître la diſpoſition la plus avantageuſe, ou celle qui rend l'étenduë des voiles la plus grande qu'il eſt poſſible, eu égard à la réſiſtance de l'eau contre la proüe. Il n'y a enfin qu'à prendre la differentielle & l'égaler à zero; & on en déduira $z = \frac{2a-4b+c}{2a-4b+2e} \times e$, *formule* qui réſoud effectivement le Problême, en nous aprenant l'excès précis z d'enfoncement dont il faut faire caler la carène, pour que le Navire, avec la mâture convenable, ſingle le plus vite qu'il eſt poſſible.

Supoſons, pour en donner un exemple, que 1°. Pour le moindre enfoncement de la carène, la mâture que peut ſoutenir le Navire n'ait que 84 pieds de hauteur, ce qu'on trouvera par les regles expoſées ci-devant, & qu'alors la réſiſtance que ſouffre la proüe ſoit la même que ſi l'eau choquoit perpendiculairement une ſurface plane qui eût 42 pieds quarrés d'étenduë. 2°. Que lorſque la carène enfonce dans l'eau de deux pieds de plus, la hauteur de la mâture ſoit de 117 pieds, & qu'alors la ſurface convexe de la proüe ſe reduiſe, quant à la réſiſtance qu'elle éprouve de la part de l'eau, à une ſurface plane de 45 pieds quarrés; & qu'enfin 3°. Lorſque le Navire cale encore de deux pieds de plus, la mâture doive avoir 120 pieds de hauteur, & que la ſurface de la proüe ſe réduiſe à un plan de 50 pieds quarrés. Nous multiplierons d'abord, pour la commodité du calcul, ou pour éviter les fractions, les trois différentes hauteurs de la mâture par un nombre arbitraire 5, & diviſant enſuite ces trois produits par l'étenduë des plans

plans auſquels la ſurface courbe de la proüe ſe réduit dans chaque cas, nous trouverons 10, 13 & 12 pour les trois expoſans a, b & c, ou pour les trois différens dégrés d'avantages qu'a le Navire dans les trois hypothéſes ou diverſes diſpoſitions. Enfin introduiſant ces derniers nombres dans la formule, en mettant deux pieds à la place de e; nous trouverons $z\left(=\frac{2a-4b+c}{2a-4b+2c}\times e\right)=2\frac{1}{2}$; ce qui nous aprend, qu'au lieu de s'arrêter au premier cas ou au ſecond, on doit faire caler le Navire de $2\frac{1}{2}$ pieds plus que dans le premier, ou de $\frac{1}{2}$ pied plus que dans la ſecond, & que c'eſt pour ce degré précis d'enfoncement qu'on doit diſpoſer réellement la mâture. Il eſt vrai que cette ſolution n'eſt qu'aprochée; puiſque nous ſupoſons que les expoſans changent ſelon une loi qu'ils ne peuvent ſuivre exactement que par hazard. Mais en tout cas, ſi l'on craignoit quelque erreur, il n'y auroit qu'à recommencer la ſolution une ſeconde fois, après avoir calculé les trois premiers expoſans pour trois enfoncemens moins différens les uns des autres, & plus voiſins de celui que la premiere ſolution auroit fourni. Un dernier avis que nous ne devons pas oublier, quoi qu'il ne ſoit que pour quelques Lecteurs; c'eſt que ſi le ſecond expoſant b étoit le plus petit des trois, notre formule ne donneroit pas alors un *maximum*, mais un *minimum*: ainſi au lieu de s'arrêter à la diſpoſition qu'elle indiqueroit, il faudroit au contraire s'en éloigner le plus qu'il ſeroit poſſible.

II.

La difficulté qui oblige dans ce Problême d'avoir recours aux méthodes d'aproximation, lorſqu'on veut le traiter d'une maniere utile pour la pratique, vient de ce qu'on ne peut pas conſiderer les Navires comme des corps géométriques ou homogènes, & de ce qu'il n'eſt pas aiſé non plus d'avoir une expreſſion générale de l'impulſion de l'eau ſur les différentes portions de leur carène. Nous allons,

afin de repandre un plus grand jour sur la question, tacher néanmoins de la résoudre d'une maniere plus rigoureuse, pour les Navires formés en parallelipipede rectangle : cette figure a ses avantages, comme nous l'avons assez montré ; d'ailleurs notre examen ne se fera pas sans fruit ; il sera susceptible d'aplication.

Fig. 61. Supofons que la figure 62 représente la coupe de ce Navire, faite perpendiculairement à sa longueur. Je nomme *a* sa demie largeur FB ; *b* la hauteur de son centre de gravité particulier au-dessus du fond E de la carène ; *c* la moindre quantité dont il faut qu'il plonge pour que l'eau déplacée soit capable de le soutenir, lorsqu'il n'a point de charge ; *m* la pesanteur spécifique de la matiere qui doit servir de lest ; *n* celle de l'eau marine ; & *x* l'enfoncement du Navire, lorsqu'il sera chargé.

Toutes ces choses supofées ; nous trouverons la hauteur du centre de gravité commun du Navire & de sa charge en suivant le même procedé que dans le Chapitre X. de la seconde Section du second Livre. La pesanteur particuliere du Navire le fait enfoncer dans l'eau de la quantité *c* ; nous prendrons cet enfoncement pour l'expression de cette pesanteur particuliere, & nous aurons *bc* pour son moment par raport au fond de la carène, qui servira de terme ou de point fixe pendant la recherche du centre de gravité. Lorsqu'on introduira le lest dans la cale, le Navire qui plongeoit de la quantité *c*, le fera ensuite de la quantité *x* ; ainsi $x-c$ exprimera la pesanteur particuliere du lest ; & comme ce lest doit occuper d'autant moins de place, qu'il est plus pesant que l'eau marine, ou que *m* est plus grande que *n*, nous aurons $\frac{n}{m} \times \overline{x-c}$ pour sa hauteur dans la cale & $\frac{n}{2m} \times \overline{x-c}$ pour celle de son centre de gravité. Je multiplie cette hauteur par $x-c$, qui désigne la pesanteur, & il vient $\frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ pour le moment particulier du lest ; moment qui étant ajouté à celui du corps

du Navire, donne $bc + \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ pour la somme des momens. Il ne reste plus qu'à diviser cette somme par x, qui désignant l'enfoncement total, exprime la somme des pesanteurs; il viendra $\frac{bc}{x} + \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ pour la hauteur du centre de gravité commun au-dessus du fond E de la carène. Fig. 62.

A l'égard du métacentre, il est élevé de la quantité $\frac{a^2}{3x}$ au-dessus du centre de gravité de la partie sumergée *, & par conséquent de la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ au-dessus du fond de la carène. Ainsi il est élevé de $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ au-dessus du centre de gravité commun du Navire & de sa charge. Il faut multiplier, comme on le sçait, cette quantité par la pesanteur totale du Vaisseau pour avoir sa stabilité, ou la force qu'il a pour soutenir l'effort du vent contre les voiles. Nous obtiendrons la pesanteur totale actuelle du Vaisseau, en nommant g sa longueur exprimée en pieds de Roy, & en multipliant cette dimension par la largeur $2a$ & par la profondeur x de la partie sumergée, lesquelles doivent être aussi en pieds de Roy. Nous aurons $2agx$ pour le solide qu'il ne resteroit plus qu'à multiplier par la pesanteur du pied cubique d'eau de Mer, pour avoir la pesanteur totale. Mais comme il se fait une reduction au levier, qui à cause du peu d'inclinaison que reçoit le Navire dans les routes obliques, se trouve environ six fois plus petit, nous ne multiplierons pas la solidité $2agx$ de la partie sumergée par la pesanteur entiere 72 livres du pied cubique, nous ne la multiplierons que par une certaine partie de cette pesanteur, par exemple, 12 livres que nous exprimerons généralement par p. Nous avons donc $2agpx$; & multipliant ce produit par la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ dont le centre de gravité

* Voyez l'art. 1. du Chap. 4. de la 2. Sect. du 2. Liv.

Digitized by Google

Fig. 61. commun est au-dessous du métacentre, il nous viendra $2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ pour le moment de la pesanteur du Navire ou pour la force relative qu'il a pour soutenir la voile dans les routes obliques; force relative sur laquelle nous devons regler la hauteur de la mâture, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre III. & IV. qui précédent.

Nous nommons h cette hauteur ou plutôt celle des voiles; l leur largeur commune, & e la quantité dont leur base est élevée au-dessus du fond de la carène. Leur surface sera hl, que nous multiplierons par l'effort i que fait le vent sur chaque pied quarré de surface; ce qui nous donne hli pour la grandeur de l'impulsion, qui se réunit dans le milieu de la voile comme centre, & qui s'exerce par conséquent sur une direction élevée au-dessus du fond E de la carène de la quantité $\frac{1}{2}h + e$. Il ne reste plus après cela qu'à faire attention que le point qui sert d'hypomoclion à l'effort des voiles, est au milieu de la partie submergée *. Ainsi le bras de levier auquel est apliqué l'effort hli du vent, n'est pas $\frac{1}{2}h + e$, mais $\frac{1}{2}h + e - \frac{1}{2}x$; & nous aurons donc $hli \times \overline{\frac{1}{2}h + e - \frac{1}{2}x}$ pour le moment de l'effort du vent qui doit être égal à cause de l'équilibre, au moment trouvé ci-devant $2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ de la pesanteur du Vaisseau. C'est-à-dire, que nous avons l'équation $hli \times \overline{\frac{1}{2}h + e - \frac{1}{2}x} = 2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ dans laquelle nous n'avons qu'à traiter h comme inconnuë, & resolvant l'équation, qui ne sera que du second degré, nous découvrirons la hauteur h de la mâture par raport à toutes les autres quantités.

* Voyez l'art. 1. du Chap. 4. précédent.

Si on divise ensuite cette valeur de h, qui est proportionelle à l'étenduë des voiles par l'enfoncement x, qui est proportionel aux diverses surfaces de la carène ou aux impulsions que reçoit la prouë de la part de l'eau dans les

différens cas, on obtiendra l'expreſſion générale des quotiens ou expoſans dont nous parlions dans l'article I. Ces quotiens ſervent d'*argumens* à la rapidité du ſillage ; il n'y aura donc qu'à en chercher le plus grand. Fig. 62.

On prendra pour cela, comme à l'ordinaire, la différentielle, on l'égalera à zéro, & il ne s'agira plus que d'en déduire x, qui ſera la ſeule inconnuë, & dont la plus haute dimenſion ne ſera que le quarré ; de ſorte que l'équation à reſoudre ne ſera encore que du ſecond degré. Connoiſſant ainſi l'enfoncement de la carène le plus avantageux, on aprendra par de ſimples ſubſtitutions la quantité du leſt la plus convenable, de même que la hauteur que doit avoir effectivement la mâture, pour rendre le Navire propoſé capable de ſingler avec la plus grande rapidité poſſible.

On pourra ſouvent négliger la quantité dont le bas de la voile eſt élevé au-deſſus du milieu de la partie ſumergée de la carène ; & alors le calcul ſera beaucoup plus ſimple. La hauteur de la mâture ſera proportionelle à la racine quarrée de la ſtabilité $2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{4}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ du Navire. Ainſi ſi elle n'eſt pas égale à $\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{4}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}$, elle ſuivra au moins toujours le même raport ; & ſi on la diviſe par l'enfoncement x, qui peut toujours exprimer les diverſes impulſions que ſouffre la proüe, il n'y aura qu'à faire de $\frac{\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{4}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}}{x}$ un *maximum*. La différentielle de cette quantité étant égalée à zéro, donne *la formule* $x = \frac{2m}{n}b + c - \frac{2m}{3n} \times \frac{a^2}{c}$ qui ſatisfait au Problême.

Supoſé que la demie largeur a ſoit de 20 pieds, la hauteur b du centre de gravité particulier du Navire au-deſſus du fond de la carène de 21 pieds, & que la peſanteur particuliere du Vaiſſeau ſoit telle qu'elle produiſe ſeule un en-

Digitized by Google

foncement c dans l'eau de 7 pieds. Supoſé outre cela que le leſt ſoit d'une peſanteur ſpécifique double de celle de l'eau marine, de ſorte que ſi $n=1$, on ait $m=2$, la formule précédente nous donnera $x=14\frac{17}{21}$ pieds; ce qui nous aprend que le Navire propoſé, qui n'enfonçoit dans l'eau que de 7 pieds lorſqu'il étoit ſans charge, doit enfoncer de $14\frac{17}{21}$, pour que tout équipé, il puiſſe, avec la mâture convenable, ſingler le mieux qu'il eſt poſſible. Au reſte nous ne devons pas oublier les remarques ſuivantes que nous ſuggere la même formule.

On doit donner une plus grande charge au Vaiſſeau ou le faire caler davantage; toutes les fois 1°. Que la hauteur b eſt plus grande, ou que le centre de gravité particulier du Navire eſt plus élevé; toutes les fois 2°. Que la peſanteur particuliere du Navire eſt plus grande, ou que ſans charge il enfonce dans l'eau d'une plus grande quantité c; toutes les fois 3°. Que a eſt plus petite ou que le Navire eſt plus étroit; enfin 4°. Preſque toutes les fois que la peſanteur ſpécifique du leſt eſt plus grande par raport à celle de l'eau marine. Si toutes les autres circonſtances étant les mêmes, le leſt eſt, par exemple, cinq fois plus peſant que l'eau de Mer, on trouvera $26\frac{1}{21}$ pieds, au lieu de $14\frac{17}{21}$ pour l'enfoncement le plus avantageux. Il pourra arriver que le Navire ne ſoit pas aſſez profond pour caler d'une ſi grande quantité: on ne pourra pas profiter alors du *maximum* que fournit notre ſolution, & on ſera obligé de ſacrifier à la ſureté de la navigation quelque choſe de ſa promptitude; il faudra conſentir à ſingler un peu moins vite pour ceder au plus puiſſant des interêts. Mais on ſçaura toujours au moins qu'il faut faire plonger le Navire le plus qu'il eſt poſſible, & que c'eſt pour ce plus grand enfoncement que les dimenſions de la mâture doivent être reglées. Si lorſque le Navire a 19 ou 20 pieds de profondeur, on trouvoit au contraire que ſon enfoncement le plus avantageux n'eſt que de 13 ou 14 pieds, on concluroit qu'une partie de ſa profondeur eſt inutile, au moins pour la promptitude de la marche. Ainſi nos ſolutions apliquées

Digitized by Google

d'avance aux Navires qui ne ſont encore que projettés, aprendront toujours à en corriger les plans ou les profils & à les mieux former.

CHAPITRE VII.

De la forme que doivent avoir les Vaiſſeaux dans le ſens de leur groſſeur pour mieux porter la voile & aller plus vite.

I.

IL nous ſera facile par les regles expoſées dans les Chapitres précédens, de trouver les dimenſions de la mâture que demande chaque Navire : quelque mal formé qu'il ſoit, nous trouverons toujours aiſément la diſpoſition & la grandeur de la voilure qui lui convient le mieux. Sans doute qu'il eſt cependant une certaine figure qui donne aux Vaiſſeaux plus d'avantage en cela, ou qui les rend plus propres à recevoir une bonne mâture; & nous ne devons pas manquer d'en examiner plus particulierement les conditions. Heureuſement la plûpart des choſes que nous avons déja dites dans le ſecond livre touchant la ſtabilité des Navires, trouvent actuellement une ſeconde aplication; la force relative avec laquelle le Navire ſoutient l'effort du vent ne différant pas de celle qu'il a pour perſiſter dans ſa ſituation horiſontale ou pour y revenir; l'une & l'autre étant le produit ou proportionelles au produit de la peſanteur par la quantité dont le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. On a vû la proprieté qu'a à cet égard la carène qui eſt formée en parallelipipede rectangle; c'eſt ce qui nous a obligé d'examiner ſouvent cette figure : les Chinois entreprenent d'aſſez longues navigations dans des Vaiſſeaux qui l'ont à peu près; & on pourroit d'ailleurs retrancher ce qu'elle a de nuiſible, en con-

ſervant tout ce qu'elle a d'avantageux. Rien n'empêche de donner au moins à toutes les coupes faites perpendiculairement à la quille la forme de rectangle, en faiſant terminer la carène en pointe vers la proüe & vers la poupe comme à l'ordinaire. Le Navire auroit enſuite la proprieté de bien ſoutenir la voile, en même tems qu'il ſeroit d'une capacité beaucoup plus grande.

Nous ne voyons rien de mieux pour la conſtruction des Navires qui ne ſont deſtinés qu'à porter un grand poids. On n'entend pas dans la rigueur qu'on faſſe rectangulaires les coupes perpendiculaires à la longueur, on doit ſans doute en émouſſer les angles; mais plus les coupes de la carène aprocheront de la figure rectangulaire, plus le Navire aura d'avantage en fait de charge & de tranſport. Si les coupes étoient des demi-cercles, & ſi on ſupoſe, comme on le doit ici, que la ſaillie de la proüe produiſe toujours une ſemblable diminution dans la réſiſtance de l'eau, cette réſiſtance ſe trouveroit moindre dans le même raport qu'un demi-cercle eſt plus petit que le rectangle circonſcrit: c'eſt-à-dire, dans le raport de 11 à 14; & la viteſſe du ſillage n'augmenteroit guéres que d'une neuviéme partie, comme on peut s'en aſſurer par un calcul ſemblable à celui du Chapitre I. de la ſeconde Section. Mais cette plus grande célerité ne compenſeroit pas, & il s'en faudroit même beaucoup, la moindre quantité de charge que le Navire porteroit enſuite; puiſque ſa cale ſeroit plus petite que celle de l'autre Vaiſſeau dans le raport de 11 à 14. Il faut encore ajouter de plus à l'avantage de ce dernier ou de celui dont les coupes ſont rectangulaires, que ſi on trouve qu'il ſingle moins vite que le premier d'une neuviéme partie: c'eſt en ſupoſant qu'il n'a que la même quantité de voiles, au lieu qu'il eſt démontré qu'il peut en porter beaucoup plus. Ainſi la différence entre les viteſſes ſeroit encore plus petite, elle ne ſeroit quelquefois que d'une quinziéme ou ſeiziéme partie; pendant que celle qui ſe trouve entre les peſanteurs de la charge ſubſiſteroit toute entiere & que le Navire ſeroit preſque d'un quart plus

de

de port. Or il paroît après cela qu'on ne doit point balancer à augmenter encore le plat des varangues de la plûpart des Gabares, des Flutes & de tous les autres bâtimens qui ne servent que pour le transport. Nous ajouterons que cet avantage qu'a la figure rectangulaire, sur la circulaire, toutes les figures intermédiaires l'ont aussi en partie: on augmentera toujours plus à proportion le port d'un Navire, lorsqu'on élargira sa carène par en bas, qu'on ne fera diminuer la viteſſe de son sillage.

II.

Mais supposons qu'au lieu d'un Navire de charge, il s'agisse d'une Frégate legere, d'une Corvette, qui ne doit avoir d'autre usage que de passer avec la plus grande viteſſe possible d'un endroit à un autre, sans être embarrassée d'artillerie ni d'aucun poids étranger, si on en excepte le lest qui est absolument nécessaire, pour contrebalancer le poids de la mâture & des autres parties supérieures. On remarquera d'abord qu'il n'est pas ici question de la figure qui fait absolument le mieux porter la voile ou qui donne plus de stabilité au Navire: car cette figure qui est celle dont nons venons de parler, seroit cause que le Navire trouveroit en même tems beaucoup plus de réſiſtance à fendre l'eau. Ainsi la forme que nous cherchons, est celle qui augmente le plus qu'il est possible la force pour porter la voile, eu égard à la réſiſtance que la proüe éprouve par la rencontre de l'eau.

Il paroîtra peut-être assez surprenant que la figure du Navire doive être différente, selon la pesanteur spécifique des choses dont il est chargé: ce sera cependant encore la même chose dans la suite, lorsqu'il sera question de tracer les lignes courbes qui forment les côtés de la carène dans le sens de sa longueur. Mais on peut dans l'usage ordinaire supposer toujours que le lest est deux fois plus pesant que l'eau marine, parce que si on y mêle quelques parties de fer, il faut aussi y comprendre d'autres choses beau-

coup plus legeres, comme le poids de toutes les munitions de bouche. Il ne reſtera plus après cela qu'à ſe reſſouvenir du Théoreme établi dans le Livre précédent *, que lorſqu'on ajoute par en bas aux deux côtés de la carène APPB (Fig. 61.) deux triangles PO*p* & que la peſanteur ſpécifique du leſt eſt double de celle de l'eau de Mer, la ſtabilité du Navire qui étoit exprimée par APPB multipliée par la quantité Gg, ſe trouve augmentée des deux petits triangles OP*p* multipliés par la quantité HK dont leur centre de gravité particulier eſt plus bas que la ſurface MM du leſt. C'eſt-à-dire, que nommant E l'étenduë AOPPOB, & *e* l'étenduë des deux petits triangles ajoutés OP*p*, on aura, comme dans l'endroit déja cité, E × Gg pour la ſtabilité du Navire dans le premier cas, & *e* × HK pour l'augmentation qu'elle reçoit dans le ſecond; ou E × Gg ± *e* × HK pour cette ſeconde ſtabilité entiere, ſelon qu'on a ajouté ou retranché les deux petits triangles. L'augmentation ou la diminution, au lieu d'être *e* × HK, ſera *n* — 1 × *e* × HK, ſi la peſanteur ſpécifique du leſt eſt plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois *n*. Il eſt clair après cela que le Navire doit ſoutenir une plus grande voilure, dans la circonſtance preſente, lorſque les deux petits triangles ſont ajoutés; mais on doit remarquer qu'il n'eſt pas permis d'augmenter l'étenduë des voiles dans le même raport que la ſtabilité eſt plus grande. La voile a toujours la même largeur, puiſque nous ne changeons point la largeur du Navire par en haut: il n'y a que la hauteur de la mâture que nous augmenterons plus ou moins. Mais en même tems que nous l'augmentons, ſon centre d'effort qui eſt au milieu de ſa hauteur, ſe trouve plus haut; & cela fait que ſon moment augmente ſenſiblement comme le quarré de ſa hauteur. Or comme c'eſt ce moment qui doit être égal ou proportionel à la ſtabilité du Navire, qui n'eſt elle-même autre choſe qu'un moment, il eſt clair que ce n'eſt pas la hauteur de la voile, mais le quarré de cette hauteur, qui doit augmenter en même raiſon que la

* Chap. 9. Sect. 2.

Fig. 61.

Digitized by Google

ſtabilité: & il ſuit de là que la hauteur de la voile doit changer à peu près deux fois moins à proportion que la ſtabilité. Car lors qu'un quarré reçoit un très-petit changement, ſon côté n'en reçoit à proportion qu'un deux fois moindre. Fig. 61.

Ainſi lorſque la ſtabilité du Navire, qui étoit $E \times Gg$, reçoit la petite augmentation $e \times HK$ & devient $E \times Gg + e \times HK$ par l'addition des deux petits triangles OPp aux deux côtés de la carène, la hauteur de la voile ou ſon étenduë, au lieu d'être augmentée dans le raport de $E \times Gg$ à $e \times HK$ ne le doit être que dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{1}{2} HK$, ou généralement dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{n-1}{2} \times HK$. Cela ſupoſé, & nous bornant toujours au cas particulier, il ne nous reſte plus pour décider ſûrement s'il eſt avantageux d'ajouter ou de retrancher les deux petits triangles OPp, qu'à voir ſi $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$, eſt plus ou moins grand, que e par raport à E. Car de même que $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$ repréſente le petit changement qu'on peut faire à la grandeur de la voile & à l'effort total du vent, e comparée à E, exprime le petit changement que reçoit la réſiſtance de l'eau; puiſque le conoïde qui forme la proüe eſt toujours cenſé recevoir de la part de l'eau, une impulſion qui eſt une certaine partie de celle que reçevroit la ſurface E ou $E + e$ qui lui ſert de baſe.

Nous avons maintenant trois cas à diſtinguer, 1°. Si Gg eſt égal à la moitié de HK, il y aura même raport de $e \times \frac{1}{2} HK$ à $E \times Gg$ que de e à E, & comme il faudra alors augmenter l'étenduë des voiles ou leur hauteur, préciſément dans le même raport que l'étenduë E de la coupe $APPB$, il n'y aura ni avantage ni deſavantage à donner plus ou moins de plat aux varangues, ou à ajouter ou à retrancher les deux petits triangles OPp à la carène: car l'étenduë de la voile ſuivant préciſement le même raport dans ſon changement, que l'étenduë de la coupe $APPB$ dans le ſien, on ne gagneroit pas plus de la part de l'impulſion du vent, qu'on ne perdroit en même tems du côté de

Fig. 61. la réſiſtance de l'eau. 2°. Si $\frac{1}{2}$ HK eſt plus grande que Gg, le produit $e \times \frac{1}{2}$ HK ſera plus grand par raport à E × Gg, que e par raport à E. On pourra augmenter par conſéquent l'étenduë de la voile en plus grand raport qu'on ne fera augmenter l'étenduë de la coupe APPB, & il y aura donc de l'avantage à augmenter le plat des varangues ou à ajouter les petits triangles OPp. Enfin, 3°. Si $\frac{1}{2}$ HK eſt moindre que Gg, le produit $e \times \frac{1}{2}$ HK ſera moindre par raport à E × Gg, que e par raport à E. Ainſi lorſqu'on augmentera l'étenduë E de la coupe APPB de la quantité e, on ne pourra pas procurer une ſi grande augmentation à l'étenduë de la voile, & il y auroit donc alors du deſavantage; on perdroit plus par la plus grande réſiſtance de l'eau, qu'on ne gagneroit du côté de l'impulſion du vent. Or c'eſt ici le cas qui a lieu dans les Frégates legeres & dans toutes les autres eſpeces de Navires qui ne ſont deſtinés qu'à bien marcher. Dans la Gazelle, par exemple, le centre de gravité G eſt au-deſſous du métacentre g d'environ 5 pieds, en même tems que le left peut occuper à peine dans la cale 7 ou 8 pieds de hauteur EK. La moitié de HK ne peut donc pas manquer d'être moindre que Gg, & par conſéquent $e \times \frac{1}{2}$ HK eſt toujours moindre par raport à E × Gg, que e par raport à E.

Il ſuit de là qu'au lieu d'augmenter le plat des varangues dans les Frégates legeres, il faut au contraire en retrancher; parce qu'on fera plus diminuer à proportion la réſiſtance de l'eau, qu'on ne ſera obligé de diminuer en même tems l'étenduë des voiles. La diminution de la réſiſtance de l'eau ſera toujours exprimée par e comparée à E, & il eſt évident toutes les fois que $\frac{1}{2}$ HK $\prec$ Gg, que cette diminution ſera plus grande que celle qu'on fera à la hauteur ou à l'étenduë de la voile qui eſt exprimée par $e \times \frac{1}{2}$ HK comparé à E × Gg, ou par $e \times \frac{\frac{1}{2}HK}{Gg}$ comparé à E. On doit donc retrecir la carène par en bas le plus qu'on peut, & il y a ſouvent à gagner à faire diſparoître le plat des varangues. Il eſt vrai que toutes les ſupoſitions que nous

Digitized by Google

avons faites sur la situation du centre de gravité, sur celle du métacentre & sur la hauteur du lest, peuvent bien s'éloigner un peu du vrai; mais elles ne s'en éloigneront jamais assez, pour nous faire tromper dans nos conclusions. Fig. 61.

Au reste on doit remarquer que s'il y a de l'avantage dans les Frégates de retrancher de l'étenduë de la carène en bas par les côtés, il n'est ici question que de toucher aux seules largeurs sans diminuer la profondeur. C'est la grandeur de cette derniere dimension qui procure au Navire, avec plusieurs autres avantages, la proprieté de dériver moins, proprieté qui doit nous être encore plus précieuse que celle de Naviger avec promptitude. Nous avons indiqué dès le commencement de ce troisiéme Livre une cause qui contribuë peut-être beaucoup à faire diminuer la dérive, lors qu'on augmente la profondeur du Navire *. Mais outre cela, plus le Navire a de creux, plus il plonge en bas dans une eau tranquille, & moins il participe à l'agitation des vagues qui ne sont que superficielles, & qui poussant de côté dans les routes obliques, causent une dérive accidentelle, mais très-grande, qui se joint à la premiere. Le seul moyen d'y remedier, c'est de rendre la carène plus profonde.

* Voyez le Chap. 2. art. 1.

Nous conclurons cet article, en ajoutant qu'on pourra se contenter de donner aux coupes des Frégates une Figure exactement circulaire: ce sera toujours perfectionner la forme qu'elles ont actuellement. Mais nous montrerons plus bas, que si on vouloit saisir tout d'un coup la disposition la plus avantageuse, sans s'arrêter à corriger peu à peu les pratiques qui sont actuellement en usage, il faudroit rendre les flancs exactement des lignes droites depuis le haut jusqu'en bas; & alors on donneroit à la premiere coupe la figure ou d'un trapeze ou d'un simple triangle, selon que le poids des parties supérieures du Navire, obligeroit de donner plus de plat à la varangue, ou permettroit de le suprimer entierement. Il faudroit dans ce dernier cas que les ports & les autres endroits frequentés par la Frégate ou plutôt par la corvette, n'affechassent jamais.

Digitized by Google

Fig. 61. La premiere coupe de la carène ſe trouvant alors réduite à la moindre étenduë, la prouë trouveroit une moindre quantité d'eau dans ſon chemin, & le ſillage en deviendroit plus rapide. La Corvette auroit encore un autre avantage; elle dériveroit beaucoup moins. Car on doit ſe ſouvenir que lorſqu'on fait diminuer la réſiſtance que ſouffre la prouë ſelon ſon axe, on fait augmenter au moins relativement la réſiſtance dans le ſens latéral*; & il réſulte toujours de cette augmentation une moindre déviation ou dérive dans les routes obliques.

* Voyez la fin du Chap. 8. de la 1re. Sect. de ce 3e. Livre.

III.

Enfin, s'il s'agit d'un Vaiſſeau de guerre qui doit être conſidérablement chargé par en haut par le poids de ſes ponts & de ſon artillerie, on peut le conſiderer comme tenant une eſpece de milieu entre les Frégates legeres & les Bâtimens de charge; & ſi ſa carène ne doit pas être exactement circulaire, & avoir encore moins des triangles pour ſes coupes, elle ne doit pas non plus être plate par deſſous comme dans les Bâtimens de charge. A l'aide de quelques ſupoſitions & des regles précédentes, il ſera toujours facile de reconnoître la figure à laquelle il faudra s'arrêter, ſi on veut que le Navire ait toujours la proprieté de ſingler avec la plus grande viteſſe poſſible; c'eſt ce que nous allons éclaircir par un exemple.

Supoſons qu'en donnant la figure AOPPOB à la carène dans laquelle les points O, d'où on peut tirer commodement les tangentes ou les droites Op, Op, pour élargir la carène par en bas, ſont élevés de 6 pieds de hauteur verticale au-deſſus de l'horiſontale PP, le centre de gravité commun G du Vaiſſeau & de ſon leſt ſe trouve $3\frac{1}{2}$ pieds au-deſſous du métacentre, & que le leſt ait 9 pieds de hauteur, il ſera facile de reconnoître qu'on a rencontré la figure convenable, & qu'il ne faut augmenter ni diminuer le plat PP qu'on a donné à la maîtreſſe varangue. Car le centre de gravité H des deux triangle POp qu'on pourroit ajouter ou retrancher étant au tiers de leur hau-

Digitized by Google

teur, ſera élevé de 2 pieds, & ſera par conſéquent 7 pieds au-deſſous de la ſurface MM du leſt. Or $\frac{1}{2}$HK étant égal à Gg, il y auroit même raport de $e \times \frac{1}{2}$HK à E×Gg que de e à E: ainſi ſupoſé qu'on augmentât ou qu'on diminuât l'étenduë E de la coupe APPB, de la petite quantité e, on ne pourroit augmenter ou diminuer l'étenduë de la voile que dans le même raport; & il n'y auroit donc rien à gagner n'y à perdre du côté de la viteſſe. Or c'eſt ce qui caracteriſe, comme le ſçavent tous les Géométres, le *maximum* ou la diſpoſition la plus parfaite. Mais ſi la ſurface MM du leſt, au lieu d'être élevée de 9 pieds, l'eſt de 10, alors $\frac{1}{2}$HK ſera plus grande que Gg, & le produit E×$\frac{1}{2}$HK étant plus grand par raport à E×Gg, que e par raport à E, il y aura de l'avantage à élargir la carène un peu plus par en bas, & même à élever, ſi on le peut, les points O d'où partent les tangentes Op: car on pourra augmenter l'étenduë de la voile dans un plus grand raport, qu'on n'aura augmenté l'étenduë E de la coupe de la carène. *Enfin tout conſiſte à ſçavoir ſi* $\frac{1}{2}$HK *eſt égale ou plus petite, ou plus grande que* Gg. *Si ces deux quantités ſont égales, on a rencontré la figure* APPB *la plus convenable. Si* $\frac{1}{2}$HK *eſt plus grande que* Gg, *il faut élargir encore la carène par en bas; & ſi* $\frac{1}{2}$HK *eſt moindre que* Gg, *il faudra faire tout le contraire.* Fig. 61.

IV.

Mais ſi on veut en prenant les choſes de plus loin, ſe décider d'une maniere encore plus ſûre & qui ſoit aplicable aux Frégates comme aux Vaiſſeaux de guerre, il n'y a qu'à avoir recours à la ſolution générale que nous avons donnée par voye d'aproximation dans le premier article du Chapitre précédent. On n'aura qu'à calculer *l'expoſant* ou *l'argument* de la viteſſe du ſillage pour trois différentes ſupoſitions ou hypothéſes de plat PP de la varangue; & pour n'être pas obligé d'y revenir, il n'y aura qu'à former les deux flancs AP, BP par deux lignes droites qui partiront des points A & B de la flotaiſon même. On cherchera d'abord pour la premiere hypothéſe, la réſiſtance que doit

Digitized by Google

Fig. 61. éprouver la proüe, de même que l'étenduë des voiles que peut porter le Navire; & on diviſera cette ſeconde grandeur par la premiere. On fera la même choſe, en ſuppoſant que PP eſt ſucceſſivement plus grand d'une certaine quantité (e) & d'une quantité double ($2e$); & les trois *expoſans* a, b & c étant trouvés de cette ſorte, la formule $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e$ marquera la quantité z dont le plat PP de la varangue, qu'on avoit ſupoſé en premier lieu, doit être augmenté ou diminué, pour que le Vaiſſeau ſingle le plus vite qu'il eſt poſſible. Il n'importe que z ſoit poſitive ou négative, il n'y aura qu'à ſe conformer exactement à la formule, il eſt certain que le Navire marchera avec plus de rapidité. Mais on verra par une remarque que nous ferons dans la ſuite, qu'il pourra arriver, lorſque z ſera poſitive, que la dérive ne diminuë pas, quoique la viteſſe du ſillage devienne plus grande.

Il ne nous reſte plus qu'à montrer que la figure la plus avantageuſe qu'on peut donner à la premiere coupe de la carène eſt celle d'un trapeze ou d'un triangle rectiligne; auſſi-tôt qu'on ne veut pas ſe permettre de courber ſes flancs en dedans. Pour prouver qu'on ne doit pas aprouver les figures qu'on employe actuellement dans la Marine ni aucune autre qui en aproche, nous n'avons qu'à jetter les yeux ſur la figure 54 dans laquelle la ligne AB marque la flotation ou la ligne d'eau, & OO la ſurface ſupérieure du leſt qui occupe toute l'étenduë OTEVO. Je dis donc que ſans nous arrêter à chercher quelqu'autre ligne courbe pour en former le contour AOEOB, nous n'avons qu'à tirer tout d'un coup les droites AP & BP, en rendant les eſpaces TPE & VPE de même grandeur ou un peu plus grands que les eſpaces ORT & OSV; & qu'il eſt certain que le trapeze rectiligne APPB ſera plus avantageux que l'autre figure AOEOB. Premierement, le Navire aura plus de ſtabilité & pourra ſoutenir mieux la voile: car en faiſant paſſer le leſt qui occupoit les eſpaces ORT, OSV dans les deux autres eſpaces TPE, VPE, le centre de gravité du tout

tout ſera plus bas, & par conſéquent la charge même un peu diminuée, aura plus de moment par raport au métacentre. En ſecond lieu, le trapeze APPB aura ordinairement un peu moins d'étenduë que n'en avoit l'autre figure, ce qui ſera diminuer le volume d'eau que le Navire choque pendant ſa marche; mais quand même cette étenduë ne ſeroit pas moindre, le trapeze ſera cependant toujours plus propre à ſervir de baſe à un conoïde qui ſouffrira moins de réſiſtance de la part de l'eau, comme on le verra dans la Section ſuivante. Ainſi on gagne de toutes manieres à ſubſtituer la figure rectiligne à la curviligne. Cette figure ſera un rectangle dans les Bâtimens de charge; elle deviendra un trapeze moins large par en bas dans les Vaiſſeaux de guerre, de même que dans les Frégates; & enfin la largeur par en bas ſe réduiſant quelquefois à rien, le trapeze ſe changera en un ſimple triangle dans les Corvettes. Fig. 61.

CHAPITRE VIII.

De la groſſeur qu'il faut donner aux Vaiſſeaux par raport à leur longueur pour qu'ils portent mieux la Voile; avec le moyen d'augmenter extraordinairement la rapidité de leur ſillage.

NOUS n'avons examiné juſqu'à préſent que la forme de la coupe verticale du Navire faite perpendiculairement à ſa longueur: mais ſçavons-nous quelle grandeur on doit donner à cette coupe, ou ce qui revient au même; ſçavons-nous quelle largeur on doit donner au Vaiſſeau? Cette largeur étant déterminée, la grandeur de la coupe le ſera auſſi; puiſque nous venons d'aſſujettir ſa figure à ſa largeur. Ainſi il ne s'agit pas ici de changer ſeulement la largeur ou ſeulement la profondeur; mais de changer ces

deux dimenſions en même tems, ou le raport qu'elles ont avec la longueur de la carène.

I.

Plus on augmente l'étenduë de la coupe, plus le Navire, dont nous ſupoſons que la longueur reſte la même, a de capacité, plus il a de peſanteur, plus cette peſanteur eſt apliquée au-deſſous du métacentre; & plus par conſéquent elle a de force relative ou de moment pour ſoutenir l'effort du vent, & on peut donc donner plus d'étenduë aux voiles. Nous avons montré en effet dans le premier Livre *, que lors qu'on augmente la largeur & la profondeur du Navire proportionellement, ſans toucher à ſa longueur, on peut ſans riſque augmenter la largeur & la hauteur des voiles dans le même raport. Si, par exemple, on a doublé la largeur du Vaiſſeau & ſon creux, l'étenduë de chaque de ſes coupes ſera quatre fois plus grande, le Navire aura quatre fois plus de peſanteur; & comme ſon centre de gravité ſera deux fois plus bas, par raport au métacentre, la ſtabilité ou la force pour ſoutenir la voile ſera comme le cube de la largeur, ou huit fois plus grande. Si on double auſſi la largeur & la hauteur des voiles, leur ſurface ſera quatre fois plus étenduë, & le centre d'effort étant en même tems 2 fois plus haut, le moment ou la force relative avec laquelle le vent travaillera à faire verſer le Navire, ſera également huit fois plus grande, & ne ſera donc toujours que maintenir l'équilibre avec l'autre force.

* Art. 3. Chap. 3. Sect. 2.

II.

Mais il n'eſt pas queſtion de ſçavoir ſi le Navire qu'on rend plus large peut, abſolument parlant, porter plus de voiles; on demande, ſi la quantité qu'il en peut ſoutenir devient plus grande par raport à la réſiſtance de l'eau qui s'opoſe à la rapidité du ſillage & qui ſe trouve auſſi acruë. Si la proüe avoit une figure parfaitement ſemblable dans les deux cas, ou ſi lors que la premiere coupe eſt plus éten-

Digitized by Google

duë, la prouë avoit en même tems plus de longueur ou plus de faillie, la réſiſtance de l'eau n'augmenteroit que ſelon l'étenduë de la premiere coupe; & il y auroit dès lors une parfaite compenſation; pourvû qu'on n'augmentât pas davantage les dimenſions de la mâture. Car l'obſtacle que met l'eau au mouvement du ſillage, augmentant autant que l'effort du vent qui tend à l'accelerer, la viteſſe de la marche reſteroit exactement la même. Mais auſſi-tôt que la longueur du Navire ne change pas pendant qu'on le rend plus gros, la prouë eſt non-ſeulement un conoïde qui a une plus grande baſe, elle eſt auſſi plus obtuſe, & par ce dernier chef elle doit éprouver plus de réſiſtance à proportion. Il ſuit de là qu'il n'y a point d'avantage à acquerir pour la promptitude du ſillage, comme cela pouvoit paroître d'abord, lorſqu'on élargit le Vaiſſeau; & que c'eſt tout le contraire. Car pour revenir à la ſupoſition particuliere que nous avons faite; en augmentant la largeur & la profondeur de la carène deux fois, on ne peut donner que quatre fois plus d'étenduë aux voiles: au lieu que la réſiſtance de l'eau contre la prouë augmente en même tems beaucoup plus de quatre fois; elle devient peut-être plus de cinq à ſix fois plus grande, parce qu'outre que l'eau rencontre une ſurface quatre fois plus grande, elle en rencontre toutes les parties plus directement. Qu'on retreciſſe au contraire le Vaiſſeau & qu'on diminuë ſa profondeur, il ſinglera enſuite beaucoup plus vite: car on fera toujours diminuer la réſiſtance de l'eau dans un plus grand raport qu'on ne ſera obligé de diminuer l'étenduë des voiles.

Pour voir juſqu'où peut aller la différence, propoſons-nous un Navire compoſé de deux cones joints par leur baſe comme dans la figure 92: l'un de ces cones DAFE formant la prouë, & l'autre DBEF la poupe. Supoſons outre cela que l'axe HA de la prouë ſoit de huit parties, pendant que ſa largeur ou le diamétre DF de la coupe DEF ſoit auſſi de huit. Si on retrecit ce Navire quatre fois plus, ou de maniere que ſa largeur ne ſoit plus que de deux par- Fig. 92.

Fig. 92. ties, il faudra enſuite donner quatre fois moins de largeur & quatre fois moins de hauteur aux voiles, & elles auront donc ſeize fois moins de ſurface. Mais outre que l'étenduë de la coupe DEF ſera auſſi ſeize fois plus petite, & que la proüe ſeize fois moins groſſe rencontrera ſeize fois moins d'eau, elle la rencontrera plus obliquement à raiſon de ſa figure plus aiguë, ce qui ſera encore diminuer l'impulſion treize fois. Tout compté, la réſiſtance ſera 208 fois moindre, comme on peut le voir par les méthodes que nous avons données, pour meſurer l'effort des fluides contre les ſurfaces courbes. Ainſi ſi on perd extrémement du côté de l'impulſion du vent, cette perte ſera reparée, & le ſera avec excès, du côté de la réſiſtance de l'eau, qui deviendra encore beaucoup plus petite, & qui s'opoſera beaucoup moins au ſillage.

La grande conſéquence de la choſe nous oblige à le repeter encore; des deux diminutions que reçoit la réſiſtance que trouve le Navire à fendre l'eau, il ne faut pas compter la premiere, celle qui vient de ce que la carène moins groſſe rencontre une moindre quantité d'eau: il ne faut pas compter cette premiere; puiſque d'un autre côté la grandeur des voiles doit être diminuée ſenſiblement dans le même raport. Mais il reſte donc toujours l'autre diminution toute entiere qui doit permettre au ſillage de devenir plus rapide, celle qui vient de ce que toutes les parties de la proüe en rencontrant avec plus d'obliquité les molécules d'eau qui ſont ſur leur chemin, en ſont frapées avec moins de force, & de ce que c'eſt encore une moindre partie de cette impulſion qui s'exerce dans le ſens de la route. Nous pouvons par conſéquent donner cette regle pour générale, que *lorſqu'on n'a en vûë que les ſeuls avantages de la marche, on ne ſçauroit porter trop loin la diminution de la groſſeur de la carène, pendant qu'on ne touche point à ſa longueur.* Pour obtenir enfin un Navire abſolument parfait, il faudroit pouvoir le rendre infiniment étroit; ce qui obligeroit de lui donner une infinité de mâts & de voiles, ſelon la regle établie à la fin du premier Chapitre de la Section précédente.

Digitized by Google

III.

Un pareil Navire ne trouvant qu'une réſiſtance infiniment petite à fendre l'eau, ne ſeroit ſujet à aucune dérive dans les routes obliques, comme l'ont déja remarqué Meſſieurs Huguens & Bernoulli. Mais en joignant les nouvelles conſidérations que nous faiſons entrer dans cette matiere, il eſt certain que quelque peu étenduës que ſoient les voiles dans ce cas, leur ſurface ſera comme infinie par raport à la ſurface de la proüe; c'eſt-à-dire, par raport à la ſurface plane qu'on peut conſiderer à la place de la proüe, eu égard à la quantité de l'impulſion qu'elle reçoit. Or il ſuit de là, que le Navire infiniment étroit, ſeroit préciſément dans le même cas que celui dont nous parlions vers la fin du Chapitre V. de la ſeconde Section. Il n'importe en effet que les voiles ſoient infiniment grandes, comme nous le ſupoſions, ou que ce ſoit la proüe qui ſoit infiniment aiguë; le raport d'une impulſion à l'autre étant également infini, le Navire doit dans la route directe prendre toute la viteſſe du vent, & en prendre encore une plus grande dans les routes obliques. Rien de ſa part ne peut alors retarder ou plutôt limiter ſon mouvement; puiſque ſi l'inertie l'empêche de le recevoir tout à coup, elle ne l'empêche pas de le recevoir peu à peu; & que nous ne le conſiderons ici, que lorſqu'il eſt déja parvenu à ſa plus grande viteſſe ou à celle qui eſt uniforme. Mais cet avantage ſi extraordinaire d'aller plus vite que le vent, qui eſt également propre aux Navires dont les voiles ſont infiniment grandes & aux Navires qui ſont infiniment étroits, ne doit pas ſe perdre tout à coup, lorſqu'on paſſe du Métaphyſique au Phyſique ou lorſqu'on commence à donner quelques degrés de groſſeur à la carène. Les premiers degrés qu'on ajoute à cette dimenſion, ne peuvent cauſer que quelques degrés de diminution dans la qualité dont il s'agit, vû la gradation qui s'obſerve dans la Nature ou dans l'ordre primordial des choſes.

Digitized by Google

C'eſt-à-dire, que la moindre largeur qu'on donnera au Navire, ralentira, il eſt vrai, ſa marche; mais qu'elle ne lui ſera cependant perdre qu'une partie de l'excès de ſa viteſſe ſur celle du vent, & qu'elle lui permettra d'aller toujours un peu plus vite. Il ſuffira pour cela que l'étenduë des voiles ſoit toujours très-grande, par raport au plan auquel ſe réduit la prouë renduë très-aiguë.

Il ne ſera pas difficile, auſſi-tôt qu'on employera les différentes méthodes que nous avons données dans ce troiſiéme Livre, tant pour aſſigner à la mâture ſes dimenſions; que pour déterminer le raport des impulſions du vent & de l'eau, de découvrir quel eſt le retreciſſement précis de la carène, qui fait que le Navire commence à jouir de cette proprieté. Nous laiſſons au Lecteur à s'aſſurer qu'une Frégate qui ſeroit 18 ou 19 fois plus longue que large, ſe trouveroit déja dans ce cas; & que s'il étoit permis de la retrecir encore deux fois plus, il ſuffiroit d'orienter ſes voiles de maniere qu'elles fiſſent avec la quille un angle d'environ 19 ½ degrés, ou un angle dont le ſinus fût le tiers du ſinus total, pendant qu'elles ſeroient frapées perpendiculairement, pour que la Frégate ſinglât avec une viteſſe, non pas ſimplement égale à celle du vent, mais qui la ſurpaſſât d'un tiers ou d'un quart. Enfin l'utilité pour la pratique, qu'on ne manquera pas de retirer de toutes les remarques précédentes, c'eſt qu'il ne ſera plus permis de douter que ce ne ſoit dans le ſens que nous le prétendons, qu'il faut travailler toujours à changer les dimenſions de la carène; malgré l'uſage conſtant de toutes les Nations qui fréquentent la Mer, & ce qu'on a penſé juſqu'à preſent ſur cette matiere.

IV.

Si on ſe trouve arrêté par différentes conſidérations, lorſqu'il s'agit des Bâtimens de tranſport, ou lorſqu'il s'agit des Vaiſſeaux de guerre qui demandent à avoir une certaine largeur, non-ſeulement pour le ſervice de l'artillerie, mais auſſi parce que leur centre de gravité eſt fort haut

Digitized by Google

& trop voiſin du métacentre, on ſatisfera également au précepte, en allongeant ces Navires. Il faudra ſeulement ſe ſouvenir que pour ne pas rendre cet allongement infructueux, la prouë ne doit pas moins y participer que les autres parties. Il eſt vrai qu'à l'égard des plus grands Vaiſſeaux on ne pourra pas, faute de matériaux aſſez forts, les allonger beaucoup; mais auſſi-tôt qu'on ne ſera gêné par aucun obſtacle particulier, il n'y aura toujours qu'à diminuer aſſez la largeur ou augmenter aſſez la longueur, pour que l'une ne ſoit que la ſixiéme ou la ſeptiéme partie de l'autre. Les Navires en ſingleront non-ſeulement plus vite; ils dériveront encore beaucoup moins dans les routes obliques, & *pinceront* donc mieux le vent. Il en réſultera pluſieurs autres utilités ſur leſquelles nous n'inſiſterons pas: la mâture étant beaucoup moins haute à proportion, & les voiles beaucoup moins larges, elles ne fatigueront plus le Navire; elles ſeront incomparablement plus legeres; & n'étant expoſées qu'à une impulſion beaucoup plus petite, elles ceſſeront d'être ſujettes aux accidens & il ne faudra toujours que peu de gens pour la manœuvre. Il faut remarquer enfin que ce n'eſt qu'en obſervant cette maxime importante, mais en inſiſtant auſſi ſur toutes les autres qui ont la rapidité du ſillage pour objet, qu'on réuſſira à rendre dans les Frégates la viteſſe de la marche égale à la moitié de celle du vent; au lieu qu'elle n'en eſt actuellement que le tiers. On a vû dans la ſeconde Section * qu'il ne faut guére s'attendre de pouvoir faire accelerer le ſillage, par l'augmentation des voiles; il faudroit les étendre extrémement, & elles ne le ſont déja ſouvent que trop. Mais lorſqu'on ſubſtituera au contraire à la prouë trop renflée & trop courte, qu'ont actuellement les Vaiſſeaux, une figure plus aiguë & plus propre à fendre l'eau, on en tirera déja un avantage conſidérable. La réſiſtance qu'éprouvera enſuite le Navire ſe trouvera plus de trois fois moindre **: & ſi avec cela on diminuë encore la groſſeur de la carène, ou qu'on augmente ſa longueur, on atteindra par ces deux changemens, principalement par le der-

* Chap. 5. art. 4.

** Voyez le Chap. 11. de la 1e. Sect. art. 5.

nier, à un degré de perfection auquel il n'eût jamais été possible d'atteindre, par la seule augmentation de l'impulsion du vent. C'est cependant à l'expérience à montrer si on ne peut pas gagner encore quelque chose par ce second côté, en donnant quatre mâts verticaux aux Navires qui sont fort étroits ou fort longs, ainsi que nous l'avons proposé.

V.

On ne doit pas au reste nous objecter que les Pirogues ou ces especes de Canots faits d'un seul tronc d'arbre, qui sont en usage dans la Zone Torride, portent mal la voile & ont d'autres défauts considérables. Car tous les inconveniens auxquels ils sont sujets, ne viennent qu'indirectement de ce qu'ils sont trop étroits. Ils naissent de ce que la charge ne peut pas être distribuée de la même maniere que dans les Vaisseaux. Le poids d'un seul homme est considérable par raport à celui de ces Pirogues, qui sont 8 ou 9 fois, & quelquefois 14 ou 15 fois plus longues que larges; & le centre de gravité du tout est ordinairement trop haut. Du tems du P. Fournier, la Frégate *la Levrette* qui devoit avoir plus de 108 ou 110 pieds de longueur, n'en avoit que 18 de largeur; & elle marchoit d'une maniere extraordinaire *. C'est comme une expérience anticipée de la bonté de nos assertions. On en trouveroit encore quelques autres s'il le falloit: & il est évident que de pareils exemples sont parfaitement concluants en notre faveur; pendant que cent autres qui paroissent contraires, ne prouvent absolument rien. Il suffit qu'un Navire, entre mille, ait bien réussi, quoi qu'il fût très-étroit; il suffit même qu'il ait bien réussi dans une seule campagne, pour que cet exemple démontre d'une maniere incontestable, & indépendamment de toutes les raisons précédentes qui établissent la même vérité, qu'il faut attribuer à quelqu'autre cause le défaut ordinaire de succès des autres Navires construits à peu près sur le même modéle. Comme on a consenti trop volontiers à se priver de toutes les lumieres que fournit

* Voyez l'Hydrogr. de cet Auteur, liv. 1. chap. 4.

Digitized by Google

fournit la théorie, on n'a operé qu'au hazard, auſſi-tôt qu'on a voulu s'éloigner des pratiques communement reçûës: on s'eſt trouvé dans l'impoſſibilité de diſtinguer les cas où il falloit augmenter ou diminuer quelqu'une des dimenſions du Vaiſſeau, & on n'a pas ſoupçonné non plus qu'un premier changement en entraînoit toujours pluſieurs autres; ce qui a empêché de profiter quelquefois d'un avantage qui n'eût rien couté, ou ce qui a fait tomber dans des fautes dont les ſuites étoient encore plus fâcheuſes.

CINQUIE'ME SECTION.

Du Navire conſideré par raport à la rapidité de ſon ſillage, & à la proprieté qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

LE Lecteur qui s'eſt rendu propres toutes les recherches précédentes, eſt non-ſeulement en état de ſe décider deſormais avec pleine connoiſſance de cauſe ſur le choix de tous les divers plans de Vaiſſeaux qu'on propoſera, & d'en tirer tout le parti poſſible, il peut auſſi procurer aux Navires la plûpart des proprietés que nous avons déja examinées. Mais il nous reſte cependant encore à indiquer, d'une maniere plus particuliere, les moyens de conférer plus de promptitude au ſillage par la figure qu'on peut donner à la carène, & de faire enſorte que la dérive ſoit la moindre qu'il eſt poſſible dans les routes obliques. Nous n'avons réuſſi à cet égard qu'à regler les principales dimenſions du Navire : il s'agit maintenant, en ſupoſant ces dimenſions données, de découvrir la courbure préciſe que doivent avoir les flancs & toute la ſurface extérieure de la carène dans le ſens de leur longueur.

Il paroit aſſez par diverſes remarques qui ſe ſont offertes à nous, qu'il eſt très-douteux que la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité, ſoit abſolument la plus avantageuſe pour rendre le ſillage rapide : car il eſt poſſible qu'une prouë qui éprouve un peu plus de réſiſtance, rende le Navire capable de ſoutenir à proportion une plus gran-

Digitized by Google

de quantité de voiles. Il peut donc arriver que ce ſoit encore ici une de ces circonſtances fâcheuſes où nous nous ſommes déja trouvés plus d'une fois, dans leſquelles ne pouvant pas parvenir à concilier à la Navigation tous les avantages que nous avions en vûë, il a fallu ſacrifier aux uns une partie des autres. Cependant les deux différentes figures de proüës qu'on peut diſtinguer, en nommant l'une *de la moindre réſiſtance*, & l'autre *de la plus grande viteſſe*, doivent avoir beaucoup d'affinité entr'elles; & dans pluſieurs cas l'une doit acquerir ſenſiblement toutes les propriétés de l'autre. C'eſt d'ailleurs la figure qui éprouve la moindre réſiſtance qu'il eſt évident qu'on doit donner à tous les Navires qui ne ſont pas de charge & qui ſont principalement deſtinés à aller à rames, & c'eſt encore cette figure, comme nous l'avons prouvé *, qui fait à l'égard de chaque genre, que la déviation dans les routes obliques eſt la moindre qu'il eſt poſſible. Nous devons naturellement commencer nos Recherches par ſa détermination; puiſqu'elle eſt la plus ſimple. Nous ne paroîtrons occupés que de l'unique ſoin, de diminuer l'impulſion ou la réſiſtance dans la route directe: mais on ſe ſouvient qu'il ſuffit de donner à une figure la proprieté dont il s'agit dans cette ſeule route, pour que la même proprieté ſubſiſte dans toutes les autres. Nous l'avons vû dans la premiere Section de ce troiſiéme Livre **.

* A la fin du chap. 8. de la 1re. Section de ce 3e. liv.

** Voy. la fin du ch. 7.

Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER.

Examen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquels elles se meuvent.

I.

Fig. 101. IMAGINONS-nous une ligne droite B*b* (Fig. 101.) exposée au choc d'un fluide qui la rencontre perpendiculairement, ou qui suit une infinité de lignes paralleles à CA, & à DB; & proposons-nous, en la garantissant du choc du fluide par deux lignes obliques égales BE, *be*, & par une troisiéme E*e* parallele à B*b*, & placée au-devant à une distance donnée CA, de faire ensorte que l'impulsion directe ou dans la détermination parallele à l'axe CA, sur l'assemblage des trois droites BE, E*e*, *be*, soit la moindre qu'il soit possible. C'est-à-dire, qu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la longueur de la portion E*e*, & de rendre BE & *be* plus ou moins obliques; jusqu'à ce que l'impulsion sur ces trois lignes jointes ensemble, soit un *minimum*.

La figure étant égale des deux côtés de l'axe CA, il suffit d'examiner une de ses moitiés. La ligne DB parallele à CA, peut représenter la direction du fluide, & si du point D, qui est sur le prolongement de E*e*, on abaisse la perpendiculaire DF sur BE, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence DBE du fluide sur BE. Il n'y a ensuite qu'à abaisser du point F la perpendiculaire FG sur DB, & la partie interceptée DG représentera le quarré du sinus d'incidence, pendant que DB, pris pour l'unité, représentera aussi-bien le quarré du sinus total que le sinus total même: car nous avons la proportion continuë $\| DB | DF | DG$, qui nous fournit cette autre $\overline{DB}^{1} | \overline{DF} \| DB | DG$. Ceci est vrai, quelque situation qu'on donne à BE; & il

eſt évident que l'angle DFB étant toujours droit, tous les points F ſont ſur une demi circonférence de cercle DFB qui a DB pour diamétre. Maintenant pour avoir l'impulſion relative directe ſur BE, il ne faut pas multiplier le quarré DG du ſinus d'incidence par BE, ce qui nous donneroit l'impulſion abſoluë ſelon la perpendiculaire à ce côté : il faut multiplier ſeulement DG par DE. Mais ſi on tire FH parallelement à DB, nous pouvons prendre à la place du produit de DG par DE, celui de DB par HE qui lui eſt égal, puiſque DB|DE ‖ HF = DG|HE. Ainſi nous pouvons exprimer l'impulſion relative directe ſur BE par le rectangle de DB & de HE; & il ne nous reſte donc qu'à joindre à cette impulſion celle que reçoit CE, pour avoir l'impulſion entiere dans le ſens direct que ſouffre la figure BEC moitié de la proüe. Fig. 101. & 102.

La partie EC étant frapée perpendiculairement de même que l'étoit AB, il faut pour avoir l'impulſion à laquelle elle eſt expoſée, la multiplier par le quarré du ſinus total qui eſt exprimé par DB. Il ſuit de là que l'impulſion ſur l'aſſemblage des deux droites BE & BC, eſt égale à la ſomme du rectangle de DB par HE, & de DB par EC, ou qu'elle eſt égale au rectangle de DB par toute HC; & elle eſt donc proportionelle à HC ou à la diſtance FI du point F à la droite CA. Ainſi pour donner à l'aſſemblage des deux lignes droites BE & EC; la diſpoſition qui rend l'impulſion directe un *minimum*; il ne s'agit que de rendre FI la plus petite qu'il eſt poſſible. Or il faut pour cela diminuer CE juſqu'à la rendre nulle, ou juſqu'à ce que la ligne BE vienne ſe rendre en C, comme dans la figure 101; ou au moins juſqu'à ce que BE parvenuë à la ſituation BM, comme dans la figure 102, faſſe un angle demi-droit avec BA & avec la direction du fluide, & que l'impulſion qui étoit exprimée par FI, le ſoit par KL. Il ne faut pas que BM faſſe un angle moindre que le demi-droit avec BA; car KL qui exprime l'impulſion deviendroit enſuite plus grande.

Il réſulte de tout cela que les lignes droites BC & *b*C

Fig. 101. & 102. (Fig. 101.) reçoivent la moindre impulsion directe, aussitôt qu'elles ne sont pas un angle de plus de 45 degrés avec la direction du fluide. Mais que dans le cas où il faudroit qu'elles fissent un angle plus grand, il ne faut toujours les incliner précisement que de 45 degrés, comme le sont BM & *bm* dans la figure 102; & qu'il faut joindre ensuite les points M & *m* par la droite M*m*. Il est certain encore qu'on ne peut pas substituer à l'assemblage de ces lignes droites une ligne courbe BQC (Fig. 103.) qui reçoive moins d'impulsion dans le sens de son axe. Car si on partage cette courbe en une infinité de petites parties PQ, QR, &c. chaque de ces petites lignes, comme PQ, sera droite, & ne recevra pas la moindre impulsion directe: ce sera l'assemblage des deux petites lignes PT & TQ qu'on y apliquera, dont l'une sera un angle demi-droit avec la direction du fluide, & l'autre un angle droit. C'est ce qui paroit évidemment; puisque tout ce qui est vrai pour des lignes finies, le doit être également pour des lignes infiniment petites. Ainsi, au lieu de la courbe BPRC, ce sera la figure BOPTQVR, &c. qui sera sujette à la moindre impulsion. Mais il est facile de remarquer que cette figure à échellons formée d'une infinité de côtés, est équivalente à l'assemblage des deux seules lignes droites BM & MC. Car toutes les petites lignes BO, PT, QV, &c. sont égales jointes ensemble à BM & sont exposées au choc du fluide de la même maniere; pendant que toutes les petites lignes OP, TQ, VR, &c. sont ensemble équivalentes à MC.

Il ne sera pas beaucoup plus difficile de s'assurer que l'impulsion deviendroit aussi plus grande, si on changeoit les lignes droites des côtés en lignes courbes, lorsque ces deux droites se rencontrent & qu'elles font un angle moindre de 45 degrés avec l'axe. On s'en convaincra, si on le veut, par des reflexions semblables à celles que nous ferons dans l'article II. du Chapitre VII.

Digitized by Google

II.

Fig. 101. & 102.

On peut déja tirer des recherches précédentes quelque utilité par raport à la conſtruction de divers Bâtimens, comme des Gabares, des Pontons, &c. qui ne ſont deſtinés qu'à naviger ſur les Rivieres ou dans les endroits fermés. L'avant des Pontons eſt ordinairement terminé par deux plans verticaux qui font un angle BC*b*, & dont la rencontre forme l'extrémité C de la proüe; mais nous voyons que ces deux plans (& ce doit être la même choſe de ceux qui forment les éperons dont on couvre les piles des ponts,) ne ſçauroient faire un angle trop aigu, & que ſi on étoit forcé de le faire obtus ou de retrancher de la trop grande ſaillie de l'angle aigu, il vaudroit mieux ſubſtituer, comme dans la figure 102, deux plans qui fiſſent entr'eux un angle droit, ou un angle demi-droit avec la direction du fluide, & retrancher enſuite la pointe de l'angle par un troiſiéme plan M*m* placé perpendiculairement. Les Chinois, auſquels la ſingularité de leur Architecture navale nous fait penſer ſi ſouvent, pourroient obſerver la même choſe dans la conſtruction de leurs Vaiſſeaux, au lieu de former leur proüe par un ſeul plan vertical: ils rendroient la promptitude de leur navigation beaucoup plus grande. On conſtruira enfin des Frégates ou des Corvettes d'une figure très-ſimple, en terminant leur carène par quatre plans verticaux, dont deux formeront la proüe & les deux autres la poupe, conformement à ce que nous étalons dans la ſuite*.

* Voy. le chap. 7. art. 6.

III.

Sachant cette proprieté qu'ont les lignes droites d'éprouver de la part des milieux la moindre réſiſtance, on peut encore s'en ſervir avec avantage, en les faiſant entrer dans la compoſition même des ſurfaces courbes. Imaginons-nous, par exemple, une ſurface ABRS (Fig. 104.) formée de lignes droites dans le ſens horiſontal; mais cour- Fig. 104.

Digitized by Google

Fig. 104. be dans le ſens vertical, & compriſe entre deux plans verticaux BCDR & ACDS qui ſe rencontrent dans la verticale DC. C'eſt déja beaucoup que de ſçavoir que chaque des zones horiſontales qui ſervent d'élemens à cette ſurface reçoit la moindre impulſion ; & pour rendre donc l'impulſion ſur toute la ſurface un *minimum*, nous n'avons qu'à déterminer la ſeule courbe BMR. Si nous nommons x les parties variables DG, DK de la verticale DC qui ſert d'axe, & dx les parties infiniment petites KP ou PG qui ſont égales à HN ou ML, & y les ordonnées comme GE, KH, & dy leur différentielle NM ; nous aurons $\sqrt{dx^2+dy^2}$ pour l'élement HM de la courbe BER : & ſi le fluide ſe meut parallelement aux ordonnées HK ; nous aurons HMN pour l'angle d'incidence dont nous trouverons le ſinus $\frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ par l'analogie ſuivante, après avoir pris n pour déſigner le ſinus total : $HM=\sqrt{dx^2+dy^2}$. $|HN=dx||n|\frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$. Le quarré de ce ſinus ſera $\frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$, que nous multiplierons par l'étenduë de la zone OH, ſi nous voulions avoir l'impulſion abſoluë ; au lieu que ne voulant avoir que l'impulſion relative directe, nous ne devons, comme on le ſçait, multiplier le quarré du ſinus d'incidence que par l'étenduë de la zone OH projettée ſur un plan vertical perpendiculaire à la direction du fluide. La longueur IH de la zone étant proportionelle à l'ordonnée correſpondante HK, peut s'exprimer par y, & ſi on la multiplie par $HN=dx$, on aura ydx pour le rectangle auquel ſe reduit la zone, lorſqu'on la projette. Nous avons donc $ydx\times\frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ pour l'impulſion relative directe ; & cette expreſſion doit convenir également à toutes les zones.

Nous pouvons maintenant conſiderer que plus on diminuë $HN=dx$, en laiſſant $MN=dy$ conſtante, plus l'impulſion

pulsion $ydx \times \frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ ou $\frac{n^2ydx^3}{dx^2+dy^2}$ diminuë ; car la zone IM prend la situation I*m*, & est moins exposée au choc du fluide & se trouve outre cela plus étroite. Si on prend la différentielle de $\frac{n^2ydx^3}{dx^2+dy^2}$, on aprendra que l'impulsion diminuë effectivement de la petite quantité $\frac{n^2ydx^4+3n^2ydy^2dx^2}{dx^2+dy^2} \times ddx$. Cependant ce n'est pas une raison pour diminuer continuellement HN ou dx, car l'impulsion que souffre la zone voisine FM, devient en même tems plus grande, parce que cette zone en prenant la situation F*m*, se trouve ensuite plus large & plus exposée au choc du fluide. Il faut donc faire ensorte que la petite diminution que souffre une impulsion, ou sa différentielle $\frac{n^2ydx^4+3n^2ydy^2dx^2}{dx^2+dy^2} \times ddx$ soit précisément égale à la différentielle ou à la petite augmentation que recevra l'impulsion sur l'autre zone : car les deux différentielles se détruisant deviendront jointes ensemble égales à zéro ; ce qui est nécessaire pour que les deux zones reçoivent conjointement la moindre impulsion possible. Mais ces mêmes différentielles seront encore égales si on les divise par n^2, & par ddx qui désigne la même quantité M*m* dans les deux expressions : & comme ce sera précisément la même chose dans tous les autres endroits de la courbe BR, il est évident qu'on peut égaler $\frac{ydx^4+3ydy^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ à une quantité constante a ; ce qui nous donne $ydx^4+3ydy^2dx^2=adx^4+2adx^2dy^2+adx^4$ pour l'équation différentielle qui exprime la nature de la courbe. Fig. 104.

Pour résoudre cette équation, je prens une nouvelle inconnuë z, en supposant $\frac{zdx}{a}=dy$. J'introduis cette valeur de dy dans l'équation ; ce qui la change en $ydx^4+\frac{3yz^2dx^3}{a^2}=adx^4+\frac{2z^2dx^4}{a}+\frac{z^4dx^4}{a^3}$ dont je tire $y=$

Fig. 104. $\frac{a^4+12a^2z^2+z^4}{a^3+3az^2}$. Après cela cette valeur de y me donne $dy = \frac{6az^5dz+4a^3z^3dz-12a^5zdz}{\overline{a^3+3az^2}^2}$ & je change $\frac{zdx}{a} = dy$ en $\frac{zdx}{a} = \frac{6az^5dz+4a^3z^3dz-12a^5zdz}{\overline{a^3+3az^2}^2}$ & en $dx = \frac{6a^2z^4dz+4a^4z^2dz-12a^5dz}{\overline{a^3+3az^2}^2} = \frac{2}{3}dz - \frac{\frac{1}{3}a^4dz}{\overline{a^2+3z^2}^2} = \frac{2}{3}dz - \frac{\frac{1}{3}a^2dz}{a^2+3z^2} - d\frac{\frac{1}{3}a^2z}{a^2+3z^2}$; & en intégrant il vient $x = \frac{2}{3}z - \frac{\frac{1}{3}a^2z}{a^2+3z^2} - \frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$. Ainsi le Problême est entierement resolu: nous n'avons pas la relation immédiate de y à x, quoi qu'on puisse la trouver assez aisément; mais nous avons celle de ces deux quantités à la troisiéme z, à laquelle nous n'avons qu'à attribuer autant de différentes valeurs que nous voudrons, & par le moyen des deux équations $y = \frac{a^4+12a^2z^2+z^4}{a^3+3az^2}$ & $x = \frac{2}{3}z - \frac{\frac{1}{3}a^2z}{a^2+3z^2} - \frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$, nous aurons autant de valeurs correspondantes de y & de x; ce qui nous mettra en état de tracer la courbe BER.

Je n'ai que faire d'avertir que le dernier terme $\frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$ de la valeur de x dépend de la rectification du cercle: mais j'ay voulu épargner aux Lecteurs la peine du calcul & les mettre en état par la Table suivante de former aisément la courbe dont il s'agit: mon travail aura peut-être son utilité. Il est clair qu'en joignant deux surfaces ABRS, on peut former une prouë qui sera à peu près telle que le représente la figure, & qui aura la proprieté d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance possible dans la route directe & dans toutes les autres routes dont l'obliquité ne passera pas 45 degrés. Il n'importe que l'eau choque obliquement les zones horisontales dont les deux côtés de cette prouë sont formés: cette obliquité rend plus petites les impulsions sur toutes les zones; mais elle n'en change point le raport.* Au reste cette prouë a cela de particulier, qu'elle souffre

* Voy. le commenc. de l'art. 2. du chap. 6. de la 1re. Section.

toujours la moindre impulsion possible, sans qu'il importe jusqu'à quel terme elle soit plongée dans le fluide. Ce n'est pas des courbes des arrêtes AIS & BHR dont nous donnons les abscisses & les ordonnées; c'est de celle qui résulte de la Section de la surface ABRS coupée verticalement & perpendiculairement à sa longueur; & le point D est l'origine des abscisses étenduës le long de DC. Nous pouvons prendre également DC pour l'axe de la courbe SA; mais ses ordonnées seront plus longues que celles que marque la Table, dans le même raport que AC est plus grande que perpendiculaire CL. Fig. 104.

TABLE

Des dimensions de la proüe angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau.

Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.
0	899	374	1300	778	2000	1164	2900
14	900	408	1350	826	2100	1200	3000
79	950	440	1400	873	2200	1236	3100
132	1000	471	1450	918	2300	1271	3200
180	1050	502	1500	962	2400	1306	3300
223	1100	561	1600	1004	2500	1341	3400
265	1150	619	1700	1046	2600	1376	3500
303	1200	674	1800	1086	2700	1410	3600
340	1250	728	1900	1125	2800	1444	3700

Le Problême recevra une plus grande généralité, si on l'examine dans le cas où les coupes horisontales de la proüe, au lieu d'être terminées par deux lignes droites, le sont par des lignes courbes parfaitement paralleles à la premiere BA*b*. Désignant par *x* les parties variables de l'axe DC & par *y* les ordonnées de la courbe de saillie AS; ces ordonnées serviront d'axe aux courbes horisontales qui séparent les zones les unes des autres: & si après

avoir cherché par la méthode expliquée dans le Chapitre IV. de la premiere Section, l'impulsion que souffrent ces lignes, on la nomme Y, on aura $x = \int \frac{ady}{\sqrt{\frac{1}{2}aY - a^2 \pm \sqrt{\frac{1}{4}a^2Y^2 - 2a^3Y}}}$; ce que le Lecteur vérifiera aisément.

CHAPITRE II.

De la Proüe en conoïde, qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il est possible.

I.

LORSQU'ON rendra exactement circulaires les coupes de la carène dans les Frégates & dans les Corvettes, la proüe deviendra un conoïde parfait ou plutôt un demi conoïde; & on sçait depuis long-tems la forme qu'il faut donner à ce solide pour qu'il fende l'eau avec la plus grande facilité. Si a désigne une grandeur constante & z une variable dont Lz indique les logarithmes pris dans une logarithmique dont a est la soutangente, on aura $\frac{3z^4}{4a^3} + \frac{z^2}{a} - \frac{1}{12}a$—Lz pour les abscisses ou parties de l'axe du conoïde & $\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ pour ses ordonnées. Nous devons à M. Bernoulli la premiere solution complette de ce Problême, de même que d'un si grand nombre d'autres; quoique plusieurs autres Mathématiciens y ayent aussi travaillé avec succès, comme M. le Marquis de l'Hôpital, M^rs. Fatio & Herman. Cette découverte se trouvant d'autant plus utile, qu'elle a réellement plus d'étendue qu'on avoit cru lui en donner, puisqu'elle n'est pas limitée au seul cas de la route directe, j'ai tâché de l'accomoder aux besoins de la pratique, en calculant une Table des dimensions de la figure qu'elle prescrit. Cette Table étant

inſerrée dans mon Traité de la Mâture, je la tranſporte ici pour la commodité des Lecteurs, après l'avoir conſidérablement augmentée.

TABLE

Des dimenſions de la Prouë conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité.

Abſciſſes ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulſions.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulſions.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulſions.
0	308	148993	4518	2545	1949062	41862	12040	14543335
6	317	155239	5194	2791	2189549	45383	12765	15615915
20	336	167905	5943	3053	2453469	49118	13520	16837987
44	364	186165	6769	3333	2743083	53080	14304	18132351
78	400	208184	7678	3631	3059421	57280	15119	19505003
125	444	236721	8675	3948	3404528	61727	15966	20949435
185	496	268916	9767	4284	3780198	66423	16845	22478039
260	557	307900	10959	6440	4188257	71386	17755	24089705
354	626	353607	12258	5016	4630586	76624	18699	25790519
468	704	405964	13668	5413	5109155	82139	19676	27580596
604	792	466875	15198	5832	5626246	87935	20688	29463846
766	890	536439	16852	6273	6182762	94086	21736	31444132
956	999	615734	18639	6737	6792289	100524	22817	33524478
1178	1118	705619	20565	7225	7416420	107285	23936	35708216
1434	1250	807369	22636	7736	8117090	114387	25090	38001324
1719	1394	922068	24861	8272	8867188	121835	26279	40399311
2065	1550	1050881	27246	8833	9648764	129641	27507	42913773
2448	1720	1194679	29800	9421	10493903	137820	28777	45545900
2880	1904	1355015	32531	10034	11395391	146380	30085	48298823
3366	2102	1533275	35447	10675	12355760	155334	31431	51462561
3911	2316	1730807	38555	11343	13377500	164694	32818	54183109

L'uſage de cette Table eſt trop facile, pour qu'il ſoit néceſſaire de l'expliquer. On voit aſſez qu'il faut prendre ſur une échelle de parties égales la valeur de chaque abſciſſe, & que la portant depuis A juſqu'en, X ou juſqu'en C ſur une ligne droite AC (Fig. 105) en commençant toujours au point A, il n'y a qu'à élever à ſon extremité Fig. 105.

Fig. 105. X ou C une perpendiculaire XV ou CD égale à l'ordonnée coresſpondante marquée dans la Table, pour avoir un point V ou D de la courbe BVD. On pourra trouver de la même maniere autant de différens points qu'on voudra: & la courbe étant tracée, il n'y aura qu'à la faire tourner autour de ſon axe AC, pour former le conoïde qui éprouve de la part des fluides la moindre impulſion poſſible. Ce conoïde ne ſera pas fermé par ſa pointe, parce que la premiere ordonnée AB, au lieu d'être nulle, eſt ici de 308 parties : mais on peut couvrir cette ouverture par un petit cone formé par les tangentes à la courbe. La proüe étant parfaitement conoïdale, tous les gabaris de la partie antérieure de la carène, ſeront des demis cercles; ce qui ne donnera que plus de facilité à les former. Les Conſtructeurs ont toujours eu quelque répugnance à ſe ſervir de cette figure dans leurs gabaris. Voyant que pendant le roulis, les Navires trop ronds, font leurs balancemens, ſans choquer l'eau d'un côté & d'autre, ils ont cru que ces balancemens en devoient être beaucoup plus vifs: mais quelque figure qu'ait la carène, il eſt certain qu'elle ne déplace jamais beaucoup d'eau par ſes oſcillations, & qu'outre cela elle ne la frape qu'avec une obliquité qui doit rendre le choc comme inſenſible. De plus, nous avons montré que la promptitude du roulis vient de cauſes très-differentes.

Nous avons ajouté dans la Table les impulſions que ſouffre le demi conoïde, ſelon qu'on le rend plus ou moins long. Ces impulſions ont été fournies par la formule $\frac{2q}{r} \times \frac{32^4}{4a^2} + \frac{f}{2}z^2 + \frac{2f1}{108}a^2 + \frac{a^4}{2z^2} + aLz$, dont on peut voir l'origne dans le Traité de la Mâture*. Les lettres q & r marquent le raport du quart de la circonference d'un cercle à ſon rayon: mais nous avons pris l'unité pour ſinus total; & nous avons joint outre cela l'impulſion que doit recevoir le petit plan circulaire de l'extremité, dont le rayon eſt égal à $\frac{16}{3\sqrt{3}}a$. Le ſinus total étant déſigné ici par l'unité,

* Pag. 53 & ſuiv.

l'impulsion que recevroit la base du conoïde, si elle étoit frappée perpendiculairement par le fluide, seroit representée par son étendue même. Ainsi il n'y a qu'à chercher l'étendue de cette base par la connoissance qu'on a de l'ordonnée qui lui sert de rayon, & il suffira de lui comparer l'impulsion que souffre le conoïde, pour sçavoir combien la saillie ou la convexité de la figure fait diminuer le choc. La partie, par exemple, qui a 1434 pour axe & 1250 pour ordonnée, reçoit une impulsion qui est exprimée par 807369, pendant que l'étendue de la base ou du demi-cercle qui a 1250 pour rayon est à peu près de 2455357; ce qui montre que la convexité de cette partie du conoïde, rend l'impulsion à peu près trois fois moindre. On peut remarquer en passant que c'est donc cette même portion qui (conformement à un Theorême établi dans la premiere Section de ce troisiéme Livre *,) a la proprieté singuliere de recevoir toujours le même choc dans le sens de son axe, quelque soit l'obliquité de la direction du fluide qui la frappe. Fig. 105.

* Art. VI. du Chapit. VII.

On peut juger aussi avec facilité de l'impulsion que souffrent les parties qui ne commencent pas à l'extrémité de l'axe. L'impulsion que reçoit, par exemple, la partie qui est compriſe entre les ordonnées 400 & 3053 est la difference 2245285 des impulsions 208184, & 2453469; & cette impulsion partiale répond à la difference des bases qui ont 400 & 3053 pour rayons, difference qui est de 14395557. D'où il suit que la portion du conoïde dont il s'agit, fait par la disposition plus oblique de sa surface, diminuer l'impulsion relative directe dans le raport de 14395557 à 2245285, ou qu'elle la fait diminuer presque $6\frac{1}{7}$ fois.

Nous ne descendons dans ce détail qu'afin de lever les difficultés qui pourroient se presenter, lorsqu'on voudra découvrir les impulsions que souffrent divers conoïdes irreguliers dont nous parlerons dans la suite. Quelquefois on ne formera leur saillie que par une portion VD (Fig. 105) de la courbe génératrice du conoïde régulier *de*

Digitized by Google

Fig. 105. *moindre réſiſtance*: or il n'y aura qu'à chercher de la maniere que nous venons de l'expliquer, dans quel raport la portion de la ligne qui ſera actuellement employée, fait diminuer l'impulſion dans le conoïde regulier, & elle produira le même effet dans les autres. Nous nous propoſerons vers la fin du ſecond article du Chapitre IV. de garantir du choc une baſe formée de deux quarts de cercle ſeparés par un rectangle mis entre deux: cette baſe ſera d'environ 530 pieds quarrés; & il ne s'en faudra que très-peu que nous ne formions le conoïde irregulier dont nous la couvrirons, par cette portion de la ligne courbe qui fait diminuer l'impulſion $6\frac{4}{7}$ fois. Ainſi les 530 pieds de la baſe ſe reduiront à environ $82\frac{1}{7}$: c'eſt-à-dire que l'impreſſion ſera la même que ſi l'eau frappoit perpendiculairement une ſurface plane de $82\frac{1}{7}$ pieds quarrés d'étenduë.

II.

La ligne courbe qui forme le conoïde de M. Bernoulli a deux branches jointes par un point de rebrouſſement; l'une préſente ſa convexité en dehors & l'autre ſa concavité. On s'eſt contenté d'inſerer dans la Table précedente les dimenſions de la premiere; parce que l'autre formeroit un conoïde trop obtus. Il eſt pluſieurs autres conoïdes qui jouiſſent ſenſiblement de la proprieté d'éprouver la moindre réſiſtance, s'ils n'en jouiſſent pas abſolument. On trouve dans le Livre des *Principes Mathématiques de la Philoſophie naturelle* la conſtruction du Problême ſuivant, mais ſans démonſtration; un demi cercle BED (Fig. 106) étant propoſé & la ſaillie ou hauteur AC que doit avoir le tronc de cone GHIEBD qui doit couvrir cette baſe étant donnée, trouver entre tous les troncs poſſibles qui ont la même hauteur & la même baſe, celui qui doit recevoir tant par ſa ſurface courbe que par le plan GIH le moins de choc qu'il ſe peut, de la part d'un fluide qui viendroit le rencontrer parallement à l'axe AC, ou perpendiculairement à la baſe BED. M. Newton a découvert que pour déterminer

ner le sommet F où les côtés de ce cone iroient se rencontrer, si le cone n'étoit pas tronqué, il n'y a qu'à diviser AC par la moitié par le point O, & faire OF égale à OB ou OD. C'est ce que plusieurs Géometres ont démontré depuis; & il faut remarquer que ce cone tronqué formeroit déja une proüe qui fendroit l'eau avec beaucoup de facilité. Car nous avons vû dans le Chapitre V. de la premiere Section de ce troisiéme Livre, qu'une proüe conique peut faire diminuer considerablement la résistance que fait l'eau au mouvement du sillage; & le cone tronqué dont il s'agit ici est encore préférable. Mais cela supposé, il est évident qu'on peut chercher de la même maniere le tronc de cone *de moindre résistance* dont il faudroit couvrir le demi cercle *b e d*, qui est à une certaine distance du premier BED. Il faudroit diviser également Ac par la moitié par le point *o*; & faisant *of* égale à *ob* ou à *od*, on auroit le point de rencontre *f* des côtés, qui doivent former le nouveau tronc *g h i e b d*. Rien n'empêcheroit de repeter successivement la même chose; & le solide éprouveroit toujours une résistance qui deviendroit moindre. Mais pour n'avoir point à y revenir, il n'y a qu'à repeter tout d'un coup cette opération une infinité de fois; ce qui sera très-facile, aussi-tôt qu'on employera la méthode inverse des tangentes. Il suffit pour cela de considerer que les côtés du cone, dont la construction de M. Newton nous indique la position, ne sont autre chose que les tangentes continuelles du conoïde que nous voulons découvrir. Fig. 106.

Si on nomme x les parties variables AC ou Ac de l'axe, & y les ordonnées correspondantes CD ou *cd*, on aura $\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}$ pour les distances OD ou *od*; & par conséquent les soutangentes CF ou *cf* de la courbe génératrice du conoïde, seront $\frac{1}{2}x+\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}$. Mais comme ces mêmes soutangentes sont exprimées par $\frac{ydx}{dy}$, nous aurons $\frac{1}{2}x+\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}=\frac{ydx}{dy}$ qui devient $dy\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}=ydx-\frac{1}{2}xdy$

& $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$; équation différentielle qui caractériſe la courbe qu'il s'agit de découvrir. Prenant enſuite une nouvelle variable z & une conſtante a, en les ſupoſant telles que $dx = \frac{zdy}{a}$, ſi on introduit cette valeur de dx dans l'équation, & qu'on faſſe les autres changemens néceſſaires, on trouvera $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{2a}$, & enfin $\frac{a^2dy}{y} = zdz + \frac{a^2dz}{z}$, dont on tirera en intégrant, $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$. Ainſi le Problême eſt entierement réſolu ; on ne ſçait pas la relation immédiate qu'ont entr'elles les abſciſſes & les ordonnées de la courbe ; mais on ſçait la relation qu'elles ont par raport à une troiſiéme quantité, & cela ſuffit. Pour chaque grandeur qu'on attribuera à z, on trouvera aiſément par l'équation $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$, la grandeur que doit avoir y ; & il ne reſtera plus qu'à introduire ces deux valeurs de z & de y dans la formule $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{2}$, pour avoir l'abſciſſe x correſpondante de l'ordonnée y déja trouvée.

C'eſt de cette ſorte que j'ai calculé la Table qu'on voit ci à côté, qui indique un aſſez grand nombre de points de la courbe pour qu'on puiſſe la tracer exactement. Cette Table comparée avec l'autre que nous avons raportée ci-deſſus ; & encore mieux les équations raprochées l'une de l'autre, ne laiſſent aucun lieu de douter que les deux conoïdes ne ſoient différens, & il eſt certain auſſi qu'ils ont, par raport à la moindre réſiſtance, des proprietés très-diſtinctes.

TABLE
Des dimenſions d'un nouveau conoïde, qui doit éprouver peu de réſiſtance, en traverſant les milieux.

Abſciſſes ou parties de l'axe de la proué.	Ordonnées ou demies largeurs de la proué
0	100
23	122
55	150
97	183
155	226
233	280
340	349
675	552
962	701
1344	896
1876	1155
2619	1501
3665	1969
5143	2593
8247	3451
10261	4632
14605	6269
20909	8559
30122	11788
43619	16379
64773	22961
93780	32478
138926	46355
207366	66766
311931	97045

Digitized by Google

Celui que nous venons de trouver actuellement, qui n'eſt autre choſe que le cone tronqué de moindre réſiſtance, perfectionné une infinité de fois, ne fait que s'aprocher continuellement, & de plus en plus, de la figure la plus avantageuſe : de ſorte que la perfection eſt, pour ainſi dire, une aſymptote à ſon égard. Mais la proprieté dont il jouit s'étend au moins à toute l'impulſion à laquelle il eſt expoſé, y compris celle que reçoit le petit demi-cercle, ou le petit plan qui ſe trouve toujours au ſommet. Dans l'ancien conoïde au contraire, c'eſt ſeulement ou toute la ſurface courbe ou toutes les zones de cette ſurface compriſes entre deux cercles paralleles, qui ont la proprieté de recevoir la moindre impulſion ; & le petit cercle qui reſte à l'extrémité en eſt toujours exclus.

III.

Les deux conoïdes précedens ſont ſujets à un inconvenient conſiderable, lorſque le Navire s'incline dans les routes obliques : l'endroit qu'on regardoit comme le plus large de la carène entre dans l'eau & s'y plonge de toute la quantité de l'inclinaiſon. Si pour éviter d'un autre côté cet accident qui peut avoir des ſuites fâcheuſes, on éleve au-deſſus de la mer l'endroit le plus large du Navire, le demi conoïde qui ſert de proüe perdra la propriété qu'il avoit d'éprouver la moindre réſiſtance ; parce que ce ſeront des parties toutes differentes des zones de ſa ſurface, qui ſeront expoſées au choc. C'eſt ce qui nous a invité à conſtruire encore la Table ſuivante qui marque les dimenſions qu'il faut donner au conoïde, lorſqu'il ne plonge qu'en partie, & nous l'avons inſtituée pour deux cas differens ; en ſupoſant dans l'un que la partie de la proüe ou de la carène qui reſtoit au-deſſus de l'eau, avoit deux fois plus d'épaiſſeur ou de hauteur que dans l'autre. Nous avons ſuivi pour conſtruire cette Table les veſtiges de la ſolution générale qu'on verra dans le Chapitre ſuivant. Ces ſortes de calculs ſont ſi rebutans qu'il eſt naturel de s'y

refuſer le plus qu'on peut. Le conoïde de moindre réſiſtance qui n'eſt ſubmergé qu'en partie, eſt très-different de l'autre vers ſon ſommet; mais ils deviennent preſque conformes, à une certaine diſtance, & exactement les mêmes, lorſqu'on les prolonge infiniment; car ils ſe confondent l'un & l'autre avec celui qui eſt formé par la derniere parabole du quatriéme degré, c'eſt-à-dire par celle dont les cubes des abſciſſes ſont comme les ordonnées élevées à la quatriéme puiſſance. Lorſqu'on aura donc, dans le cas préſent, tracé avec ſoin, ſur les dimenſions que nous donnons, le commencement de la courbure qui eſt plus marquée, on pourra enſuite ſans erreur ſenſible emprunter la figure de l'ancien conoïde.

TABLE

Des dimenſions de deux prouës conoïdales qui n'éprouvent la moindre réſiſtance de la part de l'eau, que lorſqu'elles ne ſont pas entierement ſumergées.

Lorſque l'axe de la proue eſt élevé de 1000 parties au-deſſus de la ſurface de l'eau.		Lorſque l'axe de la proue eſt élevé de 2000 parties au-deſſus de la ſurface de la Mer.	
Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	1045	1372	1800
3	1050	1854	2000
21	1070	2368	2200
83	1125	2910	2400
150	1175	3478	2600
264	1250	4069	2800
347	1300	4682	3000
435	1350	5969	3400
527	1400	7329	3800
721	1500	8753	4200
927	1600	10239	4600
1145	1700	11781	5000
0	2023	3223	3400
5	2030	3825	3600
14	2040	4449	3800
36	2060	5093	4000
89	2100	5756	4200
248	2200	6438	4400
433	2300	7136	4600
636	2400	7851	4800
1082	2600	8582	5000
1570	2800	9327	5200
2093	3000	10859	5600
2645	3200	12446	6000

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Une baſe étant donnée, trouver la figure du ſolide dont il faut la couvrir pour que l'impulſion qu'elle ſouffre en traverſant un fluide, ſoit la moindre qu'il eſt poſſible.

I.

TOUS les conoïdes dont nous venons de parler, ne ſatisfont qu'à un cas très-limité du Problême général, dans lequel il s'agit de garantir du choc, non pas un plan circulaire, mais une baſe quelconque, en la couvrant d'une eſpece de conoïde qui éprouve de la part du fluide la moindre impulſion poſſible. Pour ne pas renvoyer le Lecteur au Volume de 1733 des Mémoires de l'Academie des Sciences où nous avons traité ce Problême, nous en donnerons ici une autre ſolution qui aura d'ailleurs plus de raport avec les choſes qui nous reſtent à dire. Supoſons que ABA (Fig. 107) eſt la baſe propoſée, ou ce qui revient au même, que c'eſt la coupe de la carène faite perpendiculairement à ſa longueur dans l'endroit le plus gros. Au lieu de former les autres coupes par des figures ſemblables ou à peu près ſemblables, nous leur donnerons les figures DEBED, FGBGF, &c. ou nous les terminerons de chaque côté par des droites verticales DE, DE & FG, FG &c, & en bas par des portions EBE, GBG de la courbe ABA. Nous pourrions ſubſtituer à la place des verticales DE, FG, des lignes inclinées, ou même des courbes, en obſervant ſeulement qu'elles ſuſſent exactement paralleles. Cette condition eſt ici eſſentielle, pour la ſimplicité de la ſolution, parce que l'impulſion du fluide ſur toutes les parties de la même zone, ſe fait enſuite exactement avec la même incidence; comme on le voit avec facilité en jettant les yeux ſur la figure 108 qui repréſente

Fig. 107.

Digitized by Google

Fig. 107. & 108. le ſolide, que nous voulons déterminer. Toute la partie ABI de la ſurface du ſolide eſt cilindrique ou comme cilindrique, & la ſurface AHI, quoique courbe de A vers HI, eſt formée de lignes droites poſées verticalement. Il eſt clair auſſi que ſi on coupe ce ſolide perpendiculairement à ſon axe CH par une infinité de plans, ces coupes fourniront les quadrilateres mixtilignes DEBED, FGBGF, &c. de la figure 107. Et il n'eſt pas moins évident que le fluide ne frappant point la partie inferieure de chacune des zones dans leſquelles ſera partagée toute la ſurface du ſolide, il ne rencontrera que les ſeules parties des flancs de chaque zone comme OPSR, & qu'il en rencontrera chaque partie avec la même obliquité.

Je nomme x les abſciſſes ou parties HM, HL, &c. de l'axe HC du ſolide & y les ordonnées correſpondantes MV, LR, &c. Ces ordonnées ſont égales à CF & à CD de la baſe ABA (Fig. 107); & puiſque cette baſe eſt donnée, on ſçait la relation des diſtances CF ou CD aux verticales FG & DE. Ces dernieres lignes ſont égales à une fonction des premieres; de ſorte que celles-ci étant déſignées par y, nous pourrions déſigner les autres par Y, & nous réuſſirions toujours à rapporter le Problême à la quadrature des courbes; mais nous nous contenterons d'employer d'abord $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{m}}$, expreſſion dans laquelle il n'y a que y de variable. Je reviens au ſolide même, & je conſidere que le fluide venant le rencontrer parallelement à ſon axe HC, il rencontre chaque zone ORSP avec une incidence égale à l'angle ORN formé par le petit élément OR de la courbe AH de ſaillie, & par RN qui eſt parallele à l'axe HC. Si nous prenons l'unité pour ſinus total, nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence par cette analogie: OR $(\sqrt{\overline{NR}^2 + \overline{NO}^2}) = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ eſt à NO $= dy$, comme l'unité eſt à $\frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ pour le quarré de ce ſinus. Or il faut, comme

Digitized by Google

nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier ce quarré, non pas par toute la surface de la zone OS, mais par son étenduë projettée sur un plan perpendiculaire à l'axe, puisque nous ne voulons avoir que l'impulsion relative dans le sens de l'axe : c'est-à-dire, que l'étenduë qui doit être multipliée, n'a sur la hauteur $OP = DE = \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}$ que $ON = dy$ de largeur, & elle est donc exprimée par $OP \times ON$ ou par $\overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}} \times dy$; & l'impulsion relative sur la zone OS, est $\frac{dy^3 \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$. Fig. 107. & 108.

Il faut remarquer après cela, que nous considererons à toute la surface du solide la proprieté de recevoir la moindre impulsion directe ; si nous considerons cette proprieté aux zones sensibles dont on peut la concevoir formée : & que les zones sensibles jouiront de cette proprieté, si nous réussissons à la donner à toutes les zones infiniment étroites comme OS & RX considerées toujours deux à deux & consécutivement. Laissant pour cela les dy constantes, je fais seulement varier les dx d'une quantité infiniment petite du second ordre ddx. L'impulsion $\frac{dy^3 \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$ que recevoit une des zones, souffrira le petit changement $\frac{2dy^3 dx ddx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$; mais en même tems l'autre zone recevra un petit changement contraire $\frac{-2dy^3 dx ddx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 - dy^2}$, parce que $NR = dx$ ne peut pas dans une zone augmenter de la petite quantité $Rr = ddx$, sans qu'il se fasse sur dx dans l'autre zone, une diminution exactement égale ddx. C'est d'ailleurs ce que la figure offre aux yeux ; car si la zone OPSR prenant la situation OPsr reçoit moins d'impulsion ; parce qu'elle est choquée avec une plus grande obliquité, l'autre zone VXSR prendra en même tems la situation VXsr, & sera plus ex-

Digitized by Google

Fig. 107. & 108. posée au choc. Enfin pour que les deux petites zones jointes ensemble reçoivent le moindre choc possible; il faut conformement aux regles *de maximis & de minimis* que la différentielle de leur impulsion totale, soit nulle, & il faut donc que la différentielle particuliere & positive $\frac{2dy^3dxddx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2+dy^2}$ de l'impulsion que souffre une des zones, soit exactement égale à la différentielle négative de l'impulsion que souffre en même tems l'autre zone. Ainsi ces mêmes différentielles, considerées absolument, doivent être constantes, & elles seront donc encore égales à une grandeur déterminée a, lorsqu'on les aura également divisées par $2ddx$ qui est commune aux deux zones. C'est pourquoi nous avons $\frac{dy^3dx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{dx^2+dy^2} = a$ ou $dy^3dx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}} = adx^4 + 2adx^2dy^2 + ady^4$ pour l'équation en premieres différences de la courbe AOH de la proüe.

Cette équation se résoudra comme à l'ordinaire, en supposant une nouvelle variable z qui soit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$. L'introduction de cette valeur de dx dans l'équation, la changera en $\overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, dont on tire $y = \frac{1}{c}\overline{b^n - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{\frac{1}{n}}$; & cherchant la valeur de dy en différentiant pour l'introduire dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = -\frac{n}{mc} \times \overline{\frac{1}{c}b^n - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{\frac{1}{n}-1} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{\frac{1}{n}-1} \times \frac{3z^3dx}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}$. De sorte qu'on connoît maintenant la relation de x & de y à une troisiéme quantité z, à laquelle il ne s'agit plus que d'attribuer autant de différentes valeurs, qu'on voudra obtenir d'ordonnées

nées y & d'abſciſſes x, ou qu'on voudra déterminer de différens points de la courbe AOH. Cette courbe ne parviendra pas ordinairement juſqu'au point A; mais on fermera l'ouverture qu'elle laiſſe, en prolongeant la ſurface IHOP. Fig. 107. & 108.

Cette ſolution, qui peut ſervir de modele à toutes les autres, eſt aplicable par elle-même, comme il eſt évident, à une infinité de différentes baſes. Elle donnera à la proüe une figure qui ne ſera toujours ſujette qu'à peu de dérive, & qui ſera outre cela exempte des plus grands mouvemens du tangage. En mettant des nombres poſitifs à la place des expoſans m & n, on fera convenir cette ſolution aux baſes terminées par les cercles de tous les genres, & ſi on fait en particulier ces expoſans $=2$, afin de reduire la valeur générale $\overline{b^m - cy^n}^{\frac{1}{n}}$ des verticales ou ordonnées FG, DE de la baſe de la figure 107, à $\sqrt{b^2 - cy^2}$ qui apartient à l'ellipſe ordinaire, on aprendra la courbure qu'il faut donner au ſolide qui doit couvrir cette figure. On aura alors

$$y = \sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2} \text{ \& } dx = \frac{-\frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \times \frac{3z^2dz}{a^2} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}{\sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2}}.$$

Il ſuffit d'affecter le coëfficient c de ſignes contraires lorſque les baſes ſont hyperboliques; & ſi on ſe contente de faire $n = 1$, ſans changer le ſigne de c, la ſolution conviendra aux baſes paraboliques de tous les genres, dont B ſera le ſommet & BC l'axe. Lorſqu'on voudra en particulier que la baſe BAB ſoit une parabole ordinaire; il faudra ſupoſer $m = 2$ en faiſant toujours $n = 1$, afin de reduire la valeur $\overline{b^m - cy^n}^{\frac{1}{n}}$ des verticales FG à cette autre $b^2 - cy^2$, dans laquelle b^2 déſigne CB, & cy^2 la quantité dont chaque verticale eſt plus courte. On aura alors $y =$

Fig. 107. & 108. $\sqrt{\frac{1}{c}b^2-\frac{z^3}{ca^2}-\frac{2z}{c}-\frac{a^2}{cz}}\,\&\,dx=\frac{\frac{3z^3dz}{2a^2}+zdz-\frac{a^2dz}{2z}}{\sqrt{c}\sqrt{b^2-\frac{z^3}{a^2}-2z-\frac{a^2}{z}}}$.

Les cas les plus simples ne sçauroient manquer de se trouver renfermés dans cette solution générale. Supposé que les longueurs OP, RS des zones diminuent en progression arithmetique, ou suivent la même loi que dans le conoïde circulaire où les circonférences des zones sont comme leur rayon, il n'y aura qu'à rendre les verticales FG, DE, &c. proportionelles à leur distance CF, CD ($=y$) au centre C, & il suffira pour cela de changer le signe de c, & de supposer $b=0$, & les exposans m & n égaux à l'unité, afin de convertir la valeur générale $b^m-cy^{\frac{m}{n}}$ des verticales en cy. Il est clair qu'on doit trouver ensuite la même courbure de saillie que pour le conoïde circulaire; car il n'importe que les zones soient étenduës en lignes droites ou qu'elles soient pliées en arc de cercle, aussi-tôt qu'elles sont de même longueur, & que toutes leurs parties sont également exposées au choc. Aussi la valeur $\frac{1}{c}\times b^m-\frac{1}{c}\times\overline{\frac{z^3}{a^2}+2z+\frac{a^2}{z}}^{\frac{1}{m}}$ de y se reduit-elle à $\frac{1}{c}\times\frac{z^3}{a^2}+2z+\frac{a^2}{z}$ & celle $-\frac{n}{mc}\times\frac{1}{c}b^m-\frac{1}{c}\times\overline{\frac{z^3}{a^2}+2z+\frac{a^2}{z}}^{\frac{1}{m}-1}\times\frac{z^3}{a^2}+2z+\frac{a^2}{z}\Big)^{n-1}\times\frac{3z^3dz}{a^3}+\frac{2zdz}{a}-\frac{adz}{z}$ de dx à $\frac{1}{c}\times\frac{3z^3dz}{a^3}+\frac{2zdz}{a}-\frac{adz}{z}$; ce qui s'accorde parfaitement avec la solution de M. Bernoulli. Enfin si les verticales FG, DE au lieu de croître en progression arithmétique, sont toutes parfaitement égales à CB; ce qui doit arriver lorsque la base ABA est un rectangle, il faut supposer c nulle, afin de reduire l'expression $b^m-cy^{\frac{m}{n}}$ des verticales à une grandeur constante $b^{\frac{m}{n}}$; & cette supposition étant admise

dans l'équation $\overline{b^n - cy^{n-1}}^{\frac{1}{n-1}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$ qui eſt la premiere transformée de l'équation différentielle du Problême, il viendra $b^{\frac{n}{n-1}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, qui nous aprend que z au lieu d'être variable, a une valeur déterminée, & que par conſéquent le raport de dx à dy, renfermé dans $dx = \frac{zdy}{a}$, eſt conſtant. Il ſuit de là que la ligne de ſaillie AOH eſt droite, & que la prouë eſt alors terminée par deux plans verticaux qui viennent ſe rencontrer ou ſe couper dans la verticale HI; ce qui ſeroit une confirmation de ce que nous avons établi dans le premier article du Chapitre I. ſi la choſe en avoit beſoin. Fig. 107. & 108.

II.

Nous avons dit qu'on pourroit ſupoſer que les longueurs des zones de la ſurface du ſolide expoſé à l'impulſion du fluide ſont comme une fonction quelconque des ordonnées de ce même corps, & que le Problême ſe réſoudroit également. C'eſt ce que nous allons faire voir maintenant; en montrant en peu de mots que l'ancienne ſolution qui étoit particuliere à la baſe exactement circulaire, s'étend fort aiſément au cas le plus général, dans lequel la baſe propoſée qu'il s'agit de garantir du choc, peut avoir toute autre figure.

Que ABA (Fig. 109.) ſoit la baſe propoſée; & concevons au dedans une infinité de lignes courbes GHG, FEF parfaitement paralleles au circuit exterieur ABA. Toutes ces lignes repréſenteront les contours des zones à peu près circulaires dont nous voulons maintenant que ſoit formée la ſurface du conoïde. Ainſi ſi les coupes du conoïde faites parallelement à ſa baſe ABA ou perpendiculairement à ſon axe, ne ſont pas encore ici ſemblables entr'elles & à la baſe, elles auront au moins toujours beaucoup plus de conformité. L'une de ces coupes, faite à peu de diſtance Fig. 109.

Fig. 109. de la base, sera égale à FEF, pendant qu'une autre moins éloignée du sommet, sera égale à GHG. Il est d'ailleurs évident que le parallelisme exact de toutes les lignes courbes FEF, *fef*, sera cause que chaque zone aura exactement la même largeur dans tout son contour, & qu'elle recevra le choc du fluide avec la même incidence dans toutes ses parties. Ainsi tous les raisonnemens que nous avons faits sur les zones étenduës en ligne droite, sont applicables à nos zones exactement courbées; & c'est précisément le même cas. Nous nommerons toujours x les parties de l'axe du conoïde à commencer à son sommet, & y ses ordonnées que nous prendrons dans le plan vertical qui le coupe selon son axe par la moitié & perpendiculairement à la base ABA. C'est-à-dire, que y ne désignera pas les demies largeurs horisontales du conoïde qui peuvent être plus ou moins grandes, selon que la base ABA & toutes les autres coupes paralleles différent plus ou moins du cercle; mais que y désignera les profondeurs du conoïde, ou les seules ordonnées verticales dont CB est la plus grande & la derniere; en un mot, y marquera toutes les lignes CH, ou Ce, CE, pendant que dy indiquera les parties comme Ee. Si après cela nous nommons Y les circuits, ou ce qui revient au même, les demi-circuits HG ou EF des lignes courbes qui servent de longueur aux zones, & que nous fassions les mêmes opérations en employant Y, que nous avons faites dans l'art. précédent en employant $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{m}}$; au lieu de parvenir à l'égalité $\frac{dy^3 dx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{m}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^{\frac{1}{2}}} = a$, nous parviendrons à $\frac{dy^3 dx \times Y}{\overline{dx^2 + dy^2}^{\frac{1}{2}}} = a$, ou à $Y dy^3 dx = a dx^4 + 2a dx^2 dy^2 + a dy^4$, qui est donc l'équation constitutive du Problême en premieres différences, & nous la changerons en $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$, lorsque nous introduirons $\frac{z dy}{a}$ à la place de dx.

Digitized by Google

Mais cela ſupoſé, le Problême ſe reduit ſans peine à la ſimple quadrature des courbes; car il ne s'agit pour cela que de donner des valeurs geométriques aux deux équations $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ & $dx = \frac{zdy}{a}$, ou de les réaliſer, pour ainſi dire. Après avoir prolongé BC vers M, je prends le point C pour l'origine des quantités z que j'étends le long de CM; & faiſant les perpendiculaires SR, VT, &c. égales aux diverſes valeurs de Y, je trace la courbe NRQ en l'aſſujettiſſant à l'équation $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$. Fig. 109.

Cette courbe eſt facile à décrire; ſes ordonnées comme VT, ſont toujours formées de trois parties, dont l'une $\left(\frac{z^3}{a^2}\right)$ eſt proportionelle au cube de l'abſciſſe correſpondante CV; l'autre partie eſt proportionelle à l'abſciſſe même, & en eſt le double (2z); & la troiſiéme $\frac{a^2}{z}$ ſuit la raiſon inverſe des mêmes abſciſſes. En un mot, on trouvera les ordonnées VT de la courbe QRN, en ajoutant enſemble les ordonnées de trois autres lignes; d'une premiere parabole cubique comparée à ſa tangente à ſon ſommet; d'une ligne droite comparée à une autre droite, & d'une hyperbole comparée à ſon aſymptote. La courbe QRN a la ligne droite CO pour aſymptote; l'autre branche RN a pour aſymptote une parabole cubique; & il eſt facile de voir que la plus petite ordonnée SR eſt égale à $\frac{16}{3\sqrt{3}} \times a$ qui répond à l'abſciſſe $CS = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; deſorte que SR eſt à CS comme 16 eſt à 3.

La courbe QRN étant tracée une fois, ſert pour toutes les differentes baſes ABA qu'on peut propoſer; parce qu'elle ne dépend point de la nature de cette baſe; mais nous avons beſoin d'un autre courbe CLI qui en dépend. Cette ſeconde a ſes ordonnées HL, EK, &c. égales à la longueur des zones, ou au circuit des courbes HG, EF correſpondantes, que nous avons conſiderées au-dedans de la baſe, & rendues exactement paralleles à ſon circuit. Lorſ-

Fig. 105. que la base est un cercle, toutes les courbes qui sont concentriques, & qui sont aussi des cercles, sont en progression arithmétique, & la courbe CLI devient droite: au lieu qu'elle est dans les autres cas presque toujours méchanique ou transcendante. Un autre moyen de rendre cette courbe géométrique, c'est celui que nous avons déja employé, de rendre droites les zones dans leur longueur: alors toutes ces longueurs ont entr'elles une relation qu'on peut exprimer en termes finis, puisqu'elles le sont par les droites mêmes tirées au dedans de la base ABA que nous supposons géometrique. Mais enfin on trouvera toujours au moins par les séries ou par les autres méthodes d'aproximation la longueur des courbes HG & EF, & par conséquent des droites HL & EF qui leur sont égales: & si de leur extremités L & K on conduit parallelement à BM les lignes LR & KT jusqu'à la rencontre de la courbe RN, & que des points R & T, on tire les ordonnées RS, TV, &c. on obtiendra la relation continuelle des quantités y, Y & z. Car pendant que CE representera y, la ligne EK nous donnera la valeur de Y, & CV celle de z, & ces trois quantités seront les correspondantes les unes des autres: pour chaque valeur CE de y, nous trouverons toujours en passant de la courbe CLI à la courbe QRN, la valeur CV de z qui lui repond.

Ainsi il ne reste plus pour obtenir la valeur des parties élémentaires dx de l'axe du conoïde, que nous offre l'autre équation $dx = \frac{zdy}{a}$ qu'à transporter les abscisses CV (z) en EZ sur le prolongement de KE: on fera passer par tous les points Z une nouvelle courbe YZX dont on connoîtra toutes les ordonnées, qui sera géometrique toutes les fois que la courbe CLI le sera; & ses trapezes élémentaires ZEez compris entre deux ordonnées infiniment voisines & qui feront les produits de ZE$=z$ par E$e=dy$, nous donneront des quantités continuellement proportionelles aux petites parties dx de l'axe ou de la saillie du conoïde que nous voulons déterminer. Nous pouvons nous

Digitized by Google

dispenser d'avertir que la courbe YX ne sera quelques fois que la courbe RN simplement transposée; puisque cela n'arrivera jamais que lorsque CI sera une ligne droite, ou que le conoïde sera exactement circulaire. Mais de ce que les petits trapezes EZ *ze* sont proportionels aux *dx* ou égaux aux *dx* multipliées par *a*, il résulte que nous n'avons qu'à chercher par les méthodes que nous enseigne la géometrie les aires des parties sensibles comme BXZE qui commencent à la derniere ordonnée BX, & que les divisant par *a* ou par son égale $\frac{3\sqrt{3}}{16} \times$ SR, nous aurons les parties sensibles de l'axe du conoïde, à commencer de sa base: de sorte que nous sçaurons à quelle distance de cette même base il faudra placer chaque coupe comme FEF. Si on cherche au contraire l'étenduë des espaces comme YHEZ qui commencent à la premiere ordonnée YH qui est égale à SC ou à $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, on obtiendra en les divisant par *a* les parties *x* de l'axe du conoïde qui commencent à son sommet. L'autre branche RQ de la courbe NRQ fournira d'autres valeurs de z, qui étant appliquées perpendiculairement le long de HB, donneront un autre courbe YX, & d'autres valeurs pour les parties de l'axe du conoïde. La proüe prendra une autre forme; mais elle sera toujours également ouverte par l'extremité. Le demi-circuit HG de l'ouverture sera toujours égal à la plus petite ordonnée SR de la courbe QRN. Fig. 109.

CHAPITRE IV.

De la formation de plusieurs autres proüës qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau.

ON voit qu'il sera toujours facile de déterminer le solide dont on doit couvrir toute base proposée: il est même clair qu'en variant le système de ses coupes, on réus-

sira à trouver differentes solutions de ce Problême qui paroissoit auparavant assez difficile à traiter, lorsqu'on le considéroit généralement. Il faut cependant avouer qu'il n'est pas aisé dans la pratique de profiter de cette généralité, parce qu'il faudroit nécessairement s'engager dans le calcul d'un trop grand nombre de differentes tables pour les mettre entre les mains des Constructeurs. C'est ce qui m'a invité à chercher si on ne pouvoit pas tirer parti des Tables déja calculées des deux premiers conoïdes du Chapitre II. & j'ai reconnu sans peine qu'elles pouvoient nous suffire.

I.

Si l'ancien conoïde possede seul la proprieté de recevoir sur chaque zone de sa surface, de quelque largeur qu'elle soit, la moindre impulsion possible, les deux conoïdes ont au moins cela de commun, quoique le second ne jouisse de cette proprieté que sensiblement, que les especes de triangles, qui sont interceptés entre deux diverses situations de la courbe génératrice, & qu'on peut considerer comme les élemens de la surface, éprouvent aussi la moindre résistance. Il suit de-là que si la base du conoïde au lieu d'être un cercle, est un triangle ABD (Fig. 110.) on doit former avec la même courbe le conoïde triangulaire ADEB dont il faut couvrir ce triangle. Car la surface du conoïde triangulaire sera composée de triangles élémentaires de même grandeur, & également exposés à l'impulsion du fluide que ceux du conoïde circulaire. On voit assez que ce ne sont pas les trois courbes qui forment les arrêtes AE, BE & DE, qui doivent être égales à la courbe génératrice de l'un ou de l'autre conoïde dont la base est un cercle; mais que c'est la courbe FE dont le plan CFE est perpendiculaire au côté AD. En effet si on considere dans cet endroit un triangle élementaire F*ef*, il doit être parfaitement égal au triangle correspondant du conoïde circulaire inscrit; & il est évident que tous les autres triangles élementaires qui forment chaque face AED, doivent

Fig. 110.

doivent recevoir la même impulsion que le triangle F*ef*, aussi-tôt qu'ils ont leurs bases F*f* égales. On peut appliquer aussi ce que nous venons de dire des bases triangulaires à toutes les bases formées en poligone; aussi-tôt que toutes les perpendiculaires comme CF abaissées de leur centre sur leurs côtés, sont parfaitement égales. Fig. 110.

Ce sera encore la même chose à l'égard des bases mixtilignes formées en parties d'arcs de cercles & de lignes droites, conditionnées comme nous venons de le spécifier. Si par exemple la base ADB est formée par en haut de deux arcs de cercles égaux, dont le centre soit en C, & par en bas de deux lignes droites tangentes aux deux extremités de ces arcs, lesquelles viennent se rencontrer en D; il est évident que le solide conoïdal dont il faudra couvrir cette base, doit être encore formé des mêmes lignes courbes que l'un ou l'autre conoïde parfait, l'ancien ou le nouveau.

II.

Nous saisirons l'occasion, puisqu'elle se presente, de faire remarquer le grand avantage dont jouit le conoïde triangulaire de la figure 110. De toutes les bases de même étenduë, c'est la circulaire qui est la moins propre à recevoir le solide de moindre résistance, & plus on reduira cette base à un poligone qui aura moins de côté, plus la figure deviendra avantageuse. Un quarré ou un rectangle est préférable à un cercle, & par la même raison un triangle est préférable à un quarré, & est à cet égard, plus avantageux que tous les autres poligones. La différence ne vient pas du plus ou du moins de fluide que le solide rencontre dans son mouvement, puisque les bases étant de même grandeur, tous les solides sont exactement choqués par le même nombre de molécules; mais l'avantage qu'a le triangle, & souvent aussi le trapeze sur le rectangle & sur tous les autres poligones, vient de ce que son apothême ou la perpendiculaire abaissée de son centre sur

Fig. 110. ſes côtés, eſt plus petite; ce qui eſt cauſe que le ſolide qui le garantit du choc, eſt plus aigu. On doit, par exemple, quant à l'incidence avec laquelle ſe fait le choc, ne comparer le conoïde triangulaire que nous avons ſous les yeux, qu'avec le conoïde circulaire qui a la perpendiculaire CF pour rayon de la baſe. Ainſi il eſt réellement moins obtus & éprouve moins de réſiſtance que le conoïde circulaire dont la baſe eſt de même étenduë que la ſienne, puiſque ce dernier a ſon rayon conſiderablement plus grand que CF. Le conoïde triangulaire étant préférable en fait de reſiſtance, il l'eſt auſſi en fait de dérive dans les routes obliques; il rend cette dérive un *minimum minimorum.*

Si au lieu de comparer entr'elles les baſes qui ſont de même étenduë, on compare celles qui ont la même largeur & la même hauteur, on verra que le conoïde circulaire eſt très-préférable au conoïde circonſcrit qui a un rectangle pour baſe, mais que le conoïde triangulaire l'emporte encore de beaucoup ſur les deux autres. Comme ſa baſe eſt conſidérablement plus petite que la circulaire, il rencontre dans ſon mouvement une moindre quantité de fluide, & outre cela, il la rencontre plus obliquement, à cauſe de la petiteſſe de la perpendiculaire CF. Ces deux chefs rendent l'impulſion preſque trois fois plus petite; & il ſuit de là, que ſi les Frégates, dont les coupes faites perpendiculairement à la longueur, ſont des demi-cercles, peuvent acquerir dans leur ſillage la moitié de la viteſſe abſoluë du vent; celles auſquelles il ſera permis de donner des coupes triangulaires, parce qu'elles ſeront moins embarraſſées par le poids de leurs parties ſupérieures, pourront recevoir dans les routes à peu près directes, un quart plus de viteſſe, ou prendre environ les cinq huitiémes de celle du vent.

III.

Mais pour revenir à la formation de nos ſolides, il eſt facile d'étendre infiniment davantage l'uſage particulier de l'ancienne ſolution ou de l'ancienne figure, parce que,

Digitized by Google

comme on l'a déja dit pluſieurs fois, la proprieté de recevoir la moindre impulſion, n'eſt pas plus attachée à la ſurface entiere qu'à quelle zone on veut, qui eſt compriſe entre deux cercles paralleles. Supoſons qu'il s'agiſſe d'une baſe ABDE (Fig. 111.) faite en rectangle ou en trapeze, entre les côtés duquel il y ait quelle proportion on voudra; ou prenons une autre baſe (Fig. 112.) compoſée de deux quarts de cercle AOB & PED liés enſemble par un rectangle intermediaire BOPD. Je conçois dans ces baſes au dedans les unes des autres des paralleles FGHI, KLMN, &c. au circuit ABDE; en faiſant enſorte que toutes les parties de ces paralleles ſoient exactement à la même diſtance les unes des autres: cette condition ſera remplie dans la premiere de ces deux figures ſi tous les points G, L, &c. H, M, &c. ſont ſitués ſur les deux lignes droites BO, DP qui diviſent les angles ABD, EDB, par la moitié. Ces paralleles repréſenteront les différentes coupes verticales de la proüe, faites perpendiculairement à ſon axe, ou parallelement au plan ABDE ſur lequel elles ſont projettées; & il eſt évident qu'elles diminueront ici en progreſſion arithmétique. Mais il n'en faut pas davantage, pour qu'on puiſſe donner la même courbure au conoïde dont il faut couvrir ces baſes, qu'à l'ancien qui a pour baſe un cercle; & cela parce que dans l'ancien conoïde, de même que dans tous les autres qui ſont exactement circulaires, les circonférences des zones obſervent la même loi, ou qu'elles ſont en progreſſion arithmétique, auſſi-tôt que les ordonnées s'excedent d'une quantité conſtante les unes les autres. J'examine le raport qu'il y a entre la circonférence ABDE de la baſe & la parallele la plus intérieure, ou la plus petite, qui ſe reduit ici à la ſeule ligne OP. Je cherche deux ordonnées CD & XV, (Fig. 105.) qui ayent entr'elles le même raport dans la courbe BVD, qui forme le conoïde parfait de *moindre réſiſtance*; & je reconnois que c'eſt de la partie DV de la courbe dont il faut ſe ſervir, pour former les conoïdes dont nous avons actuellement beſoin. Fig. 111. & 112.

Digitized by Google

Fig. 111. & 112. Le conoïde de la figure 111. aura trois faces distinctes, les deux latérales seront triangulaires & l'inférieure aura la forme d'une espece de trapeze. Mais chaque de ces faces doit avoir dans le sens perpendiculaire aux trois côtés AB, BD & DE de la base, la courbure représentée par l'arc DV de la figure 105. Ce sera la même chose, pour le conoïde de la figure 112. qui aura la forme représentée dans la figure 113. & qui se terminera de même que le précédent, par une ligne droite ST, excepté dans le cas où OP sera trop petite; car alors l'un & l'autre conoïde aura une ouverture à son sommet, qui répondra à celle qu'a toujours le conoïde qui est exactement circulaire. Nos deux solides irreguliers ne ressemblent aucunement à celui dont nous les déduisons; mais il est néanmoins évident que les zones des uns sont égales aux zones correspondantes de l'autre. Elles n'ont pas les mêmes rayons, où elles ne repondent pas aux mêmes ordonnées; mais les différences des ordonnées sont exactement les mêmes; de même que les petites parties de l'axe auſquelles elles repondent: de plus leurs circuits ou circonférences sont précisement de même longueur, ou ont au moins des longueurs proportionelles. Ainsi, outre qu'elles ont des surfaces de même étenduë, elles sont exposées au choc exactement avec la même incidence, & par conséquent les impulsions particulieres que souffrent toutes les zones, suivent la même loi ou la même progression. C'est pourquoi un des conoïdes ne peut pas éprouver de la part du fluide, la moindre réſiſtance poſſible, ſans que les autres n'ayent auſſi la même proprieté.

Fig 112. & 113. Si la largeur AE (Fig. 112 & 113.) de la base ou de la plus grande des coupes verticales est de 40 pieds, pendant que la hauteur ou le creux OB ou PD est de 16 pieds, comme cela se trouve dans plusieurs Navires, l'intervale OP sera de 8 pieds, & les arcs de cercle AB & DE qui auront 16 pieds de rayon, seront chacun d'environ $25\frac{1}{7}$ pieds. Ainsi la circonférence ABDE de la plus grande zone sera de $58\frac{2}{7}$ pieds; au lieu que le circuit OP, ou ST,

de la plus petite, ne sera que de 8 pieds. Cela supposé, il n'est question que de trouver dans la courbe BD (Fig. 105.) ou dans la Table des dimensions de la même proüe, deux ordonnées qui soient dans le même raport. On peut en trouver une infinité; comme 308 & 2244; ou 400 & $2914\frac{1}{4}$, &c. On prendra les premieres ou les dernieres, selon qu'on voudra donner plus ou moins de saillie à la proüe. Si on s'arrête à 400 & à $2914\frac{1}{4}$, leur différence $2514\frac{1}{4}$ qui est égale à DY (Fig. 105.) représentera AO, ou BO, ou DP, pendant que la différence XC ou VY = 5470 des abscisses 78 & 5548, marquera la saillie OS de notre conoïde ou de notre proüe, & que DV marquera la courbure AS. La différence DY = 2514 des ordonnées repondant à AO qui est de 16 pieds; la différence 5470 des abscisses repondra à proportion à environ 34 pieds $9\frac{3}{7}$ pouces pour la saillie OS du conoïde; & il n'y aura donc pour obtenir effectivement la courbure AS de la proüe, en employant notre Table, qu'à tracer une figure semblable à la cent cinquiéme, & qui soit assez grande pour que les 2514 parties de DY repondent à 16 pieds, ou les 5470 de YV à 34 pieds $9\frac{3}{7}$ pouces; & alors la portion DV indiquera la courbure requise AS ou BS. En un mot, il n'y a toujours qu'à se souvenir que si la Table ne marque pas immédiatement les ordonnées & les abscisses de la courbe AS (Fig. 113.) ce n'est que parce que nous n'employons qu'une partie de la courbe DB de la figure 105. & que nous la raportons à une autre axe. Mais il n'y a qu'à retrancher 400 pour la valeur de XY, de toutes les ordonnées de la Table, & 78 pour la valeur de AX, de toutes les abscisses; & on aura les ordonnées & les abscisses de l'arc VD par raport à VY pris pour axe, ou les co-ordonnées de notre courbe AS (Fig. 113.) par raport à son axe OS. Fig. 112. & 113.

IV.

Voici encore un expedient très-simple par le moyen duquel on donnera plusieurs autres figures à la proüe, &c

Digitized by Google

dont on pourra ſe ſervir lorſqu'on voudra que la carène ait moins de façons. Cet expedient, qui a quelque rapôrt avec la ſolution du premier article du Chapitre précédent, conſiſte à donner aux coupes de la proüe, vers ſon extrémité, des figures différentes de celle qu'a la plus grande coupe : c'eſt ce que nous éclaircirons par quelques exemples.

Lorſque la coupe verticale du Vaiſſeau faite perpendiculairement à ſa longueur dans l'endroit le plus gros, ſera un trapeze ABDE (Fig. 114.) au lieu de former les autres coupes par d'autres trapezes, dont les deux côtés & la baſe inférieure conſervent un parfait parallelíſme avec les côtés & la baſe du premier trapeze ABDE, comme dans la figure 111, il n'y aura qu'à retrecir ſeulement les trapezes FGHI, KLMN, &c. Le Lecteur ſçait le motif que nous avons d'inſiſter ſouvent ſur ces ſortes de figures; nous l'avons expoſé dans le Chapitre VII. de la Section précédente. Les coupes deviendront des triangles OVP, QRS, &c. lorſque le retreciſſement ſera porté plus loin; & enfin la proüe deviendra ſemblable à celle qui eſt repréſentée dans la figure 115. A l'égard de toute la partie qui aura les trapezes pour coupes, il faudra qu'elle ſoit parfaitement rectiligne, ou ce qui revient au même, que les deux flancs de la proüe, ſoient des ſurfaces exactement planes, juſqu'à ce qu'ils viennent former par leurs extrémités le triangle OVP. Les deux flancs ABVO, & EDVP qui ſont parfaitement plans, deviennent enſuite courbes prolongés au-delà du triangle OVP; & la proüe prend la forme d'un conoïde triangulaire dont Z eſt le ſommet, & qui eſt ſemblable à celui de la figure 110.

Fig. 114. & 115.

Il n'eſt pas difficile de ſe convaincre que toute la premiere partie de la proüe doit être formée par des plans. On voit aſſez qu'il ne faut point faire entrer dans les circuits des zones les baſes BD, GH, &c. puiſqu'elles ne ſont point expoſées au choc. Ainſi les circuits des zones n'augmentent plus ici en progreſſion arithmétique; mais ils ſont parfaitement égaux; & les lignes AO & BV, &c. (Fig. 115.) au lieu de répondre à une partie ſenſible de la

Digitized by Google

courbe BVD de la figure 105, ne le doivent faire qu'à une partie infiniment petite; & elles doivent par conſéquent être droites. C'eſt ce qui ſe conſilie auſſi, non-ſeulement avec ce que nous avons vû à la fin du Chap. précedent, mais auſſi avec ce que nous avons prouvé dans l'article I. du Chapitre I. Car ſi les lignes droites BV & DV (Fig. 115.) reçoivent la moindre impulſion poſſible, elles ne doivent pas perdre leur proprieté, lorſqu'on leur donne une certaine largeur, pourvû que ce ſoit la même par tout. Fig. 116. & 117.

V.

Ce ſera encore la même choſe, ſi on le veut, lorſque la plus grande coupe AOPPOA (Fig. 116.) ſera formée de chaque côté par un arc AO de cercle, par une droite OP tangente à l'extrémité O de l'arc, & enfin par une droite horiſontale PP. Les autres coupes, comme FGHIIHGF, ſeront formées de chaque côté par un arc FG parallele à AO, & dont le centre ſera en C; par une droite GH parallele & égale à OP; & par un arc de cercle HI dont le centre ſera en P. Cette ſeconde coupe aura pour baſe II qui ſera, pour ainſi dire, *le plat* de la varangue, & qui ne ſera point expoſée à l'impulſion; & cette baſe ſe réduira à rien, lorſque la coupe deviendra KMEMK. Mais enfin les contours ou les demi-contours, comme AOP, FGHI, KLME, qui ſeront expoſées au choc de l'eau, au lieu d'être en progreſſion arithmétique, ſeront encore parfaitement égaux dans toutes les premieres zones, comme il eſt facile de le reconnoître. Ainſi il eſt certain que la ſaillie de la proüe doit être formée en ligne droite, au moins depuis la coupe APPA juſqu'à l'autre KLELK. Entre AO & KL, la proüe ſera une portion de zone de cone: entre OP & LM, la ſurface ſera un rectangle; & depuis P juſqu'en ME, ce ſera une ſurface concave conique dont le ſommet ſera en P. C'eſt ce que j'ai tâché d'exprimer dans la figure 117, mais en laiſſant à l'imagination du Lecteur à ſupléer au défaut de la repré-

Digitized by Google

Fig. 116. & 117. sentation. Au-delà de la coupe KMEMK, la proüe prendra sensiblement la forme dont nous avons parlé à la fin du premier article. Je dis sensiblement; car elle ne prendra exactement cette figure qu'au-delà de la coupe RQR. Toute la partie interceptée entre KMEMK & RQR devroit être un peu plus convexe; mais on peut sans inconvenient négliger cette plus grande convexité; & se servir toujours des dimensions marquées dans la premiere Table du Chapitre II. Quelquefois on recherche avec soin les difficultés géométriques, pour avoir le plaisir de les resoudre; au lieu que nous les évitons actuellement avec le même soin, afin d'épargner aux Constructeurs, s'il est possible, toutes les discussions un peu embarrassantes.

VI.

Toutes ces figures changeront un peu, si au lieu de donner à la proüe la proprieté de fendre l'eau avec la plus grande facilité possible dans la route directe; on veut qu'elle ait cette proprieté dans les seules routes obliques, lorsque le Navire est le plus incliné. Si le Vaisseau ne s'inclinoit pas, ou si en s'inclinant, le circuit des coupes ou des zones de sa surface ne souffroit aucun changement, la figure qui éprouve la moindre impulsion dans un cas, l'éprouveroit aussi dans les autres; ce qui arrive à la proüe parfaitement conoïdale. Mais il y a ordinairement de la difference, & lorsqu'il y en aura, il vaudra mieux s'attacher à accelerer la viteſſe du sillage dans les routes obliques. Supoſé donc que le Vaisseau donc ABDE (Fig. 114.) est la plus grande coupe verticale faite perpendiculairement à sa longueur, s'incline, lorsqu'il single le plus obliquement, de maniere que la ligne *ae* devienne horisontale & se trouve dans la surface de l'eau; les circuits *a*B+D*e*, *f*G+H*i* &c. des coupes expoſées au choc, ne seront plus égaux entr'eux, mais seront en progreſſion arithmetique. C'est pourquoi les flancs de la proüe ne seront plus des surfaces planes comme dans la figure

Fig. 114.

Digitized by Google

figure 114, mais ils auront une courbure conſiderable qu'il faudra déterminer par la méthode expliquée dans l'article II. Rien ne changera dans la proüe dont AOPPOA (Fig. 116.) eſt la premiere coupe, à moins que pour rendre le Vaiſſeau meilleur voilier, on ne termine le haut de cette coupe, par deux tangentes Ta, Ta: lorſque le Navire ſinglera dans les routes obliques, ce ſera enſuite aTPPTb la partie actuellement plongée; & les circuits des premieres zones, au lieu d'être égaux, pourront être conſiderés comme en progreſſion arithmetique, quoi qu'ils ne ſuivent pas exactement cette progreſſion. Fig. 116.

VII.

Mais enfin on voit que dans toutes les differentes figures que nous attribuons à la coupe du Navire faite perpendiculairement à ſa longueur dans l'endroit le plus gros, la proüe ne prend pas une plus grande courbure dans ſa ſaillie, que n'en a la ſurface de l'un ou de l'autre conoïde parfait qui éprouve le moins de réſiſtance; & que quelquesfois cette courbure s'évanouit entierement & ſe transforme en ligne droite, pour ne rien dire du cas où elle paſſe de l'autre côté de la ligne droite, en devenant concave. Ainſi la courbure que doit avoir la proüe dans ſa ſaillie, ne varie qu'entre des limites aſſez étroites. L'une de ces limites eſt la ligne droite, & l'autre laquelle on veut des deux courbes qui engendrent les deux conoïdes parfaits que nous avons montré à tracer. Selon que les circuits des zones de la proüe approchent plus d'être égaux entr'eux ou diminuent plus ſubitement, la figure s'approche plus ou moins de l'un ou de l'autre terme. On voit auſſi maintenant la raiſon pour laquelle plus on diminuë *les façons* de l'avant, plus on doit rendre les *liſſes* droites*. On ne peut pas diminuer les façons ſans augmenter le circuit des zones de l'extremité de la proüe, puiſque ces zones deſcendent enſuite plus bas ou plus près de la quille; & les circuits des zones approchant d'être égaux, la cour-

* Voy. le Chap. II. Section. I. Liv. I.

bure dans le ſens de la ſaillie doit diſparoître, ou ce qui revient au même, toutes les *liſſes*, non ſeulemement celles d'en bas, mais celles d'en haut doivent perdre de leur courbure, & devenir plus droites. Il faudroit même les rendre parfaitement droites, conformement à ce que nous avons établi, ſi les contours des zones expoſées au choc étoient exactement égaux.

Ce que nous avons dit touchant le retreciſſement ſubit qu'on doit donner à la partie de la carène qui forme la proüe, à commencer de l'endroit le plus large, ſe trouve également confirmé ici. Car il n'importe que la proüe prenne dans le ſens de ſa ſaillie plus ou moins de convexité, la premiere partie de la courbure à commencer vers le milieu du Vaiſſeau, au lieu de reſter ſenſiblement parallele à l'axe dans un certain eſpace, commence toujours par s'en approcher, ou à devenir convergente avec lui: ce qui démontre que le Navire doit perdre tout à coup ſa plus grande groſſeur, malgré la pratique contraire & conſtante de tous les Conſtructeurs. Il faut encore une fois que le premier gabari ou que cette coupe dans laquelle le Navire eſt le plus gros, ſoit marquée par une arrête; & que la proüe ſoit ſenſiblement diſtinguée de la poupe, ou la partie antérieure de la carène de la partie poſtérieure, à peu près comme le ſeroient deux cones, ou pour le moins deux conoïdes hyperboliques ou paraboliques joints par leurs baſes. Je ſçai bien qu'il eſt aſſez difficile de ſuivre entierement en cela les préceptes de la Théorie; une pareille arrête ſeroit très-ſujette à ſe briſer. Mais il faut au moins, ſi on peut ſe permettre de l'effacer, ſe reſſouvenir qu'elle devroit ſubſiſter, & qu'elle eſt toujours demandée par la figure qui trouve le moins de réſiſtance à fendre l'eau.

VIII.

Après tout, la nature du Problême que nous traitons actuellement, laiſſe une aſſez grande liberté aux Conſtruc-

Digitized by Google

teurs, & c'eſt la même choſe de tous les autres dont il eſt queſtion dans cette Section. Quelquesfois, lorſqu'il s'agit d'obtenir le *maximum* ou le *plus grand* de certains avantages, on manque tout, ſi on s'éloigne le moins du monde du terme précis; & quelques autres fois on peut ſans inconvenient ſe diſpenſer de s'y aſſujettir dans la derniere rigueur. Cette difference vient des diverſes loïx que ſuivent entr'elles les differentes quantités entre leſquelles il s'agit de choiſir. Si ces quantités ſont exprimées par les ordonnées d'une courbe qui devienne parallele à ſon axe, il y a un eſpace conſiderable où toutes les ordonnées ſont ſenſiblement égales; & quoi qu'il ſoit vrai mathématiquement parlant que le point où ſe trouve la plus grande ou le *maximum*, n'a aucune extenſion; il n'eſt pas moins certain qu'on peut dans la pratique s'arrêter à quelque diſtance de ce point, & jouir encore du même avantage. C'eſt ce qui arrivera toutes les fois qu'il faudra, comme ici, pour réſoudre le Problême, rendre nulle la differentielle & non pas la rendre infinie. Le *maximum* étant de cette eſpece dans toutes les Recherches preſentes, il en réſulte comme on le voit, une commodité conſiderable; on peut ſans inconvenient alterer les figures géometriques, auſſi-tôt qu'on y ſera obligé par quelques circonſtances, effacer les angles, adoucir certains contours &c. Il ſuffira dans tout cela de ne pas agir comme ſi on n'avoit aucune connoiſſance du terme dans lequel reſide la perfection, & d'être attentif de ne violer que le moins qu'on pourra la regle, dans les occaſions mêmes, où on ſera obligé de la violer le plus. Il eſt vrai auſſi, pour tout dire, que l'avantage qu'on peut ſe propoſer ici eſt, par cette même raiſon, beaucoup moins conſiderable que celui qu'on obtiendra en changeant les principales dimenſions du Navire. C'eſt le retreciſſement de la carène ou ſon allongement qu'il faut ſur tout avoir en vûë; parce que le changement n'a point alors de terme, ou qu'il n'a de borne que l'infini.

CHAPITRE V.

De la prouë de la plus grande viteſſe, ou de celle qui rend le Vaiſſeau le plus capable de porter la Voile, en même tems qu'elle fend l'eau avec le plus de facilité.

I.

NOUS nous ſommes tellement livrés à l'examen des figures, qui ſouffrent par la rencontre des fluides la moindre impulſion poſſible, ou qui dérivent le moins qu'il ſe peut*, que nous avons comme oublié la diſtinction qu'il y a entre ces figures & celles qui ſont réellement les plus avantageuſes pour rendre le ſillage rapide. Dans la recherche des premieres, nous n'avons eu égard ni à la peſanteur du Navire, ni à la force qu'il doit avoir pour ſoutenir la voile : il n'a été queſtion que de déterminer la forme qui devoit éprouver moins de réſiſtance de la part de l'eau, quoi qu'il ſe puiſſe faire que cette proprieté faſſe tort à quelqu'autre qui influë autant ſur le ſillage. Il nous faut maintenant joindre l'autre conſidération, faire attention à la peſanteur du Navire, ou plutôt à ſon moment par raport au métacentre. Il eſt certain qu'à cauſe de cette nouvelle condition, le premier degré de renflement que nous donnerons à la prouë, que nous regardions comme parfaite, ne ſera toujours qu'avantageux. Car la réſiſtance qu'éprouvoit la prouë étant un *minimum*, & ſa différentielle étant nulle; lorſqu'on commencera à groſſir la prouë, en partant de cette figure déja reglée, la réſiſtance ne changera point, & néanmoins la ſolidité du Vaiſſeau, ſa peſanteur, ſa force pour porter la voile augmenteront; & il y aura donc réellement à gagner. Il eſt vrai qu'il ſe peut faire que cet avantage ne s'étende pas loin; parce que pour peu qu'on renflera la partie antérieure de la carène, la réſi-

* Voy. le Chap. 8. de la 1re. Sect. de ce 3e. Livre.

ſtance de l'eau augmentera en plus grande raiſon que la plus grande étenduë qu'on pourra donner aux voiles. Mais puis qu'il eſt démontré que les premiers degrés de changement ſont bons, il eſt à propos de voir ſi les autres ne le ſeront pas également : c'eſt toujours une choſe qui mérite d'être ſérieuſement examinée.

II.

Nous ne devons pas regarder ici le tranſport d'une plus grande maſſe, comme un effet plus grand qui ſoit à rechercher; puis qu'il n'eſt queſtion pour nous, que de procurer au ſillage la plus grande rapidité poſſible; ſans que nous nous mettions en peine le moins du monde, de la quantité de la charge que pourra porter la Frégate ou la Corvette. Il eſt vrai, que ſelon que la carène a plus ou moins de maſſe, ſon inertie ſe refuſe d'abord plus ou moins à la viteſſe qu'on veut lui imprimer, & que le Navire met plus ou moins de tems à acquerir ſon mouvement uniforme, comme nous l'avons déja dit pluſieurs fois. Mais qu'importe-t-il que cette acquiſition ſe faſſe plus ou moins vite; puiſqu'il eſt certain que la choſe ſe conſomme toujours dès les premiers inſtans du ſillage, avant même qu'on ait achevé d'orienter les voiles; & que le plus ou le moins de maſſe ne change rien au dernier effet ou à la viteſſe acquiſe & déja uniforme, qui ne dépend que du ſeul équilibre entre l'effort du vent & la réſiſtance de l'eau? Ainſi il eſt clair qu'on doit s'attacher ici à diminuer cette derniere réſiſtance, ſans nul égard à la maſſe tranſportée; ou que ſi l'on y a égard, ce doit être dans l'unique vûë d'augmenter la ſtabilité du Navire, afin de pouvoir donner plus d'étenduë aux voiles.

III.

Il y auroit une autre attention à avoir, ſi les Navires n'étoient deſtinés qu'à ſingler vent en poupe. Il faudroit rendre l'impulſion relative verticale de l'eau ſur la proüe,

Digitized by Google

la plus grande qu'il ſe pourroit par raport à l'impulſion relative qu'elle ſouffre dans le ſens direct ou de l'axe. La proüe étant enſuite pouſſée en haut avec le plus de force, ou ce qui revient au même, la direction du choc de l'eau faiſant un plus grand angle avec l'horiſon, *le point vélique* ſe trouveroit plus élevé; le Vaiſſeau pourroit porter plus de voiles, & une mâture plus haute dans la route directe; ce qui rendroit ſa viteſſe infailliblement plus grande; puiſque la réſiſtance de l'eau ſeroit en même tems la moindre qu'il ſeroit poſſible, eu égard à la grande impulſion du vent. Mais il paroît plus ſûr de regler les dimenſions de la voilure ſur ce qu'exigent les routes obliques, dans leſquelles la mâture trop haute expoſeroit aux plus grands dangers: En effet, ſi pour profiter de l'avantage qu'a la route directe, on donnoit de plus grandes dimenſions à la mâture, on ſe trouveroit expoſé, à périr toutes les fois qu'il faudroit paſſer tout à coup à une route fort oblique, avant qu'on eût eu le tems de caler les voiles. Il faut remarquer outre cela que la proprieté qu'auroit la proüe d'être pouſſée dans le ſens vertical avec plus de force, préjudicieroit à celle qu'elle doit avoir d'être expoſée à peu d'impulſion dans la détermination de ſon axe. Ces deux avantages bien loin d'être attachés l'un à l'autre, ſont au contraire réellement incompatibles dans preſque toutes les figures; ſi on en excepte quelques unes, comme la proüe qui eſt terminée par un ſeul plan rectangulaire incliné en avant. C'eſt ce que nous pouvons ſans doute nous diſpenſer de démontrer; puiſque, tant s'en faut que nous devions rechercher un de ces avantages au préjudice de l'autre; nous ne pouvons pas même ſouvent en profiter, lorſqu'il vient comme s'offrir à nous.

IV.

Ainſi nous ne devons nous propoſer dans la diſcuſſion préſente, de diminuer la réſiſtance que trouve la proüe à fendre l'eau, qu'autant qu'on le peut faire ſans trop nuire

à la grandeur de la mâture : le Navire ſinglera enſuite plus vite, & on jouira de cet avantage ſans courir de riſque. Nous ne devons pas rendre la réſiſtance un *minimum* abſolu comme ci-devant ; mais la rendre la moindre que nous pouvons, eu égard au moment de la peſanteur du Navire par raport au métacentre ; parce que c'eſt de la grandeur de ce moment que dépend la quantité des voiles que le Vaiſſeau peut ſoutenir. Si la poupe étoit aſſez grande par raport à la prouë, pour qu'il fût permis de regarder ſon moment comme infini, alors le plus ou le moins de renflement de la prouë n'aporteroit aucun changement au moment total, & il faudroit donc dans ce cas, choiſir entre toutes les figures celle qui éprouveroit abſolument la moindre réſiſtance. C'eſt ce qui montre que les conoïdes que nous avons déja déterminés, ſervent de limites d'un côté aux figures les plus avantageuſes. A meſure qu'on ſupoſe enſuite que le moment total de la peſanteur du Navire diminuë, il faut renfler la prouë en s'éloignant par conſéquent de la figure de moindre réſiſtance ; & l'autre limite celle du plus grand renflement, ſe trouve, lorſqu'on ſuprime toute la poupe ou qu'on reduit le moment de la peſanteur du Vaiſſeau à n'être plus le moment que de la ſeule peſanteur de la prouë. Mais dans ce dernier cas, de même que dans tous les intermédiaires, la figure la plus avantageuſe devient encore de plus en plus conforme à celle de la moindre réſiſtance, à meſure qu'elle aproche de ſon extrémité ou de ſon ſommet : & cela parce que le moment de la partie reſtante diminuant toujours par raport au moment total, on eſt plus en droit de conſiderer ce dernier moment comme infini.

V.

Outre cette affinité qu'il y a entre les deux figures de la prouë *de la moindre reſiſtance* & de la prouë *de la plus grande viteſſe*, ces deux figures deviennent abſolument les mêmes, toutes les fois que la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, eſt donnée, ou eſt regardée com-

Digitized by Google

invariable. Nous ſommes obligés de ſupoſer ici que le centre de gravité du Navire eſt préciſement dans le même point que le centre de gravité de ſa carène: puiſque nous ne ſçavons pas de quelle matiere doit être formée la charge ou le leſt. D'ailleurs il ſuffit que la peſanteur ſoit diſtribuée d'une maniere ſemblable dans les differentes figures qu'on compare actuellement, pour que cette ſupoſition n'induiſe jamais à erreur. Mais auſſi-tôt que la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, eſt invariable, ſans que les diverſes figures de la proüe y apportent de difference, la force qu'a le Navire pour ſoutenir la voile eſt conſtante, elle eſt égale ou proportionelle au produit de la peſanteur p par la quantité $\frac{\frac{1}{3}\int y^3 dx}{p}$ dont ſon centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre *, & ce produit ou ce moment eſt égal à $\frac{1}{3}\int y^3 dx$. Ainſi l'alteration qu'on feroit à la figure de la moindre réſiſtance, ſeroit non ſeulement inutile, elle ſeroit en pure perte. C'eſt ce qui ariveroit, par exemple, dans les Vaiſſeaux formés d'abord en parallelipedes rectangles, mais dont on termine enſuite la proüe par une ſeule ſurface inclinée en avant: car cette ſurface étant partout de même largeur, doit être parfaitement plane, afin d'éprouver de la part de l'eau la moindre réſiſtance; & il eſt évident que la convexité qu'on lui donneroit en la rendant courbe, n'ajouteroit rien au moment ou à la force relative $\frac{1}{3}\int y^3 dx$.

* Voyez l'art. 2. du Chap. 8. de la Sect. 2. du Liv. précédent.

Nous voyons par la même raiſon que la proüe de la figure 104 dont nous avons donné les dimenſions à la fin du premier Chapitre de cette Section, réunit les deux propriprietés, d'être de *la moindre réſiſtance* ou de *la moindre dérive*, & en même tems de *la plus grande viteſſe*: puiſqu'on perdroit du côté de la moindre réſiſtance, ſi on changeoit la courbure que nous avons trouvé qu'elle doit avoir dans le ſens vertical, & qu'on ne gagneroit rien ſur la quantité de voiles que le Navire peut ſoutenir. Mais ce ne ſera plus la même choſe, auſſi-tôt que la figure de la premiere tranche de la carène faite à fleur d'eau, dépendra de la conformation

conformation des autres parties de la proüe, comme cela arrive lorſqu'on s'aſſujetit à rendre la proüe exactement conoïdale : il eſt évident que les deux figures doivent être differentes dans ce cas. En renonçeant un peu à la premiere, lorſqu'on renfle la proüe, on donne néceſſairement plus de largeur vers l'avant, à la premiere tranche de la carène ; & auſſi-tôt que cette largeur eſt plus grande, la force relative ou la ſtabilité $\frac{2}{3}\int y^3 dx$ ſe trouve auſſi plus grande, & le Navire peut porter une plus grande quantité de voiles. C'eſt ce qui ſe vérifiera auſſi dans la Recherche que nous entreprenons actuellement de faire de la ſeconde de ces figures.

VI.

Nous travaillerons d'abord à découvrir les ſoutagentes de la courbe qui doit former le conoïde, en regardant la proüe comme un cone tronqué d'une baſe & d'une hauteur données, mais dont nous ferons varier la ſituation des côtés. Ce tronc de cone eſt repréſenté par BGIHDE (Fig. 106.) nous nommerons a ſa hauteur ou ſa ſaillie AC ; b le rayon CE ou CD de la baſe, & s la longueur entiere qu'auroit l'axe CF du cone, s'il n'étoit pas tronqué. Le rayon AI ou AH de la petite baſe, ſera $\frac{s-a\times b}{s} = \frac{FA\times CE}{FC}$; & ſi au lieu de chercher l'étenduë de cette petite baſe, nous prenons le quarré de ſon rayon qui lui eſt proportionel, nous aurons $\frac{s^2-2as+a^2\times b^2}{s^2}$ qu'il faut multiplier par le quarré du ſinus total (l'unité) pour avoir l'impulſion $\frac{s^2-2as+a^2\times b^2}{s^2}$ que ſouffre le petit plan GIH qui eſt frapé perpendiculairement. Nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence avec lequel l'eau frape la ſurface courbe du cone, en faiſant cette analogie ; $\sqrt{b^2+s^2}$ (= FE) eſt à l'unité priſe pour ſinus total, comme b (= CE) eſt au ſinus $\frac{b}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'angle EFC égal à l'angle d'incidence. Ce ſi-

Fig. 106.

Fig. 106. nus étant trouvé, il faut multiplier son quarré $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'étenduë de la surface conique projettée sur le plan BED; puisque nous voulons trouver l'expression de l'impulsion dans le sens perpendiculaire à ce plan; c'est-à-dire, qu'il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'excès du demi-cercle BED sur le demi-cercle GIH, ou mettant les quarrés des rayons CE & AI à la place des demi-cercles, il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par $\frac{2as-a^2}{s^2}\times b^2$; on aura $\frac{2ab^2s-a^2b^4}{b^2s^2+s^4}$ pour l'impulsion requise, & l'ajoutant à celle $\frac{s^2+2as+a^2}{s^2}\times b^2$ que reçoit le plan GIH, nous aurons $\frac{a^2b^2+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ pour l'impulsion que souffre la surface entiere du tronc du cone.

On trouvera avec aussi peu de peine la solidité de ce tronc & son moment par raport au métacentre qui est en quelque point de l'axe AC. Si l'on continuë à prendre les quarrés des rayons au lieu des demi-cercles & si on multiplie chacun de ces quarrés encore par le rayon, parce que le centre de gravité de chaque demi-cercle est toujours à une certaine partie de son rayon, & qu'il ne s'agit pas plus ici d'avoir le moment même qu'une quantité qui lui soit toujours proportionelle, on trouvera $ab^3-\frac{2a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{ab^3}{4s^3}$ pour le moment du solide dont il s'agit; & si nous désignons par M le moment de la poupe, nous aurons $M+ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{ab^3}{4s^3}$ pour le moment total du Vaisseau ou pour sa stabilité. Il est vrai que nous considérons le poids comme également distribué par tout, ou la carène entiere comme homogène: mais il nous seroit difficile de faire autrement, & d'avoir égard à la distribution particuliere de la charge, afin de distinguer le centre de gravité de la carène de celui de tout le Vaisseau. C'est par cette raison que nous avons recommandé si sou-

Digitized by Google

vent, & que nous le faisons encore ici, d'examiner toutes les parties en détail; d'avoir égard à la distribution particuliere de la charge, & de voir en mettant tout à l'épreuve du calcul, jusqu'à quel point le Navire possedera effectivement chaque proprieté. Enfin si nous faisons changer l'axe CF du cone entier, le moment changera de même que l'impulsion que reçoit la surface totale du tronc, & pour avoir l'un & l'autre changement, il n'y a qu'à différentier l'une & l'autre expression. La différentielle de l'impulsion $\frac{a^2b^3+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ est $\frac{2ab^2s^2ds-2a^2b^2sds-2ab^4ds}{\overline{b^2+s^2}^2}$, Fig. 106.

& celle du moment $M+ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ est $\frac{3a^2b^3ds}{2s^2}-\frac{2a^3b^3ds}{s^3}+\frac{3a^4b^3ds}{4s^4}$.

VII.

Mais on ne doit pas changer l'étenduë des voiles dans le même raport que change le moment de la pésanteur du Vaisseau: car la largeur des voiles doit rester la même tant qu'on ne touche point à la plus grande largeur BD de la carène: on ne peut faire varier que leur hauteur, & on ne doit la faire varier sensiblement que comme la racine quarrée du moment de la pésanteur; parce que comme nous l'avons déja vu ci-devant, l'étenduë des voiles variant selon cette racine quarrée & la hauteur du centre d'effort du vent variant aussi dans la même raison, il se trouve que le moment de l'effort du vent change en même raport que celui de la pésanteur du Navire; & de cette sorte l'équilibre entre ces deux forces n'est point alteré. Ainsi au lieu de comparer le moment $M+ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ à sa différentielle entiere, il ne faut le comparer qu'à la moitié $\frac{3a^2b^3ds}{4s^2}-\frac{a^3b^3ds}{s^3}+\frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$, pour avoir le raport selon lequel doit changer l'étenduë des voiles. Il est évident d'un

Digitized by Google

Fig. 106. autre côté que pour avoir le tronc du cone le plus avantageux pour former la proüe, nous n'avons qu'à nous arrêter à celui qui, lorſqu'on le change un peu, ou lorſqu'on fait varier la diſtance s à laquelle iroient ſe rencontrer les côtés, on ne fait pas plus augmenter la réſiſtance de l'eau qu'on ne peut augmenter l'étenduë des voiles. Car alors l'avantage ſera le même, ou ſa differentielle ſera nulle; & par conſequent l'avantage ſera un *maximum*. C'eſt-à-dire que nous n'avons qu'à faire cette analogie $\frac{a^2b^2+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ | $\frac{2ab^2s^2ds-2a^2b^2sds-2ab^4ds}{\overline{b^2+s^2}^2}$ || M + $ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ | $\frac{3a^2b^3ds}{4s^2}-\frac{a^3b^3ds}{s^3}+\frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$; ou cette autre qui eſt la même, $\overline{a^2+b^2-2as+s^2}\times\overline{b^2+s^2}$ | $2s^2-2as-2b^2$ || M + $ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ | $\frac{3ab^3}{4s^2}-\frac{a^3b^3}{s^3}+\frac{3a^3b^4}{8s^4}$; & que ſi nous la reduiſons en équation, nous n'aurons plus qu'à en tirer la valeur de s, & nous obtiendrons la proüe formée en tronc de cone; non pas celle qui reçoit la moindre impulſion poſſible de la part de l'eau, ou celle qui rend le Vaiſſeau plus propre à porter une plus grande quantité de voiles; mais celle qui concilie enſemble, autant qu'il ſe peut, ces deux divers avantages, & qui eſt par conſéquent préférable à toutes les autres, eu égard à la promptitude de la marche.

VIII.

L'équation dont nous venons de parler ne fait qu'indiquer le tronc de cone le plus avantageux: mais ſi après avoir cherché la valeur de s pour la baſe BED & pour la faillie CA, nous la cherchons pour la baſe bed, & la faillie cA; ou ſi nous perfectionnons les troncs des cones de plus en plus, à-peu-près comme nous l'avons fait dans le ſecond article du Chapitre II. nous pourrons regarder s comme la ſoutagente de la ligne courbe qui doit former le conoïde le plus avantageux, & il ne nous reſtera donc

Digitized by Google

plus pour résoudre entierement le Problême, qu'à avoir recours à la méthode inverse des tangentes; après avoir mis x à la place de a qui marque les parties AC, ou Ac de l'axe; y à la place de b qui marque les ordonnées CD ou Cd, & $\frac{ydx}{dy}$ à la place de s. Supposé qu'on regarde le moment M comme infini, tous les termes de l'équation qui ne seront pas multipliés par M deviendront comme nuls; l'équation se réduira à $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = 0$, ou à $s^2 = as + b^2$, & la revêtissant des expressions variables que nous venons de spécifier, nous la changerons en $\frac{y^2dx^2}{dy^2} = \frac{xydx}{dy} + y^2$, ou en $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$ qui étant la même que celle que nous avons trouvée dans le Chapitre que nous venons de citer, confirme ce que nous avons dit vers le commencement de celui-ci. Si on veut trouver l'autre conoïde qui sert de limite à la plus grande courbure de la proüe; mais une limite assez éloignée, principalement vers le sommet, il n'y aura qu'à supposer $M = o$. On trouvera une équation dans laquelle les dx & les dy multipliées ensemble s'éleveront jusqu'à la sixiéme puissance: mais comme les z & les y s'éleveront aussi conjointement dans tous les termes au même degré, il sera toujours facile, avec un peu de travail, de séparer les variables, & de résoudre l'équation, en employant la quadrature des courbes, supposée connuë. Fig. 106.

IX.

Dans les cas ordinaires & actuels le moment M ne sera ni infiniment grand ni infiniment petit; & il doit nécessairement contenir une partie constante. Tout ce qu'on peut faire de mieux, ce me semble vû les circonstances, c'est de supposer que M au lieu de désigner le seul moment de la poupe, indique celui du Vaisseau entier; c'est-à-dire celui de la poupe & de la proüe jointes ensemble, ou la stabilité totale. On sera toujours en droit de traiter M comme constante; & alors la proportion établie ci-devant se réduira à $\overline{a^2 + b^2 - 2as + s^2} \times \overline{b^2 + s^2} \mid 2s^2 - 2as$

Fig. 106. $-2b^2 \parallel M \mid \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a^2b^3}{s^3} + \frac{3a^3b^3}{8s^4}$; & on aura l'équation $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{1}{4}a^2b^3s^2 - \frac{1}{2}a^3b^3s + \frac{3}{8}a^4b^3 + \frac{1}{2}a^2b^5 - \frac{7a^3b^5}{2s} - \frac{7a^5b^3}{4s} + \frac{3a^7b^7}{4s^2} + \frac{7a^5b^5}{2s^2} + \frac{3a^6b^3}{8s^2} - \frac{7a^5b^5}{4s^3} - \frac{a^3b^7}{s^3} + \frac{3a^4b^7}{8s^4} + \frac{3a^6b^5}{8s^4}$ qui se change en $2My^2dx^6 - 2Mxydydx^5 - 2My^2dy^2dx^4 = \frac{1}{4}x^2y^4dx^6 - \frac{5}{2}x^3y^3dydx^5 + \frac{3}{8}x^4y^2dy^2dx^4 + \frac{3}{2}x^2y^4dy^2dx^4 - \frac{7}{2}x^3y^3dy^3dx^3 - \frac{7}{4}x^5ydy^3dx^3 + \frac{3}{4}x^2y^4dy^4dx^2 + \frac{7}{2}x^4y^2dx^2dy^4 + \frac{1}{6}x^6dy^4dx^2 - \frac{7}{4}x^6ydy^5dx - x^3y^3dy^5dx + \frac{1}{8}x^4y^2dy^6 + \frac{1}{8}x^6dy^6$. Mais on voit assez que c'est là une équation à resoudre par les séries ou par quelqu'autre espece d'aproximation.

X.

Aussi-tôt qu'on est obligé de prendre ce parti, on sçait ce qu'il faut faire, & on est toujours sur du succès. Cependant j'avouerai ingenument qu'avant de vouloir me livrer à ce travail aussi long que rebutant, j'ai cru qu'il étoit à propos de voir s'il ne m'étoit pas permis de m'en dispenser. Je me suis arrêté à l'équation $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{1}{4}a^2b^3s^2 -$ &c. qui n'appartient encore qu'au simple tronc de cone le plus avantageux & qui nous apprend la longueur s des soutangentes de la courbe qui forme le conoïde. J'ai supposé le moment M le moindre que j'ai pû, vû les dimensions que doit avoir le Vaisseau, afin de rendre la courbure de la proüe encore plus considerable; & malgré cela, si j'ai trouvé comme je le devois, la soutangente s plus grande que dans le conoïde qui éprouve la moindre résistance, j'ai toujours trouvé la différence assez petite, pour qu'on pût n'y avoir que peu d'égard dans la pratique. Ainsi quoi qu'il soit vrai que ce ne soit pas la proüe conoïdale qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu, qui fasse singler le Navire avec la plus grande viteſſe possible, parce qu'en donnant un peu plus de courbure ou de convexité au conoïde, sa plus grande pésanteur & la plus grande largeur font que le Vaisseau sou-

Digitized by Google

tient enſuite mieux la voile, & que l'impulſion du vent ſe trouve plus augmentée à proportion que la réſiſtance de l'eau; il y a cependant ſi peu de différence entre les deux figures, qu'on ne doit preſque jamais faire difficulté de ſe ſervir de l'une à la place de l'autre. Fig. 106.

Les Lecteurs ſans s'engager dans un calcul trop long, peuvent ſe convaincre de la vérité de ce que nous avançons ici. Supoſé que la demie largeur du Navire ſoit repreſentée par 1 pendant que la longueur de la proüe le ſoit par 3; ſi on cherche par la conſtruction de M. Newton; à quelle diſtance CF les côtés du tronc de cone, doivent aller ſe rencontrer pour que le tronc reçoive la moindre impulſion poſſible, on trouvera que CF eſt à très-peu près de $3\frac{1}{10}$; & c'eſt donc là pour le point où l'ordonnée eſt 1 & l'abſciſſe 3, la longueur de la ſoutangente du conoïde que nous regardons comme celui de la moindre réſiſtance. Mais ſi on fait entrer maintenant la conſidération du moment M de la peſanteur du Navire & qu'on le ſupoſe $=\frac{1}{2}$, on verra par notre équation que la ſoutangente s du nouveau conoïde, ſera effectivement plus grande que $3\frac{3}{10}$, mais qu'elle ſera conſiderablement moindre que $3\frac{1}{2}$. Il ſera facile d'en déterminer la juſte valeur, & d'en chercher d'autres, ſi on le veut, pour d'autres ſupoſitions d'abſciſſes & d'ordonnées.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Détermination de la figure de la proüe de la plus grande viteſſe, lors qu'elle eſt terminée par un ſimple trait horiſontal.

I.

INDÉPENDAMMENT des tentatives que nous venons de nous permettre, il n'eſt pas difficile de réſoudre dans toute ſa complication, le Problême qui nous occupe. Cependant nous nous contenterons d'inſiſter ſur le cas le plus ſimple, en ſupoſant que la proüe BAB (Fig. 118.) eſt terminée par un ſeul trait horiſontal dont les deux parties AB, AB ſont parfaitement égales de part & d'autre de l'axe AC; ou ſi on veut que cette proüe ſoit terminée par une ſurface, nous ſupoſerons que c'eſt par une ſurface verticale de même hauteur élevée perpendiculairement ſur le plan de la courbe BAB. La figure qui fend l'eau avec le plus de facilité étant dans ce cas particulier terminée par deux lignes droites ou deux plans AB, AB qui ſont un angle en A, nous jugerons plus aiſément de l'effet que produira la condition que nous ajoutons actuellement; puiſqu'il faudra lui attribuer toute la courbure que prendront les deux côtés. Nommant x les parties variables AE, AG de l'axe AC, & y les ordonnées correſpondantes ED & GF, &c. on aura dx pour les parties infiniment petites de l'axe, & dy pour les différentielles des ordonnées; & ſi un fluide vient rencontrer la courbe parallelement à l'axe, l'impulſion directe ſur la petite partie DH ou HF de la courbe, ſera exprimée par $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$ conformement à ce que nous avons vû dans le Chapitre IV. de la premiere Section; avec cette ſeule différence que nous ſupoſions alors que le ſinus total étoit déſigné par n, au lieu que nous le repréſentons

Fig. 118.

repréſentons actuellement par l'unité. L'expreſſion $\frac{dy^3}{dy+dx^2}$ Fig. 118. convient à l'une ou à l'autre petite partie, ſelon que dx & dy repréſentent DI & IH, ou HL & LF : & ſi nous ſuppoſons que les deux petits côtés DH & HF changent de ſituation, & prennent la diſpoſition DhF, en faiſant changer dx de la petite quantité H$h = ddx$, & en rendant les dy, HI, ou LF invariables ; l'impulſion ſur une des petites parties de la courbe deviendra plus grande, en même tems qu'elle deviendra plus petite ſur l'autre ; & le changement ſur chacune ſera deſigné par $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$ qui ſe trouve en différentiant $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$. Mais puiſqu'un de ces changemens ſe fait en plus, & l'autre eſt moins, le changement total que ſouffre l'impulſion à laquelle ſont ſujettes les deux parties DH, HF conjointement, ſera repréſenté par $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$, expreſſion dans l'un des termes de laquelle la différentielle dx déſigne DI, pendant que dans l'autre elle déſigne HL.

II.

En même tems que ce changement ſe fera dans l'impulſion, il s'en fera un auſſi dans le moment de la peſanteur de la carène ou dans la force qu'a le Navire pour porter la voile. Ce moment que nous nommerons M, comme dans le Chapitre précédent, eſt le produit de la peſanteur totale p du Navire par la quantité dont ſon centre de gravité, que nous confondons ici toujours avec le centre de gravité de la carène, eſt au-deſſous du métacentre ; & ſera donc $= \frac{2}{3}\int y^3 dx$. Cela ſupoſé, ſi nous prolongeons les ordonnées ED, KH, &c. juſqu'aux points M, N, &c. de maniere que les lignes EM, KN, &c. repréſentent les cubes des ordonnées, nous formerons une nouvelle courbe AMP, dont les aires comme AEM,

Fig. 118. AGP, &c. repréſenteront les intégrales $\int y^3 dx$, & il ſuffira par conſéquent de prendre les deux tiers de ces aires, pour avoir les momens particuliers des différentes portions correſpondantes du Navire, leſquels forment tous enſemble le moment ou la ſtabilité M. Mais lorſqu'on change la diſpoſition des deux petits côtés DH, HF de la proüe & qu'on les place en DhF, la courbe AP des momens change auſſi de diſpoſition; & les petits côtés MN, NP ſe plaçant en MnP, le moment de la peſanteur du Vaiſſeau augmente, non pas des deux petits triangles MNn, NPn, mais des deux tiers de leur aire; puiſque ce ne ſont que les deux tiers de l'aire entiere que renferme la courbe AMP, qui repréſentent le moment total. L'étenduë des deux petits triangles eſt égale à $3y^2dy \times ddx$ produit de N$n = ddx$ qui leur ſert de baſe, par la hauteur NO ou PQ, qui eſt égale à $3y^2dy$. Ainſi lorſqu'on change la diſpoſition des deux petits côtés DH, HF de la proüe, le moment total M de la peſanteur du Navire augmente de la petite quantité $2y^2dyddx$, qui eſt les deux tiers de l'étenduë $3y^2dyddx$ des deux petits triangles NMn, NPn; & ce changement ſe fait en même tems que celui $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$ ſur l'impulſion totale que ſouffre la proüe. Il faut après cela faire attention que le premier de ces changemens n'influë pas immédiatement ſur le ſillage comme le ſecond; puiſque la petite étenduë qu'on peut donner de plus à la ſurface des voiles en conſéquence de la plus grande force qu'a le Navire pour ſoutenir l'effort du vent, ne repond pas au changement $2y^2dyddx$ de la ſtabilité M, mais ſeulement à ſa moitié y^2dyddx, comme nous l'avons marqué dans l'autre Chapitre. Or il ſuit de là que les deux différentes diſpoſitions ou DHF ou DhF des deux petits côtés conſécutifs DH, & HF de la courbe, ſeront parfaitement équivalentes, auſſi-tôt que le raport de $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$ à l'impulſion totale de l'eau ſur la proüe que nous nomme-

rons I, sera exactement le même que celui de y^2dyddx au moment total M. Il n'importe en effet que dans la seconde disposition D*h*F, l'impulsion ou la résistance I de l'eau soit plus grande de la petite quantité $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$ — &c. puisque l'effet qu'elle pourra produire sur le sillage, sera détruit sur le champ par la plus grande quantité de voiles que pourra porter le Navire, laquelle sera augmentée dans le raport de M à y^2dyddx. Mais lorsque les deux dispositions DHF & D*h*F sont équivalentes, ou que l'une n'a aucun avantage sur l'autre, la différentielle de l'avantage est alors nulle, & on a par conséquent atteint le terme du *maximum* qu'on se proposoit d'obtenir. Fig. 118.

III.

Ainsi tout consiste à introduire dans tout le cours de la courbe cette proportion; $M \mid y^2dyddx \mid\mid I \mid \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$, ou à rendre $\frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}$ continuellement égale à $\frac{Iy^2dyddx}{M}$; ou ce qui revient au même, à faire $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2} - \frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2} = \frac{Iy^2dy}{M}$; car ddx est exactement la même dans les deux quantités. Pour le dire encore en d'autres termes, il faut que $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2}$ qui appartient à chaque petit côté de la courbe, surpasse toujours la quantité $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2}$ qui apartient au petit côté suivant, d'une quantité $\frac{Iy^2dy}{M}$. Mais cet excès des quantités $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2}$ les unes sur les autres, est à proprement parler leur différentielle; & puisque la différentielle de $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2}$ doit être

Fig. 118. égale dans tous les points de la courbe à $\frac{Iy^2 dy}{M}$, il faut que cette quantité même $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2}$ soit continuellement égale à $\frac{Iy^3}{3M}$ qui est l'intégrale de $\frac{Iy^2 dy}{M}$, ou à $c-\frac{Iy^3}{3M}$, lorsque c est une quantité indéterminée constante. C'est-à-dire donc, que nous aurons $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2} = \frac{Iy^3}{3M}$, ou $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2} = c-\frac{Iy^3}{3M}$ pour l'équation constitutive du Problême, ou pour l'équation en premieres différences de la courbe qui a la proprieté avec ses diverses parties, de recevoir la moindre impulsion possible de la part du milieu dans lequel elle se meut, & de donner en même tems le plus de force au Navire pour porter la voile. La quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2}$ va en augmentant, lorsque dx étant d'abord nulle, croît jusqu'à parvenir à une certaine grandeur : c'est pourquoi on peut supposer $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2} = \frac{Iy^3}{3M}$, ce qui donne une courbe, qui partant de son sommet A perpendiculairement à l'axe, devient ensuite oblique, mais n'a qu'un cours très-limité. Mais lors qu'on fait croître davantage dx, la quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2}$ qui étoit à son *maximum*, va en diminuant, & c'est alors qu'on a l'équation $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2} = c-\frac{I}{3M}\,y^3$ à laquelle nous nous arrêtons.

IV.

Il n'est donc plus question que de resoudre cette équation $\frac{2dy^3 dx}{dy^2+dx^2} = c-\frac{Iy^3}{3M}$; & nous y réussirons en employant l'expédient auquel nous avons déja eu recours plusieurs

fois. Prenant une quantité conſtante a, & une nouvelle variable z qui ſoit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$, nous introduirons cette valeur de dx dans l'équation ; ce qui nous la changera en $\frac{2zdy^4}{a} = cdy^4 \times \sqrt{1 + \frac{z^2}{a^2}} - \frac{Iy^3}{3M} \times \sqrt{1 + \frac{z^2}{a^2}}$, dont on tire déja $\frac{I}{3M} \times y^3 = c - \frac{2a^3z}{\sqrt{a^2+z^2}}$ & $y = \sqrt[3]{\frac{3M}{I} \times c - \frac{2a^3z^2}{a^2+z^2}}$. Je différentie cette derniere équation, & j'ai $dy = \sqrt[3]{\frac{3M}{I}} \times \frac{2a^3z^2dz - \frac{1}{2}a^5dz}{\sqrt[3]{a^2+z^2} \times c \times \sqrt{a^2+z^2} - 2a^3z}$ qui m'aprend, lorſque je ſupoſe $\frac{2a^3z^2dz - \frac{1}{2}a^5dz}{\sqrt[3]{a^2+z^2} \times c \times \sqrt{a^2+z^2} - 2a^3z} = 0$, qu'on a la moindre valeur de y, auſſi-tôt que $3z^2 = a^2$ ou que $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; & c'eſt préciſément dans cette circonſtance que la quantité $\frac{2dy^3dx}{dy^2+dx^2}$ eſt un *maximum*. Mais enfin, introduiſant la valeur de dy dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = \sqrt[3]{\frac{3M}{I}} \times \frac{2a^2z^3dz - \frac{1}{2}a^4zdz}{\sqrt[3]{a^2+z^2} \times c \times \sqrt{a^2+z^2} - 2a^3z}$. Ainſi nous avons la relation de y & de x à une troiſiéme grandeur z, & le Problême eſt entierement reſolu.

Fig. 118.

V.

On trouvera dans la Table ci-jointe, non-ſeulement les dimenſions de la courbe entiere ARB, mais auſſi celle de trois courbes partiales comme RB (Fig. 119.) qui au lieu de commencer au point A où $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$, commencent dans le point R où z eſt égale ou à $2a$, ou à $3a$, ou à $4a$. Ces courbes partiales ſont diſtinctes de la totale ou en ſont d'autres eſpeces : car elles ne ſont pas ſemblables aux parties de la totale ; & la proprieté qu'elles ont ne ſubſiſte auſſi que par raport à leur axe particulier RS. On ſe ſervira de ces courbes partiales lorſqu'on voudra rendre la

Digitized by Google

Fig. 117. & 119. proüe plus aiguë; car la premiere courbe AB forme avec ſon axe en A un angle de 60 degrés; ce qui rend de 120 degrés l'angle de l'extremité de la proüe, & outre cela elle renferme un eſpace qui eſt très-large par raport à ſa longueur; puiſque ſa plus grande ordonnée BC eſt à ſa plus grande abſciſſe AC à peu près comme 866 eſt à 1014. J'ai calculé les dimenſions de toutes ces courbes en 1000mes parties de l'unité, après avoir ſupoſé $a = 1$; & j'ai joint auſſi les valeurs des intégrales $\int \frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$ & $\frac{1}{2}\int y^3 dx$, la premiere deſquelles marque l'impulſion I à laquelle chaque partie ſenſible de la courbe eſt ſujette à commencer aux points A ou R qui leur ſervent de ſommet, & la ſeconde marque le moment ou la ſtabilité particuliere dont eſt capable en même tems l'eſpace ou la ſolidité de la carène qui répond à cette partie. Ce ſont ces quantités, comme nous le montrerons plus bas, qui avec la longueur & la plus grande largeur qu'on veut donner à la proüe, reglent le choix qu'on doit faire ou entre les lignes courbes, ou entre leurs diverſes parties; leur propriété étant principalement attachée au raport qu'il y a entre M & I.

Ces lignes courbes au ſurplus peuvent non-ſeulement ſervir à former les deux flancs de la proüe, lorſque la baſe qu'il s'agit de garantir du choc eſt un rectangle; mais auſſi lorſque cette baſe a pluſieurs autres formes; lorſqu'elle ſera faite, par exemple, en trapeze, comme nous avons trouvé qu'elle devroit l'être. Au lieu que les deux flancs ABVO & EDVP de la figure 115 étoient formés par des plans, lorſque nous voulions donner à la proüe une des figures qui éprouvent le moins de réſiſtance de la part de l'eau, il faudroit leur faire imiter dans leur courbure une de nos lignes courbes, & on fermeroit l'ouverture triangulaire OVP en la couvrant d'un eſpece de conoïde OVZP dont il eſt aiſé de trouver la figure. La méthode que nous venons de ſuivre, laquelle ſeroit propre à réſoudre des difficultés incomparablement plus grandes,

Digitized by Google

donne la formule $y = \sqrt{\frac{6M}{\Gamma}} \times \frac{a^{\frac{3}{2}} z}{a^2 + z^2}$ pour les ordonnées Fig. 118. & 119.

du conoïde dont il s'agit, & $x = \sqrt{\frac{6M}{\Gamma}} \int \frac{\frac{5}{14} a^{\frac{5}{2}} z^{\frac{1}{2}} dz - \frac{1}{14} a^{\frac{1}{2}} z^{\frac{5}{2}} dz}{a^2 + z^2}$

pour les abscisses ou parties de l'axe à commencer au sommet Z. Ce n'est pas sans raison que nous parlons avantageusement de la méthode que nous venons d'employer: elle donnera sans peine la solution de la plûpart de ces Problêmes fameux qui ont si fort occupé les Mathématiciens sur les isopérimétres, & sur d'autres sujets où il s'agissoit de *maximum* ou de *minimum* qu'on compliquoit avec d'autres conditions.

TABLE

Des dimensions des prouës curvilignes de la plus grande viteſſe.

Premiere Figure.				Seconde Figure.				Troiſiéme Figure.				Quatriéme Figure.			
Abſciſſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	203	146	0	356	169	31	0	200	65	7	0	125	31	2	0
399	531	333	9	712	335	61	4	400	129	13	0	250	62	4	0
627	714	406	46	871	402	71	10	703	225	23	1	500	122	7	0
758	788	425	83	1042	464	78	19	861	272	27	3	671	163	9	$\frac{1}{2}$
884	838	432	128	1136	493	81	26	1035	318	30	6	827	198	10	1
936	853	433	149	1200	510	82	31	1100	338	31	8	900	214	11	2
963	859	433	182	1272	526	84	38	1205	356	32	10	999	234	12	2
977	862	433	188	1310	513	84	42	1288	371	32	13	1174	266	14	4
987	863	433	193	1330	536	84	44	1333	379	33	14	1267	281	14	5
1001	865	433	199	1365	541	84	47	1401	387	33	17	1380	295	14	7
1014	866	433	204	1399	543	84	51	1466	391	33	19	1490	302	14	9

On doit enfin remarquer que puiſque le raport $\sqrt{\frac{9M}{\Gamma}}$ multiplie également la valeur des abſciſſes & des ordon-

Digitized by Google

Fig. 118. & 119. nées de nos lignes courbes, il doit les faire augmenter ou diminuer, selon qu'il est plus ou moins grand; & qu'il sert par conséquent comme de parametre. Mais si les lignes courbes sont tracées dans la supposition de $\sqrt[3]{\frac{3M}{I}} = 1$, supposition pour laquelle on a construit la Table, on aura $3M = I$ ou $M = \frac{1}{3}I$; ce qui nous apprend que le moment non pas particulier de la proüe, mais le moment total M de la pesanteur du Navire, doit être égal au tiers de l'impulsion I; & après cela il est très-facile de distinguer les diverses parties des courbes qu'on doit employer. Comme nous n'avons restraint le moment total M à aucune grandeur particuliere, nous avons donné au Problême une généralité dont il ne jouit pas réellement; & cela est cause que les courbes prises dans toute leur étenduë ne sont pas applicables aux cas ordinaires & actuels. Elles ne servent dans toute leur longueur, ou ce qui revient au même, on ne doit donner toute leur courbure aux flancs de la proüe, que lorsque le moment total M du Vaisseau est très-petit & dans la supposition impossible qu'il est moindre que le moment particulier de la proüe: l'impulsion, par exemple, que souffre la premiere courbe entiere, étant exprimée par 433, le moment total M de la pesanteur du Navire le doit être par $144\frac{1}{3}$; au lieu que le moment particulier de la proüe seule est 204. Mais si on employe les seules parties comme AR (Fig. 118.) ou RT (Fig. 119.) le moment particulier de la proüe qui diminuë beaucoup plus subitement que l'impulsion, se trouvera bien-tôt très-petit par raport à cette impulsion; & il n'impliquera plus contradiction que le moment M de la pesanteur totale en soit le tiers. C'est sans doute un cas trop extrême pour qu'il soit jamais admis, que le Vaisseau soit réduit à la seule partie antérieure de sa carène sans avoir de poupe. Alors les momens marqués dans la Table seroient les stabilités mêmes M du Navire; & on reconnoîtroit donc la partie des lignes courbes qu'il faudroit employer, en choisissant celles pour lesquelles ce moment est le tiers de l'impulsion.

Digitized by Google

pulsion. Telle est à peu près la partie de la premiere courbe qui a 936 pour abscisses & 853 pour ordonnée; telle est aussi à peu près la partie de la seconde courbe qui a 1136 pour abscisse & 493 pour ordonnée, &c. Les deux flancs se trouveroient déja n'avoir que très-peu de courbure, & l'arrête dont nous avons parlé plusieurs fois qui doit distinguer la proüe de la poupe & qui paroissoit comme détruite par la partie des lignes courbes qui est parallele en B à l'axe, commenceroit à se reproduire en R ou en T. Mais qu'on considere les Vaisseaux dans leur état actuel, le moment total M du Navire RTXT (Fig. 119.) sera au moins double de celui de la proüe; & puisque ce moment total ne doit être toujours que le tiers de l'impulsion I, le moment particulier de la proüe que marque la Table, n'en sera au plus que la sixiéme partie. Ainsi il faudra prendre pour modele de la partie antérieure de la carène, des portions beaucoup plus petites RT de nos lignes courbes, & qui approcheront encore plus d'être droites. Ce n'est gueres que dans la derniere courbe de la Table qu'on peut chercher ces modeles; parce que les autres rendroient la proüe trop obtuse; on peut emprunter par exemple la partie qui a son abscisse RV de 999 & sa plus grande demie largeur VT de 234. Mais il est certain que si les flancs conservent encore après cela quelque courbure, on sera très en droit de la négliger: car elle ne sera pas de la cent cinquantiéme partie de la longueur des côtés RT. Nouvelle confirmation que la figure de la proüe *de la plus grande viteſſe*, ne differe toujours que très-peu de la figure *de la moindre réſiſtance*. Fig. 118. & 119.

VII.

C'est ce qui résulte de la solution géométrique du Problême & ce qui se concilie avec le physique sur lequel nous avons insisté dans le Chapitre précédent, que plus la pésanteur totale du Vaisseau est grande par raport à celle de la partie antérieure de la carène, moins il y a d'effet à atten-

Digitized by Google

dre sur la force du Navire pour porter la voile, lorsqu'on fait quelque léger renflement à cette partie, & qu'il y a donc moins d'utilité à alterer la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Le renflement de la carène par l'avant, quoique léger, fait augmenter la réſiſtance & nuit immédiatement à la promptitude du ſillage: au lieu que ſi l'augmentation produite en même tems dans la ſolidité, eſt conſiderable par raport à la proüe, elle l'eſt environ deux fois moins par raport à tout le Navire; & il n'eſt outre cela encore permis d'augmenter la hauteur des voiles que d'une quantité deux fois plus petite à proportion que n'a augmenté la ſtabilité. Ainſi il n'eſt pas étonnant que la convexité des deux flancs aide moins au ſillage par ce ſecond chef qu'elle n'y nuit par l'autre, & c'eſt par cette raiſon qu'on peut toujours dans la pratique donner à la proüe la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Au reſte nous devons nous applaudir de n'être point obligés de renoncer à cette derniere figure. Il eſt vrai qu'il n'y auroit rien à perdre du côté du ſillage, & ce ſeroit tout le contraire ſi on ſe ſervoit de l'autre, & que la différence fut conſiderable; mais il y auroit une vraie perte, & qui ſeroit irréparable ſur la proprieté que doit avoir le Vaiſſeau de *pincer* le vent. On ſe ſouvient que l'impulſion latérale, ſelon le ſens perpendiculaire à la quille, devient néceſſairement plus petite auſſi-tôt que l'impulſion dans le ſens direct eſt plus grande; or le Navire moins ſoutenu contre l'effort du vent dans les routes obliques dériveroit alors davantage*. Qu'on donne au contraire à la proüe la figure qui reçoit la moindre impulſion de la part de l'eau dans le ſens de l'axe, l'impulſion relative, ſelon la détermination latérale, deviendra un *plus grand* dans les routes obliques; une proprieté apporte néceſſairement l'autre comme nous l'avons montré, & la dérive deviendra un *minimum*.

* Voyez la fin du Chap. 8. de la 1re. Section de ce 3e. Livre.

Tout nous invite donc à préférer cette premiere forme dans l'Architecture navale; non pas préciſément parce qu'elle eſt la figure *de la moindre réſiſtance*, puiſque cette proprieté eſt abſolument inutile, auſſi-tôt qu'elle ne procure

pas par elle-même la promptitude de la navigation; mais parce qu'elle eſt la figure *de la moindre dérive*. Nous ſerons enſuite ſûrs que le Navire ſuivra le plus qu'il ſera poſſible dans ſon mouvement la direction de ſon axe, ſans que cette bonne qualité que nous euſſions achetée volontiers par la perte d'une partie conſiderable de la promptitude du ſillage, cauſe quelque préjudice ſenſible aux autres avantages eſſentiels qu'on ſe propoſe dans la Marine. Nous ne devons pas diſſimuler que cette figure nous jette dans quelque inconvenient: elle ne nous donne pas toujours aſſez de champ pour diſpoſer avec commodité les voiles dans les routes obliques; parce qu'elle peut nous obliger de mettre ces voiles à trop peu de diſtance de l'extremité de la proüe; ce qui ſera cauſe qu'on ne pourra quelquefois profiter que difficilement de toute la force qu'a le Navire pour les ſoutenir. On ne doit cependant pas juger de la difficulté par la forme étroite que prend ici la proüe: car il n'eſt toujours queſtion dans les Recherches préſentes que de la ſeule figure de la partie qui entre dans l'eau; & rien n'empêche d'élargir conſiderablement la partie qui eſt hors de l'eau, pourvû qu'on ſoit attentif à en diminuer le poids, en même tems qu'on diminuë le plus qu'il eſt poſſible la ſurface qu'elle offre au vent.

Il nous reſte pour ne rien laiſſer d'indécis dans la conſtruction des Navires deſtinés à bien marcher, de marquer la figure de la poupe. Si cette derniere partie ne contribuë pas tant que celle de l'avant à la rapidité du ſillage, il eſt cependant certain qu'elle y contribuë. C'eſt pourquoi nous ne pouvons pas nous diſpenſer de l'examiner avec quelque ſoin, quoi qu'il ne ſoit pas néceſſaire de nous livrer à une diſcuſſion auſſi longue que la précédente.

CHAPITRE VII.

De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carène lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal, & de la maniere de s'en servir pour former des Frégates.

I.

S'IL ne s'agissoit lorsqu'on forme la poupe que de travailler à augmenter la facilité que doit avoir l'eau à venir frapper le gouvernail, on ne seroit point assujetti à donner à la carène du côté de l'arriere une forme trop précise; car elles seroient presque toutes également bonnes. Mais à mesure que le Navire quitte une place, l'eau qui est derriere & qui est pressée par le poids de toute celle qui est au-dessus, tend en exerçant son ressort, à passer dans cette place; & si en donnant une certaine figure à la poupe, on peut faire ensorte que l'eau ait plus de disposition, pour suivre ce mouvement ou cette tendance, il n'y a point de doute qu'on ne doive la préférer. L'eau en venant occuper avec viteſſe le vuide que le Navire laisse derriere lui, peut s'y rendre avec assez de promptitude pour choquer la poupe; & si ce choc ne contribue pas extrêmement à faire augmenter la rapidité du sillage, il sert au moins toujours à détruire une partie de la résistance que souffre l'avant du Navire par la rencontre de l'eau.

La pousſée de l'eau, cette force dont nous nous sommes occupés si long-tems dans le Livre précédent, ne travaille pas plus à faire avancer le Vaisseau d'un côté que de l'autre, de l'avant que de l'arriere, pourvû que le Vaisseau soit de lui-même dans un parfait repos. Mais ce ne doit plus être la même chose aussi-tôt que le Navire se meut; la pousſée ceſſe en partie du côté de l'arriere, puisque le

Navire en fuyant, pour ainſi dire, ſe ſouſtrait à l'action de l'eau qui s'appuyoit contre ſa poupe, au lieu que c'eſt tout le contraire du côté de l'avant; car la pouſſée de l'eau à laquelle eſt ſujette la partie antérieure, doit ſe joindre au choc même de l'eau, qui naît du mouvement du ſillage. Il eſt donc évident que ſi on ne veut pas regarder toute la pouſſée de l'eau du côté de la proüe comme un obſtacle à la viteſſe du Navire, il faut faire en ſorte que l'action de l'eau ſur la poupe ſoit un *maximum*, afin qu'elle tienne lieu le plus qu'il ſe pourra de la pouſſée même qu'éprouvoit la poupe, lorſque le Navire étoit dans un parfait repos. Il ſeroit facile de ſe jetter ici dans une Phyſique très-conteſtable: le ſujet eſt tel, qu'il demanderoit, comme on l'a dit au commencement de ce troiſiéme Livre, à être éclairci par des expériences faites avec autant d'adreſſe que de ſoin; afin de décompoſer, pour ainſi dire, la difficulté & d'examiner chaque circonſtance à part. Cependant on peut aſſurer que ſi la carène étoit terminée par un ſeul trait horiſontal, il ſuffiroit toujours de la former du côté de la poupe par des lignes droites; & cela indépendamment de la loi ſelon laquelle ſe fait l'action de l'eau.

II.

Il eſt facile de reconnoître cette proprieté de la ligne droite qui reparoît encore ici, & qui peut donc ſervir à former la poupe, comme on a vu ci-devant qu'elle pouvoit former la proüe. C'eſt ce qu'on va découvrir par une ſuite de reflexions qui peuvent ſervir dans une infinité d'autres rencontres, & par le moyen deſquelles on réſoudra quelquefois ſans peine & d'une premiere vuë pluſieurs Problêmes qui paroîtroient d'ailleurs très-difficiles. Imaginons-nous que TXT (Fig. 119.) eſt la poupe dont VX eſt l'axe, & X l'extrémité, & repréſentons par la parallele Yy à l'axe la viteſſe du Navire, ou celle avec laquelle la poupe en avançant de *x* vers X, & de *y* vers Y &c. ſe ſouſtrait à l'action de l'eau qui eſt derriere. Fig. 119.

Digitized by Google

Fig. 119. On voit assez qu'il se fait une décomposition de cette vitesse; & si on forme par des paralleles & des perpendiculaires à la partie Yd du circuit de la poupe, le rectangle $ZYWy$ qui ait la vitesse absoluë Yy pour diagonale, il est clair que quoique la poupe se meuve de la quantité xX ou yY, la petite partie Yd n'évite l'action de l'eau qu'avec la seule partie de vitesse YZ ou Wy, qui est plus ou moins grande selon que la partie Yd est située plus ou moins obliquement. Tous les points de la poupe qui passe de txy en TXY, parcourent des lignes paralleles xX, yY &c. mais l'eau comprimée avec force dans tous les sens, chargée qu'elle est par le poids de celle qui est au-dessus, doit, pour aller remplir le vuide de $TxxTX$, avancer tout-à-coup du côté que la compression cesse ou diminue. Ainsi elle ne doit pas avancer selon yY pour aller frapper la poupe en Y, mais selon ZY; & pour sçavoir par conséquent la vitesse relative avec laquelle se fait le choc, il suffit de retrancher de la vitesse absoluë que la compression procure à l'eau, la partie ZY que le sillage rend inutile. La situation oblique de la partie Yd est de cette sorte extrêmement avantageuse; elle est cause que la rapidité de la marche ne fait pas diminuer d'une si grande quantité la vitesse avec laquelle l'eau vient choquer la poupe: au lieu que si la partie Yd étoit placée en $Y\Delta$, ou que la poupe fut terminée par une droite perpendiculaire à l'axe VX, toute la vitesse yY du Navire seroit à retrancher de celle de l'eau, qu'elle absorberoit, peut-être, entiere; & il arriveroit que l'eau ne chocquant du tout point la poupe, n'aideroit en rien.

Puisque le triangle YWy est semblable au petit $Y\Delta d$, on peut faire cette proportion, $Yd \mid Y\Delta \parallel yY \mid Wy$; & si on nomme b la vitesse yY du Navire, on aura par conséquent $\frac{Y\Delta}{Yd} \times b$ pour la vitesse partiale Wy qu'il faut soustraire de la vitesse absoluë de l'eau. A l'égard de cette autre vitesse, elle dépend de la compression que cause le poids de l'eau supérieure; elle doit être la même pour toutes les molé-

Digitized by Google

cules qui ſont à une égale profondeur, & on peut donc l'exprimer par une conſtante c dans le cas que nous examinons actuellement. C'eſt-à-dire, que la viteſſe relative avec laquelle l'eau frape la petite partie Yd eſt exprimée par $c - \frac{Y\Delta}{Yd} \times b$, qui n'eſt dépendante, comme on le voit, que des quantités conſtantes c & b, & de la ſeule diſpoſition de la petite ligne Yd. Ainſi qu'on s'arrête à cette viteſſe, ou qu'on en prenne le quarré ou le cube, ou une fonction quelconque, & qu'on multiplie enſuite par $Y\Delta$ pour avoir la force de l'impulſion relative qui s'exerçant dans le ſens parallele à l'axe, contribuë à la rapidité du ſillage, en pouſſant le Navire vers l'avant, il ne reſultera toujours qu'une quantité formée des conſtantes c & b, & des petites lignes élementaires Yd & $Y\Delta$. Fig. 119.

L'impulſion ſera exactement la même, quoi qu'on éloigne ou qu'on raproche la petite partie Yd de l'axe VX, & quoi qu'on faſſe la même choſe à l'égard du ſommet X : de ſorte que les abſciſſes x & les ordonnées y ne ſont ici d'aucune conſidération ; il n'y a que les ſeules dx & dy qui modifient actuellement la grandeur de l'effort. Or ce ſera la même choſe, lorſqu'on conſiderera une autre partie voiſine de Yd ; & il eſt donc clair, que ſi on prend la différentielle de l'impulſion qu'elles reçoivent conjointement, afin d'en faire un *maximum*, on n'aura toujours qu'une quantité formée des deux conſtantes c & b & des petites lignes élementaires dx & dy, élevées, il n'importe, à quelle puiſſance, ſans le concours d'aucune variable x ou y. Mais il ſuit de là, que la différentielle égalée à zéro, nous offrira une équation dans laquelle les dx & les dy n'auront toujours entr'elles qu'un raport déterminé & invariable. C'eſt-à-dire, que les dy ou les petites lignes $Y\Delta$ étant conſtantes, les dx ou les Δd le ſeront également. Les deux lignes TX ont par conſéquent dans toutes leurs parties ou dans tout leur cours la même obliquité par raport à l'axe VX ; & elles ſont donc droites, ſans que les diverſes loix que les fluides peuvent obſerver dans leur action, y aportent aucune différence.

Digitized by Google

III.

Mais quoique les deux côtés de la poupe doivent être toujours des lignes droites, ce n'eſt pas à dire pour cela qu'elles doivent ſe rencontrer en X, & y former un angle : car il peut arriver ici à peu près la même choſe que pour la proüe, lorſqu'elle eſt formée de lignes droites, dont les deux côtés, comme nous l'avons vû dans le premier Chapitre, ne ſe rencontrent pas toujours. Supoſons que la poupe ſoit repréſentée par BE*eb* dans la figure 101 ou dans la figure 102 : ſes deux côtés qui doivent être des lignes droites, comme nous le ſçavons maintenant, ſont repréſentés par BE & *be* ; & pendant qu'elle a AC pour longueur totale ou pour axe, elle eſt terminée par une troiſiéme ligne E*e* perpendiculaire. Il s'agit de décider, ſi on doit augmenter ou diminuer cette largeur E*e*, ou ſi on doit la reduire à rien, en rendant la poupe parfaitement aiguë.

Fig. 101. & 102.

J'exprime par la ligne DB la viteſſe abſoluë du Navire que nous avons déſignée ci-devant par *b*, & je remarque que la perpendiculaire DF au côté BE de la poupe, ſera la partie qu'il faudra retrancher de la viteſſe abſoluë *c* avec laquelle l'eau vient rencontrer ce côté. Or ſi on nomme *a* la plus grande demie largeur CD, & *s* la quantité DE, dont la poupe, ou plutôt la demie poupe eſt plus étroite à l'extrémité, on aura cette analogie BE $(=\sqrt{b^2+s^2})$ | DE $(=s)$ | DB $(=b)$ | DF $=\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$, & ſi on retranche DF de la viteſſe abſoluë *c* de l'eau, il viendra $c-\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour la viteſſe avec laquelle elle rencontre effectivement le flanc BE. On employera, ſelon le ſiſtême qu'on voudra embraſſer, ou le quarré de cette viteſſe, ou cette viteſſe même, ainſi que nous l'allons faire ; & ſi au lieu de multiplier par BE, ce qui donneroit l'impulſion abſoluë ſelon la perpendiculaire à ce côté, on ne multiplie que par DE $=s$, on aura l'impulſion relative, qui agiſſant dans le ſens de

de l'axe, pouſſe le Navire vers l'avant. Cette impulſion eſt $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ qu'il faut augmenter de celle que ſouffre EC, afin d'avoir l'impulſion totale que ſouffre la moitié entiere de la poupe. Il ne ſe fait, à l'égard de cette ſeconde partie, aucune décompoſition; l'eau avance avec la viteſſe abſoluë c, & le Navire fuit avec la viteſſe abſoluë b; l'excès $c-b$ marque la viteſſe avec laquelle l'eau frape le côté EC dont la longueur eſt $a-s$; & par conſéquent l'impulſion eſt $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$. Ajoutant enfin cette quantité avec l'autre, il vient $ac - ab + bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour l'impulſion totale dans le ſens de l'axe, laquelle il n'eſt plus queſtion que de rendre un *maximum*. Fig. 101. & 102.

La différentielle de cette impulſion eſt $bds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$; & ſi on l'égale à zéro & qu'on faſſe les reductions néceſſaires, on aura $2b^2s+s^3 = \overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}$, & $s^4+b^2s^2 = b^4$ dont on tire $s = b\sqrt{-\frac{1}{2}+\sqrt{\frac{5}{4}}}$; ce qui montre que s ou DE ne dépend point de la largeur de la poupe, mais ſeulement de ſa longueur BD. Supoſant cette derniere longueur de 1000 parties, on trouvera que DE eſt d'environ 786, ce qui rend l'angle DBE d'environ 38 degrés 10′, & l'angle que doivent faire les deux côtés BE, be, doit donc être d'environ 76 degrés 20′. Au reſte ce Problême de la poupe qui reçoit la plus grande impulſion poſſible par le reflux de l'eau, a encore cette conformité avec celui de la prouë rectiligne de la moindre réſiſtance, que l'angle de 76 degrés 20′ n'eſt auſſi ici qu'un terme, de la même maniere que l'angle droit en étoit un dans l'autre. Si on examine les cas où la différentielle va en augmentant & en diminuant, on verra que la poupe ne ſçauroit être trop aiguë, & que les deux côtés BE & be doivent ſe rencontrer, pourvû qu'ils faſſent en e un angle moindre que 76 degrés 20′. Supoſé au contraire que la poupe ſoit

Fig. 101. & 102. trop courte, & que les deux côtés en ſe rencontrant faſſent un angle plus ouvert, il faudra alors s'arrêter à l'angle déterminé, & achever de fermer la poupe par un troiſiéme côté *Ee* placé perpendiculairement à l'axe.

IV.

Il eſt clair que la ſolution précédente doit convenir à toutes les coupes horiſontales de la poupe faites à une aſſez grande profondeur, pour que la viteſſe abſoluë *c* de l'eau ſurpaſſe celle *b* du Navire. La viteſſe *c* eſt ſenſiblement proportionelle aux racines quarrées des profondeurs, comme on l'aprend en Hydroſtatique; elle eſt à peu près la même que celle qu'acquerroit l'eau en tombant d'une hauteur égale à cette profondeur. Ainſi à 13 ou 14 pieds d'enfoncement, elle a une viteſſe *c* propre à parcourir 27 ou 28 pieds en une ſeconde; elle a une viteſſe double de celle du Navire, lorſqu'il fait environ trois lieuës par heure & à proportion 14 pieds par ſeconde. Il faut donc s'aprocher conſidérablement de la ſurface de l'eau & s'arrêter ſeulement à trois pieds ou trois pieds & demi de profondeur, pour trouver l'endroit où l'eau n'atteint qu'à peine la poupe, & ne la frape effectivement par derriere que lorſque l'obliquité des parties facilite le choc. Dans cet endroit l'eau ne pourſuit le Navire qu'avec une viteſſe de 14 pieds, à peu près égale à la ſienne. Notre ſolution convient encore à ce cas, en même tems qu'elle convient à toutes les tranches horiſontales de la poupe qu'on peut imaginer au-deſſous, il n'importe de quelle quantité. Mais il eſt évident qu'elle n'eſt point aplicable aux endroits qui ſont au-deſſus, ou qui ſont entre la ſurface de l'eau & trois pieds de profondeur, puiſque l'eau n'a plus aſſez de viteſſe pour atteindre les parties de la poupe qui ſont ſituées perpendiculairement; au moins lorſque le Navire ſingle avec la plus grande viteſſe que nous lui attribuons. Le Vaiſſeau laiſſe en haut derriere lui un vuide qui ne ſe remplit qu'avec peine; & il faut par conſéquent dans l'expreſſion *ac — ab*

Digitized by Google

$+bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'impulsion que souffre la poupe, retrancher toute la quantité $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$ que nous avions jointe pour l'impulsion que recevoit le côté CE: il faut en un mot, ne considerer que l'impulsion $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ à laquelle est sujet le seul flanc BE. Il peut sembler que l'autre expression est assez générale pour s'apliquer à tous les cas; mais la plus grande généralité dont elle jouit, n'a lieu que dans le pur géométrique, sans s'étendre réellement jusqu'au cas physique. Car l'eau qui a moins de vitesse que le Navire ne peut pas venir fraper effectivement le côté CE dans le sens contraire avec la différence de vitesse $b-c$. Fig. 101. & 102.

Enfin si on prend la différentielle de $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$, on trouvera $cds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3 ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$, & l'égalant à zéro, il viendra $c \times \overline{b^2+s^2}^{\frac{1}{2}} = 2b^3s + bs^3$ qui satisfait donc au second cas du Problême; c'est-à-dire, que cette équation indique la situation la plus avantageuse qu'il faut donner aux deux flancs BE & be, lorsque l'eau n'a pas assez de viteſſe pour atteindre le côté Ee.

Mais on doit remarquer qu'au lieu que la quantité s ou DE ne dépendoit que de la seule longueur b de la poupe, elle dépend maintenant & de cette longueur & de la viteſſe absoluë c de l'eau, ou du raport qu'elle a avec celle du Navire. A meſure que c eſt moindre, la quantité s ou DE eſt plus petite; & elle devient nulle, lorſque c ſe réduit à rien. Ainſi la poupe qui doit ſe terminer en pointe dans les coupes horiſontales qui ſont au-deſſous de trois pieds de profondeur, perdroit cette figure au-deſſus de ce point; ſi on pouvoit toujours la ſupoſer formée de coupes horiſontales comme BEeb: elle iroit en s'élargiſſant & finiroit à fleur d'eau par une coupe rectangulaire, ou ce qui revient au même, elle auroit ſes deux flancs exactement paralleles.

Fig. 101. & 102. Le point qui fait la diſtinction des deux cas, change de hauteur ſelon que la viteſſe du Navire eſt plus ou moins grande; plus le ſillage eſt lent, plus ce point ſe trouve élevé, puiſqu'il eſt plus facile à l'eau d'atteindre la poupe. Lorſque le Navire ne fait qu'une lieuë & demie par heure ou environ 7 pieds par ſeconde, l'eau qui n'étoit auparavant ſuffiſamment comprimée qu'à 3 pieds de profondeur, commencera à l'être aſſez vers 9 ou 10 pouces, pour pouvoir agir efficacement. Il faudroit donc alors que la poupe eut preſque par tout la même figure; qu'elle fut formée depuis le bas juſqu'en haut par deux plans verticaux, qui en ſe rencontrant à l'étambot, fiſſent un angle qui ne ſurpaſſât pas 76 degrés 20 minutes, & que ce ne fut qu'à environ 9 pouces de diſtance de la ſurface de la mer, qu'elle s'élargit tout-à-coup, juſqu'à devenir auſſi large que l'eſt le Navire vers le milieu. Ce changement de figure eſt après tout de peu de conſéquence à l'égard de l'impulſion, vû l'extrême lenteur avec laquelle l'eau trop peu comprimée vers ſa ſurface, pourſuit le Navire. Mais il eſt très-digne d'attention, qu'en ne voulant procurer à la partie poſtérieure de la carène que l'unique proprieté d'être pouſſée par le reflux de l'eau le plus qu'il eſt poſſible, on trouve préciſement la figure qui ayant le plus de largeur par en haut, fait auſſi que le Navire a le plus de force pour porter la voile.

V.

Si on veut que la poupe qui ſouffre le plus grand choc par le reflux de l'eau, ne ſoit pas plus large par en haut que par en bas; & qu'on joigne en même tems la condition que le Navire ait plus de force qu'il eſt poſſible pour porter la voile, il faudra alors courber ſes deux flancs & leur donner quelque convexité. Nommant, comme nous l'avons déja fait, M le moment total du Vaiſſeau par raport à ſon métacentre, & N la force du vent pour faire accerer le ſillage, y compris l'effort total que fait l'eau ſur la poupe, lequel contribuë au même effet, & que *b* ſoit toujours la viteſſe du Navire, on trouvera en ſuivant à-peu-

Digitized by Google

près la methode dont nous avons fait usage dans le Chapitre précédent & en prenant e pour la plus grande ordonnée de la poupe, & a pour une arbritaire constante, pendant que u est une variable qui conserve avec a le même raport que les soutangentes avec les ordonnées, ou que les dx avec les dy, on trouvera dis-je que les ordonnées y de la courbe la plus simple qui satisfait à la question sont exprimées par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N} \times \frac{e \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}} - a^2 bu}{\overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}}}}$, & les abscisses x par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N}} \times \int \frac{\frac{1}{2}abu^3\,du - \frac{1}{2}a^3 bu\,du}{\overline{e \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}} - a^2 bu}^{\frac{1}{2}} \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}}}$. Mais tout nous invite à ne nous point engager dans le calcul numérique des dimensions de cettre nouvelle courbe. Nous croyons cette seconde solution fort inférieure à la premiere, parce que pour se prêter à l'une & à l'autre condition, il arrive qu'on renonce par en bas à la figure qui reçoit absolument le plus d'impulsion de la part de l'eau, & que cependant on n'obtient pas celle qui par en haut donne autant de force au Navire pour soutenir la voile. D'ailleurs il se présente un autre inconvenient auquel il n'y a point de remede. Au lieu que la variabilité des viteſſes b dont le sillage est susceptible n'exigeoit auparavant qu'un leger changement qu'on pouvoit négliger dans la figure de la poupe, parce qu'il n'étoit néceſſaire que vers le haut, elle demanderoit ici une chose absolument impossible; que la poupe fut totalement & continuellement changée depuis le haut jusqu'au bas: la forme qu'on doit lui donner pour le cas où le sillage est foible, étant très-éloignée de convenir au cas dans lequel le sillage est rapide. Fig. 101. & 102.

VI.

Ainsi nous avons de fortes raisons pour revenir à la poupe angulaire formée de deux plans verticaux. On joindra, comme nous l'avons dit, cette poupe avec la proüe de la même espece dont il a été question dans le premier

Digitized by Google

Chapitre de cette Section, & on en formera une Frégate d'une figure fort extraordinaire; mais qui ne laiſſera pas d'avoir ſes avantages. Outre qu'elle ſera très-facile à conſtruire, elle ſera ſujette à très-peu de dérive dans les routes obliques; & de plus elle ſera très-propre à naviguer dans toutes les Mers. Elle ne ſera pas expoſée à l'inconvenient qui eſt ſi fort à craindre, lorſqu'on rend le deſſous de la carène trop fin vers l'avant & vers l'arriere: car ſi ſes deux extremités ſont fort aiguës, elles occuperont cependant toujours aſſez de place dans la Mer, eu égard à leur peu de poids: elles ne ſe trouveront jamais en l'air; ce qui diminuera la force du tangage. Cette Frégate ou cette corvette ſeroit préférable en cela à celle qu'on pourroit former en joignant la proüe repréſentée dans la figure 104 avec une poupe convenable ou correſpondante: mais on ſeroit preſque autant gêné dans l'une que dans l'autre, lorſqu'il s'agiroit de diſpoſer la mâture.

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorſqu'elle eſt un conoïde; & de la maniere d'en former une Frégate.

I.

IL ne ſera pas difficile de déterminer la figure que doit avoir la poupe lorſqu'elle ſera un conoïde. Si BADE (Fig. 120.) eſt ce conoïde dont *x* déſigne les parties de l'axe & *y* les ordonnées, & que «I parallele à l'axe AC repréſente la viteſſe *b* du Vaiſſeau, on aura en formant le rectangle «LIK par des paralleles & des perpendiculaires à la ſurface du conoïde, la quantité «L pour la viteſſe avec laquelle chaque petite partie comme *se* de la ſurface de la poupe, ſe ſouſtrait à la pourſuite de l'eau, lorſqu'elle vient par ſon reflux remplir le vuide que laiſſe le Navire derriere lui

Fig. 120

par son progrès en avant. Le triangle KϵI est semblable au petit ϵMe qui est formé par les différentielles dx & dy & par la particule ϵe la courbe génératrice du conoïde, ce qui donne cette analogie, $\epsilon e\,(=\sqrt{dx^2+dy^2})\,|\,\epsilon M\,(=dy)\,||\,\epsilon I\,(=b)\,|\,KI=\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$; & c'est donc $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ qu'il faut soustraire de la vitesse absoluë de l'eau. Nous avons déja dit que cette derniere vitesse qui est d'autant plus grande que l'eau supérieure cause par son grand poids plus de compression, est proportionelle aux racines quarrées des profondeurs. Ainsi nommant z ces profondeurs, on aura $\sqrt{z}-\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ pour la vitesse restante avec laquelle l'eau peut choquer chaque partie de la poupe. Elle choque avec cette vitesse le point E, suposé que z désigne CE; & le point G suposé que z marque la profondeur GH. &c. Fig. 120.

II.

Il suit de-là que toutes les parties d'une zone BbEDd sont choquées avec différentes vitesses $\sqrt{z}-\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$, à cause de leurs diverses profondeurs, quoique la portion retranchée $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ soit exactement la même; parce que chaque zone étant formée par la révolution d'un petit arc de la courbe génératrice, toutes ses parties ont la même obliquité, ce qui produit, à l'égard de chaque zone, la même décomposition dans toutes les vitesses, comme Iϵ. Si nous nommons maintenant ds les parties élementaires FG de chaque demie circonférence BED dont y marque le rayon, nous aurons $ds\times\sqrt{dx^2+dy^2}$ $(=FG\times Ff)$ pour l'étenduë de chaque petite partie FfgG de zone; mais comme ce n'est pas de l'impulsion absoluë dont il s'agit ici, mais seulement de l'impulsion relative qui s'exerce dans le sens de l'axe, il faut, conformement

Digitized by Google

Fig. 110. à ce que nous avons vû ci-devant, reduire ce petit trapeze Fg à sa projection FOPG sur le plan vertical BED, & nous aurons $dsdy$ pour l'étenduë de cette petite projection qu'il faut multiplier, ou par la viteſſe $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ ou par ſon quarré, ſelon la différente hypothéſe qu'on voudra ſuivre. La ſeconde hypothéſe ne peut avoir que difficilement ſon aplication ici, & d'ailleurs la premiere rend le Problême beaucoup plus ſimple. Ainſi nous multiplions $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ par $dsdy$, & nous aurons $\sqrt{z} \times dsdy - \frac{bdsdy^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ pour l'impulſion relative que reçoit ſelon ſon axe la petite partie Fg de la ſurface de la poupe, lorſque le Navire fuit ou avance avec la viteſſe b. En intégrant cette expreſſion, pour avoir l'impulſion ſur la zone entiere bEd, il faut remarquer qu'il n'y a que z & ds de variables; puiſque dy & dx ne ſont ſujettes à changer, que lorſqu'on paſſe d'une zone à l'autre. Nous aurons donc $dy \times \int \sqrt{z} \times ds - \frac{bsdy^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ pour l'impulſion relative ſur la zone bEd; impulſion qui ſe changera en $dy \times \int \sqrt{z} \times ds - \frac{\varpi bydy^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$; ſi prenant ϖ & ϖ pour exprimer le raport du diamétre du cercle à la circonférence, nous faiſons attention que $\frac{\varpi y}{2}$ doit déſigner la demie circonférence BED dont CE $= y$ eſt le rayon.

III.

Il n'eſt jamais permis dans ces ſortes de Problêmes, comme on le ſçait, de ſe borner à la conſidération d'une ſeule zone. Si on vouloit qu'une ſeule ſouffrit la plus grande impulſion poſſible en l'aſſujettiſſant toujours à dy ou Me conſtante, & ne faiſant varier que $Me = dx$, il faudroit augmenter Me de plus en plus, juſqu'à la rendre infinie; ce qui donneroit à la zone une forme exactement cilindrique.

Digitized by Google

drique. Alors elle retrancheroit par ſa ſituation le moins qu'il ſeroit poſſible de la viteſſe abſoluë $\sqrt{z}$ de l'eau. Mais auſſi-tôt qu'on prend deux zones à côté l'une de l'autre qui doivent, jointes enſemble, avoir une certaine largeur déterminée, en augmentant la largeur de l'une au préjudice de l'autre ; on peut en faiſant augmenter dx qui apartient à l'une, en même tems qu'on fera ſubir un égal changement ddx, mais contraire à dx qui apartient à l'autre, faire enſorte que dans les cas actuels mêmes les deux zones jointes enſemble reçoivent la plus grande impulſion poſſible ; & il ſuffira pour cela de rendre nulle la différentielle de toute l'impulſion. Si nous ſupoſons enfin que dx augmente de ddx, nous aurons $\frac{-byd\dot{y}\cdot dxddx}{\dot{x}\times dx^2+dy^2^{\frac{1}{2}}}$ pour la différentielle de l'impulſion $dy\int\sqrt{z}\times ds - \frac{-byd\dot{y}^2}{\dot{x}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ que ſouffre la premiere zone : mais la même différentielle ſera négative dans la zone ſuivante, à cauſe de la diverſité de modification que ſouffre ddx, qui de poſitive, par raport à la premiere zone, devient négative par raport à l'autre. Mais puiſque la différentielle de l'impulſion à laquelle ſont ſujettes les deux zones enſemble, doit être nulle, & que cet aneantiſſement ne vient que de ce que les deux différentielles particulieres ſe détruiſent mutuellement, il faut que ces différentielles ſoient égales. Elles le ſeront encore étant diviſées également par ddx & par $\frac{-b}{i}$; & comme c'eſt la même choſe pour toutes les autres zones, la quantité $\frac{ydy^2dx}{dx^2+dy^2^{\frac{1}{2}}}$ doit donc être continuellement conſtante, & on peut l'égaler à une quantité a ; ce qui nous donnera $ydy^2dx = a\times dx^2+dy^2^{\frac{1}{2}}$ ou $y^2dy^4dx^2 = a^2dx^6 + 3a^2dx^4dy^2 + 3a^2dx^2dy^4 + a^2dy^6$ pour l'équation de la courbe qui ſatisfait au Problême.

Fig. 120.

Fig. 120.

IV.

Il suffit pour resoudre cette équation de prendre, comme ci-devant, une nouvelle indéterminée u, en la supposant telle que $dx = \frac{u\,dy}{a}$; & on verra sans peine en faisant le reste du calcul, que la formule $\sqrt{\frac{u^4}{a^2} + 3a^2 + 3a^2 + \frac{a^4}{u^2}}$ exprime y, dont la moindre valeur est $\frac{3\sqrt{3}}{2}a$, qui repond à $u = a\sqrt{\frac{1}{2}}$; & que $x = \int \frac{2u^6\,du + 3a^2u^4\,du - a^6\,du}{\sqrt{a^4u^8 + 3a^6u^6 + 3a^8u^4 + a^{10}u^2}} = = \int \frac{2u^3\,du}{a^2 \times a^2 + u^2\,^{\frac{1}{2}}} + \int \frac{3u^3\,du}{a^2 + u^2\,^{\frac{1}{2}}} - \int \frac{a^4\,du}{u \times a^2 + u^2\,^{\frac{1}{2}}}$. La courbe que fourniſſent ces formules eſt encore aſſez droite; elle dépend des logarithmes ou de la quadrature de l'hyperbole, & elle devient une ſeconde parabole cubique lorſqu'on la prolonge infiniment: deſorte qu'au lieu de devenir parallele à l'axe, elle s'en éloigne continuellement; & lors qu'on joindra donc le conoïde qu'elle formera avec le conoïde de la proüe, les deux conoïdes n'en feront que plus diſtingués. Je mets ici une Table par le moyen de laquelle il ſera toujours facile de tracer cette courbe dans ſon commencement ou dans la partie où elle doit avoir le plus de courbure; & on pourra enſuite, ſi on le veut, la tracer ſenſiblement droite, ou ſuivre la ſeconde parabole cubique. Enfin ſi on ſe ſouvient que l'impulſion de l'eau vers le haut de la poupe eſt très-foible dans une eſpace de 2 ou 3 pieds, on jugera aſſez qu'il n'y a point d'inconvenient à alterer dans cet endroit la figure qu'on vient de trouver: & il n'y aura par conſéquent que de l'avantage à élargir la partie poſtérieure de la carène vers la ſurface de l'eau, afin que le Navire porte mieux la voile, & afin de procurer auſſi plus d'étenduë aux logemens des Officiers, qu'on met ordinairement vers la poupe.

Digitized by Google

TABLE

Des dimenſions de la poupe conoïdale qui contribue le plus qu'il eſt poſſible au ſillage par l'impulſion qu'elle reçoit du reflux de l'eau.

Abciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	260	315	485	1538	996	4487	1831
2	262	382	521	1709	1054	4832	1914
9	271	456	559	1893	1114	5188	1998
21	283	539	600	2089	1177	5564	2084
37	299	630	642	2301	1242	5964	2174
59	317	729	686	2525	1309	6381	2265
86	339	838	732	2762	1378	6811	2358
119	364	957	781	3013	1449	7265	2454
159	390	1086	831	3278	1522	7738	2551
204	420	1225	884	3556	1596	8234	2652
256	451	1375	939	3849	1672	8750	2754
				4158	1750		

V.

Il n'y aura aucun inconvenient à joindre la poupe dont la forme eſt indiquée par cette Table avec la prouë dont nous avons parlé à la fin du Chapitre II. qui n'enfonce qu'en partie dans l'eau. Mais ſi au lieu de rendre circulaires les coupes faites perpendiculairement à ſa longueur, on les rend des triangles, ainſi qu'il ſeroit à propos de le faire dans les Corvettes & ſouvent dans les Frégates; la Table marquera exactement la courbure qu'il faudra donner au conoïde triangulaire de la poupe, lequel doit ſe joindre avec la prouë triangulaire que nous avons décrite dans l'article I. du Chapitre IV. & qui eſt repréſentée dans la figure 110. Il n'eſt pasdouteux qu'on ne forme de cette ſorte des Frégates, qui munies d'une voilure extrêmement legere, ſinglerom avec la plus grande viteſſe dans la route direc-

Digitized by Google

te, & qui auront outre cela la proprieté en marchant très-vite dans les routes obliques, de dériver le moins qu'il eſt poſſible. Il faut encore ajouter qu'on commencera dans ces Frégates à trouver de la facilité à diſpoſer leur mâture : on ne ſera pas obligé de la porter ſi près de l'extremité de la carène qui devient un peu plus large vers l'avant. D'ailleurs comme la proüe va ici en s'ouvrant vers le haut, il ſera plus aiſé de donner toute la largeur ſuffiſante à ſa partie qui eſt toujours au-deſſus de la Mer, & qui n'eſt pas déterminée par notre ſolution.

CHAPITRE IX.

De la forme que doivent avoir les Navires de tranſport & les Navires de guerre, & d'une derniere forme pour les Frégates.

IL n'a point été queſtion de la grandeur de la cale ou de la quantité de la charge qu'elle pouvoit contenir, lorſque nous avons travaillé dans les Chapitres précédens à former toutes les parties de la carène. Ainſi il y a lieu de croire que les Vaiſſeaux que nous ſommes actuellement en état de conſtruire ne ſeroient que de peu d'utilité pour le commerce ou pour la guerre, qui demandent encore plus des bâtimens d'un grand port que des Navires qui marchent vite. Il nous faut donc tâcher de ſatisfaire à cette nouvelle vuë. Nous ne nous ſommes permis dans les Recherches précédentes de groſſir la carène, que dans le deſſein de conférer plus de rapidité à la marche; mais nous devons déſormais pouſſer le renflement de cette partie encore plus loin; pourvû que nous réuſſiſſions à donner plus de capacité à la cale ou à faire augmenter la quantité de la charge dans un plus grand raport que nous ne ferons diminuer la promptitude du ſillage. Pour le dire, en un mot; c'eſt la ſolidité de la carène multipliée par la vi-

Digitized by Google

teſſe que nous devons rendre la plus grande qu'il eſt poſſible. Ce ne ſera ni la quantité de la maſſe tranſportée qui ſera un *maximum*, ni la ſimple viteſſe du tranſport: mais ce ſera le produit de l'une par l'autre, ou la quantité même du mouvement, lequel dépend, comme le ſçavent tous les Phyſiciens, de la maſſe du corps mû & de ſa viteſſe. Il eſt clair que ſi nous réuſſiſſons à réſoudre ce nouveau Problême, le Navire dans un tems donné, tranſportera enſuite la plus grande quantité de marchandiſes à la plus grande diſtance, ou qu'il ſinglera avec la plus grande viteſſe poſſible, eu égard à la grandeur de ſa charge. On peut remarquer que c'eſt préciſément le même Problême, que s'il s'agiſſoit de trouver la figure qui rend le ſillage le plus rapide, lorſque la ſolidité de la carène eſt donnée.

I.

Premiere ſolution, pour le cas dans lequel la prouë eſt formée par deux plans verticaux qui font un angle.

Supoſons que le parallelipipede rectangle EFIH (Fig. 121) ſoit formé des plus grandes dimenſions qu'on peut donner au Navire qui aura pour le propre corps de ſa carène une partie NPQL de ce parallelipipede: cette partie ſéparera la poupe de la prouë qui ne viendront pas ſe joindre immédiatement vers le milieu de la carène comme dans les Navires deſtinés à ſingler avec la plus grande viteſſe; l'avant & l'arriere ſeront formés l'un & l'autre par deux plans verticaux qui feront un angle, en ſe terminant aux arrêtes verticales AR & BS. Nous pouvons former ainſi la prouë par la rencontre de deux plans; puiſque nous ſçavons que cette figure éprouve la moindre réſiſtance de la part des fluides & qu'elle eſt outre cela ſenſiblement une des plus avantageuſes, ou qu'elle ne differe que très-peu d'une des figures de *la plus grande viteſſe*. Le milieu C de la partie OL la plus groſſe de la carène ſera toujours, ſi on le veut, plus avancé vers la prouë A, & rien n'empêchera Fig. 121.

Digitized by Google

Fig. 111. qu'il n'y ait entre AC & CB le raport de 5 à 7 que nous avons trouvé le plus convenable. On fera TC & CV égales : la carène conservera sa même grosseur sur toute la longueur TV aux extremités de laquelle elle commencera à se retrecir. Ainsi toute la question se réduira à déterminer le point T qui est comme le commencement de la prouë.

Je nomme a la partie AC de la longueur du Navire du côté de l'avant; b l'autre partie CB; c la demie largeur TO ou VM, de même que la profondeur AR ou BS que je supose égale à la plus grande demie largeur; enfin je désigne par x la longueur AT que doit avoir la prouë & qu'il s'agit de découvrir. Cela supoſé, on aura $a-x$ pour la demie longueur TC ou VC du corps de la carène ou de ce solide que nous introduisons entre la poupe & la prouë, & $b-a+x$ (=CB—CV) pour la longueur VB de la poupe. L'étenduë de l'éxagone irrégulier ANLBMO sera exprimée en même tems par $3ac+bc-2cx$ qui est la somme du rectangle NM $=4ac-4cx$, & des deux triangles NAO & MBL, dont l'un est égal à cx, & l'autre à $bc-ac+cx$; & multipliant cette étenduë par la profondeur c de la carène, il viendra $3ac^2+bc^2-2c^2x$ pour sa solidité.

Si l'on applique au même exagone ANLBMO la formule $\frac{2}{3}\int\frac{y^3dx}{p}$ qui indique la quantité dont le métacentre est au-dessus du centre de gravité même du Navire, on aura $\frac{\frac{1}{2}a+\frac{1}{6}b-x\times c^3}{p}$ pour cette hauteur dont une partie plus ou moins grande, selon que le Navire est plus ou moins incliné, sert comme de bras de lévier à la pésanteur totale p. On a réduit dans la Section précédente cette hauteur à sa sixiéme partie, pour en former le levier, & si on multiplie cette partie par la pesanteur p il viendra $\frac{2}{3}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{1}{3}c^3$ pour le moment de cette pesanteur, ou pour la force relative qu'a le Navire pour soutenir la voile; & il ne restera plus pour l'évaluer en mesures ordinaires qu'à supo-

Digitized by Google

ſer que a, b & c ſont en pieds de Roy & multiplier la quantité précédente par 72 livres qui eſt le poids du pied cubique d'eau de mer, & on aura $\frac{7}{8}a+\frac{1}{6}b-x\times 12c^3$ pour la valeur du moment ou de la ſtabilité en livres. Fig. 121.

C'eſt ce moment ou cette force relative, comme le ſçavent les Lecteurs, qui s'oppoſe à l'effort que fait la voile pour faire verſer le Navire. Nous nommerons l la largeur des voiles, h leur hauteur exprimée en pieds de Roy, & i l'impulſion que fait le vent ſur chaque pied quarré de ſurface. L'étenduë des voiles ſera exprimée par hl, l'impulſion totale du vent par ihl, & le moment de cet effort qui ſe réunit au milieu de la mâture par $\frac{1}{2}ih^2l$. Il eſt vrai que nous négligeons la quantité dont le bas de la voile eſt élevé au-deſſus du point de la carène qui ſert d'hypomoclion, ce qu'on peut faire preſque dans tous les cas, & à plus forte raiſon dans les Navires de charge qui ſont peu élevés au-deſſus de l'eau. Mais l'égalité qu'il y a entre les momens de l'effort du vent & de la peſanteur du Navire qui ſe contrebalancent mutuellement, donne l'équation $\frac{7}{8}a+\frac{1}{6}b-x\times 12c^3=\frac{1}{2}h^2li$, dont on tire la formule $h=\sqrt{\frac{7}{8}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3}{il}}$ qui nous apprend la hauteur que doit avoir la mâture; & l'étenduë lh des voiles ſera donc exprimée par $\sqrt{\frac{7}{8}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$.

Enfin il faut déterminer la viteſſe du ſillage du Navire; & il eſt néceſſaire pour cela de chercher la quantité de l'impulſion de l'eau ſur la prouë que nous comparerons à l'impulſion du vent ſur les voiles. L'angle d'incidence de l'eau eſt égale à l'angle TAO; & ſi on prend l'unité pour ſinus total, on trouvera le ſinus de cet angle par cette analogie, $AO\ (=\sqrt{AT^2+TO^2})=\sqrt{c^2+x^2}\ |\ TO=c\ ||\ 1\ |\ \frac{c}{\sqrt{c^2+x^2}}$; & multipliant le quarré de ce ſinus par l'étenduë $2c^2$ à laquelle ſe réduit la prouë projettée ſur un plan perpen-

Digitized by Google

Fig. 121. diculaire à la longueur du Navire, on aura $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion relative directe selon la détermination de l'axe, laquelle doit être égale à l'effort du vent sur la voile. Il faut cependant encore multiplier $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ par le quarré de la viteſſe du choc. Je nomme v cette viteſſe, & V celle du vent, pendant que je déſigne par l'unité la denſité de l'air & par D celle de l'eau, & j'ai $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour l'impulſion de l'eau; pendant que le quarré de la viteſſe reſpective $V-v$ du vent par raport au Navire, multiplié par l'étenduë des voiles $\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}$ & par la denſité 1 de l'air, donnera $\overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}$ pour l'impulſion du vent: & on aura par conſéquent l'équation $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}=\overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}$ dont on tire $v\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}}=\overline{V-v}\times\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}$, & $v=\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}}{\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}}$ qui indique la viteſſe que doit recevoir le ſillage. Or il ne reſte plus qu'à multiplier cette expreſſion par la ſolidité ou la maſſe $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la carène trouvée ci-devant, & il viendra $\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}\times\overline{3ac^2+bc^2-2c^2x}}{\sqrt{2c^4D}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}\sqrt{c^2+x^2}}$ pour la quantité du mouvement, dont il s'agit de faire un *maximum*, puis qu'on veut que le Navire tranſporte la plus grande charge avec la plus grande viteſſe poſſible.

Ainſi il faut prendre ſelon les regles ordinaires la différentielle

rentielle de cette quantité, on aura . . . . . Fig. 121.

$$c\sqrt{D}\sqrt{\frac{ci}{6l}}\times\frac{9}{4}x^3dx-\left.\begin{matrix}\frac{101}{24}a\\-\frac{23}{24}b\end{matrix}\right\}x^2dx+\left.\begin{matrix}+\frac{7}{4}a^2\\+\frac{5}{6}ab\\+\frac{1}{12}b^2\\+\frac{5}{4}c^2\end{matrix}\right\}xdx-\left.\begin{matrix}\frac{37}{24}ac^2\\-\frac{7}{24}c^2b\end{matrix}\right\}dx$$
$$-dx\times\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\sqrt[4]{c^2+x^2}\sqrt[8]{c^2+x^2}$$

$$c\sqrt{D}\sqrt{\frac{ci}{6l}}+\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\sqrt[3]{c^2-x^2}$$

& l'égalant à zéro, il viendra l'équation . . . . . :

$$\frac{9}{4}x^3-\left.\begin{matrix}\frac{101}{24}a\\-\frac{23}{24}b\end{matrix}\right\}x^2+\left.\begin{matrix}+\frac{7}{4}a^2\\+\frac{5}{6}ab\\+\frac{1}{12}b^2\\+\frac{5}{4}c^2\end{matrix}\right\}x-\left.\begin{matrix}\frac{37}{24}ac^2\\-\frac{7}{24}c^2b\end{matrix}\right\}=\frac{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\sqrt[4]{c^2+x^2}\sqrt[8]{c^2+x^2}\sqrt{6l}}{c\sqrt{D}\sqrt{ci}}$$

qui fournit la solution du Problême. Il n'y a qu'à chercher dans cette équation la valeur de x, & on sçaura la longueur qu'il faudra donner à l'axe AT de la proüe.

Pour réduire en nombre la quantité $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{ci}}$ qui multiplie le second membre, on n'a qu'à mettre 576 à la place de D qui désigne la densité de l'eau par raport à celle 1 de l'air, conformement aux expériences de M. Mariote. On pourra supposer aussi comme nous l'avons fait dans la Section précédente que l'effort i du vent sur chaque pied quarré d'étenduë de la voile, est de 2 livres, & que la largeur l des voiles actuellement exposées au vent, est égale à trois fois la largeur du Navire ou égale à $6c$. La grande voile seule a sa largeur par en bas double de celle du Navire ou égale à $4c$; on mettra le surplus, parce que les voiles inférieures sont plus larges par en haut, & qu'outre cela le vent peut frapper sur une partie de celles de la proüe. Toutes ces supositions rendent $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{ci}}$ égale à $\frac{\sqrt{\sqrt{18}}}{24}$ qui est égale à très-peu près à $\frac{86}{1000}$ & après cela l'équation ne contient plus que des quantités parfaitement connuës, si on excepte x. Mais si on revêtit de nombres la differen-

Digitized by Google

Fig. 111. tielle même, ou si on la considere seulement avec attention, on verra qu'elle est d'abord négative ; & qu'ainsi lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DI & qu'on commence à la former en angle ou à donner quelque accroissement à l'axe AT, la quantité du mouvement que reçoit le Navire commence par aller en diminuant. C'est ce qu'elle fait jusqu'à un certain terme qui est *un moindre* & qui est indiqué par une premiere valeur de x qu'il faut par conséquent éviter avec soin dans la construction. Au-delà de ce terme, la différentielle devient positive, ou ce qui est la même chose, la quantité du mouvement va en croissant & elle parvient à la fin à son *maximum* qui répond à une autre valeur AT de x que fournit également la différentielle égalée à zéro. Cette seconde valeur de x étant découverte, il est à propos de l'introduire dans l'expression même . . . . . .

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{1}{2}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{2ic\cdot l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}\times\overline{3ax^2+bc^2-2c^2x}}}{\sqrt{2c^4D}+\sqrt{\sqrt{\frac{1}{2}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{2ic\cdot l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}}}$$

du mouvement, afin d'éprouver si elle le rend réellement plus grand que lorsque l'axe AT ($=x$) est nulle, ou que lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DGIH. Car comme la quantité du mouvement diminuë d'abord lorsqu'on fait croître x, & qu'elle n'augmente qu'ensuite, il se pourroit faire que la somme de ses accroissemens ne fut pas si grande que la somme des premieres diminutions qu'elle a souffertes ; & alors le Navire formé à la Chinoise en parallelipipede rectangle par l'avant, recevroit plus de mouvement, & seroit préférable. Dans ce cas Pierre Janssé dont nous avons parlé eut eu raison.

Supposé qu'il s'agisse en particulier d'un Navire de 144 pieds de longueur formée de AC de 60 pieds & de CB de 84, & que la largeur soit de 40 pieds, on trouvera par la résolution de l'équation que l'axe AT de la proue qui rend effectivement le mouvement le plus grand qu'il est possible, doit être d'un peu plus de 37 pieds ; de sorte que

Digitized by Google

la partie NM de la carène qui eſt partout de même groſ- Fig. 111.
ſeur ſera d'un peu moins de 46 pieds de longueur & l'axe VB de la poupe d'environ 61: & il faudra obſerver à peu-près les mêmes rapports dans tous les autres bâtimens. On regardera peut-être comme un paradoxe que les Navires de tranſport qui ont leur principales dimenſions proportionelles, ne ſont pas ſemblables, auſſi-tôt qu'ils ont la forme la plus parfaite ou qu'ils ſinglent avec la plus grande viteſſe poſſible, à proportion de la charge qu'ils peuvent porter. Cette diverſité de figures vient originairement du vice attaché aux petits Navires, de n'avoir pas tant de force à proportion que les grands pour ſoutenir la voile, & de ce qu'ils ſinglent par conſéquent moins vite, lorſque toutes les circonſtances ſont les mêmes. Il ſuit delà que lorſqu'on rend leur prouë un peu plus longue ou plus aiguë, & qu'on retranche de la capacité de leur cale, la quantité de leur mouvement s'en trouve un peu augmentée; parceque le même changement produit plus d'effet ſur leur viteſſe qu'il n'en produiroit ſur celle des grands Vaiſſeaux, qui eſt d'autant moins ſuſceptible d'augmentation, qu'elle eſt déja plus grande, & que le vent ſe meut moins vite à leur égard; & c'eſt ce qui réſulte auſſi de la ſolution précédente. Cependant on peut preſque toujours négliger cette différence dans la pratique: car un Navire de charge qui a 36 pieds de long doit avoir l'axe de la prouë d'un peu moins de 10 pieds; & il eſt permis de confondre dans ces matieres le rapport d'un peu moins de 10 à 36 avec celui d'un peu plus de 37 à 144. Enfin on peut prendre pour regle générale de conſerver à la carène ſa même groſſeur ſur un eſpace qui ſoit à peu-près les 32 centiémes de toute la longueur du Navire. Si on racourciſſoit cette partie, la prouë deviendroit plus aiguë & le ſillage plus rapide; mais le ſurplus de la rapidité ne repareroit pas la perte qui ſe feroit ſur la quantité même de la charge: & ſi on allongeoit au contraire le corps de la carène en racourciſſant la prouë, le Navire porteroit enſuite une plus grande charge; mais ſa viteſſe diminueroit dans un plus grand

rapport, & il y auroit donc une perte réelle ſur la quantité abſoluë du mouvement ou du tranſport.

II.

Seconde ſolution, pour le cas dans lequel la proüe eſt terminée par un ſeul plan incliné en avant.

Au lieu de former la proüe par deux plans verticaux qui faſſent un angle, on peut la terminer par un ſeul plan incliné en avant comme dans la figure 122; & conſerver à la coupe horiſontale DEFG du Navire faite à fleur d'eau ſa forme rectangulaire. La proüe aura dans ce cas comme on le ſçait* non-ſeulement la figure de *la moindre réſiſtance*, mais celle de *la plus grande viteſſe*. Elle ſera auſſi pouſſée le plus qu'il eſt poſſible dans le ſens vertical, ce qui augmentera la hauteur du point vélique; & ce qui ne l'augmentera pas inutilement, puiſque le Navire portera beaucoup de voiles dans toutes les routes. La poupe d'un autre côté étant terminée par un plan incliné en arriere aura auſſi la proprieté de contribuer le plus qu'il ſera poſſible à la viteſſe du ſillage par le choc que produira le reflux de l'eau, comme on peut s'en aſſurer aiſément par la méthode expliquée dans l'autre Chapitre. Ainſi il n'eſt queſtion que de déterminer la longueur qu'il faut donner au propre corps NQ de la carène; & on y réuſſira avec facilité, en ſuivant les veſtiges de la ſolution précédente; ce ſecond Problême étant beaucoup plus ſimple que le premier.

Fig. 122.

* Voyez les art. 3 & 5 du Chap. 5.

Si l'on conſerve toujours les mêmes dénominations que ci-devant, qu'on déſigne AC par a; CB par b; la demie-largeur du Navire par c, la longueur GO de la proüe par x &c. On aura $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ pour la ſolidité de la carène, ou pour la capacité de la cale; $8ac^3 + 8bc^3$ pour la ſtabilité ou pour la force relative en livres qu'a le Navire pour ſoutenir la voile: on aura $\sqrt{\frac{16ac^3l + 16bc^3l}{i}}$ pour l'éten-

duë *lh* des voiles; $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour la force de l'impulsion de l'eau sur la proüe; $\frac{V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{cVDVVci}{V\sqrt{4al+4bl}}+\sqrt{c^2+x^2}}$ pour la viteſſe du ſillage; & enfin en multipliant cette expreſſion de la viteſſe par celle $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la grandeur de la cale, on aura $\frac{3ac^2+bc^2-2c^2x\times V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{cVDVVci}{V\sqrt{4al+4bl}}+\sqrt{c^2+x^2}}$ pour la quantité du mouvement qu'il s'agit de rendre un *maximum*. Fig. 122.

Il ne reſte par conſéquent qu'à prendre la différentielle de cette quantité & à l'égaler à zéro; on aura $3ax+bx-4x^2-2c^2=\frac{\overline{c^2+x^2}^{\frac{1}{2}}\times 2VV\overline{4al+4bl}}{cVDVVci}$, & on trouvera dans cette équation, ſi on ſuppoſe comme ci-devant que la longueur totale du Navire eſt de 144 pieds & ſa largeur de 40, que la ſaillie OG ou ND de la proüe doit être d'un peu plus de 44 pieds. D'où il ſuit que le corps NQ de la carène aura environ 32 pieds de longueur, & la poupe environ 68. On pourra obſerver à-peu-près les mêmes proportions dans tous les autres Navires.

Il n'eſt pas étonnant que la proüe ſe trouve un peu plus longue que lorſqu'elle eſt formée en pointe par deux plans verticaux qui font un angle. Car la longueur de la proüe dans cet autre cas ne contribuë au *maximum* du mouvement que par un ſeul chef, & elle y nuit au contraire par deux. Elle y contribuë en rendant la proüe plus aiguë & en faiſant diminuer la réſiſtance de l'eau, ce qui rend le ſillage un peu plus prompt. Au lieu qu'elle y nuit, 1°. En rendant moindre la capacité de la carène, & 2°. En faiſant diminuer la force qu'a le Navire pour porter la voile, ce qui cauſe donc auſſi quelque diminution ſur la viteſſe du ſillage. Ce n'eſt pas la même choſe dans le cas préſent; la force qu'a le Navire pour ſoutenir la voile, eſt conſtante, puiſque la figure & l'étenduë de la coupe horiſontale DEFG de la carène ne changent pas. C'eſt pourquoi on trouve de l'a-

Digitized by Google

Fig. 122. vantage à allonger un peu plus la prouë; on diminuë un peu de la capacité de la cale; mais on gagne plus à proportion sur la viteſſe de la marche. Au ſurplus ſi on adoucit les arrêtes du Navire de la figure 122, on aura preſque la forme des Flutes Hollandoiſes; à cela près que ces Flutes n'ont pas tant de *façons* ou que leur prouë a moins de ſaillie; ce qui nous montre que ſi les Nations Septentrionales ont le plus approché de la perfection à l'égard des bâtimens de charge, elles ne l'ont cependant pas entierement atteinte. Elles ont manqué le *maximum* du mouvement en rendant la capacité de leur Navire trop grande, & en faiſant trop diminuer la promptitude du ſillage. Les grandes façons de notre Flute feront encore qu'elle dérivera aſſez peu, pourvû qu'on prolonge ſuffiſammentſa quille au-deſſous de la prouë, en donnant à l'étrave une ſituation plus verticale. Nous avons déja averti de la néceſſité de conſerver cette partie qui n'eſt pas exprimée dans la figure que nous avons actuellement ſous les yeux, mais qui l'eſt dans pluſieurs autres & principalement dans la vingt-cinquiéme. En un mot, nous ne faiſons pas difficulté de dire que nous croyons avoir obtenu par cette ſeconde ſolution, la forme la plus parfaite qu'on puiſſe donner aux Navires de tranſport, lorſqu'il n'y a point de raiſons particulieres pour inſiſter plus ou moins ſur une proprieté ou ſur l'autre; ſur celle qu'ils doivent avoir de porter une grande charge, ou ſur celle de marcher avec viteſſe. Il eſt abſolument néceſſaire de mettre ici cette reſtriction: car ſi une Flute n'eſt deſtinée qu'à faire des voyages dans une certaine ſaiſon, ſans qu'on puiſſe les multiplier, & que cependant on ait du tems de reſte; il eſt évident que ce n'eſt plus le cas dont il s'agit dans notre Problême. On doit alors renoncer au *maximum* du mouvement, pour ſe raprocher de la conſtruction Hollandoiſe, en augmentant la grandeur de la cale.

Digitized by Google

Fig. 122.

III.

Méthode particuliere de former les Vaiſſeaux de Guerre & les Frégates.

On pourra donner avec avantage cette même forme aux Vaiſſeaux de guerre; la rectitude de leur flancs, comme nous l'avons dit dans le premier Livre, permettra de leur donner une nombreuſe artillerie; leur pont ou tillac ſera non-ſeulement très-vaſte, il ſera également large par tout; ce qui eſt extrêmement avantageux: & malgré cela ces Vaiſſeaux marcheront avec la plus grande viteſſe, ſi on leur donne les voiles qu'ils pourront porter. La partie dont nous avons parlé plus haut qui eſt marquée par BCF dans la figure 25, ne peut nuire à la rapidité du ſillage que par la ſeule réſiſtance qu'éprouve ſon extremité ou l'épaiſſeur de l'étrave: cette réſiſtance ſera toujours peu conſiderable dans tous les Navires; & ſi on vouloit la détruire preſqu'entierement, il n'y auroit qu'à former l'étrave en couteau, & garnir de fer ſon tranchant, pour qu'il ne s'émouſſât pas.

Rien n'empêchera auſſi, lorſque le poids des parties ſupérieures le permettra, de ſuprimer entierement le tronc de la carène qui ſépare l'avant de l'arriere. Les deux plans inclinés qui formeront la proüe & la poupe, partiront enſuite en bas du même point; ils ſeront d'autant plus inclinés que le Navire ſera plus long par raport à ſa profondeur. On aura de cette ſorte une Frégate ou une corvette qui ne paroîtra qu'ébauchée, mais dont il faudroit cependant faire quelques eſſais, pour ſçavoir ſi elle n'eſt pas réellement préférable à toutes les autres; quoiqu'on ſe fonde en la propoſant, ſur la remarque faite à la fin du Chapitre IV. & qu'il ſemble qu'on n'ait en vûë que la ſeule commodité des Matins. C'eſt toujours un avantage dont elle jouira, & qu'il faut joindre aux autres, dont nous avons fait mention au commencement de l'article précé-

Digitized by Google

Fig. 121. dent, que le concours de toutes les directions du choc de l'eau, ſe faſſe vers le milieu de la carène. On ſe ſouvient que c'eſt au-deſſus de ce point que doit repondre l'effort total du vent ſur les voiles : ainſi au lieu d'être obligé d'entaſſer, pour ainſi dire, les mâts les uns auprès des autres vers la prouë, on aura ici tout le champ néceſſaire, on aura toute l'étenduë que fournit la longueur du Navire; ce qui donnera également au Conſtructeur la facilité de bien diſpoſer la mâture & de la rendre legere, en étendant plus les voiles dans le ſens de la largeur que dans celui de la hauteur; & aux Matelots la facilité d'executer en Mer toutes leurs manœuvres.

C'eſt principalement à l'égard de cette Frégate, qu'il faudra employer le moyen que nous avons indiqué à la fin du Livre précédent, pour remedier à la violence du tangage, en raſſemblant preſque tout le poids vers le milieu de la cale. On pourra non-ſeulement, lors qu'on adoucira les angles que forment entr'elles les diverſes parties de la ſurface de la carène, ſe propoſer de faire diminuer encore l'impulſion de l'eau ſur la prouë; on pourra gagner quelque choſe en retreciſſant le Navire par ſes deux extrémités, pourvû que ce retreciſſement n'aille pas trop loin. Si ces Bâtimens pechent par quelque endroit, c'eſt qu'ils ſeront plus propres à gliſſer ſur l'eau qu'à la fendre, & que leur forme déterminera plutôt l'eau à paſſer par deſſous la carène qu'à ſe retirer par les côtés: mais ce défaut n'eſt porté ſi loin dans les Chalands & dans les Bateaux qui navigent ſur les rivieres, que parce qu'ils ſont trop larges par raport à leur profondeur; & qu'ils ſont outre cela dénués de ces deux parties qui ſervent à lier la quille avec la prouë & la poupe, & qui ſe terminent à l'étrave & à l'étambot, placés preſque verticalement. Il ne ſeroit enfin queſtion, à ce qu'il nous paroît, que d'accoutumer ſes yeux à de ſemblables figures; tout ſe reduiroit à une ſeule forme dans la conſtruction, & rien ne ſeroit enſuite plus ſimple que l'Architecture navale qui étoit auparavant ſi difficile.

CHAP.

Digitized by Google

CHAPITRE X.

Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particuliere qu'il faut donner à la prouë des Navires de tranſport.

I.

MAIS malgré toutes nos recherches, nous n'avons encore trouvé que la forme générale du Navire de tranſport, ou les ſeules proportions qu'on doit mettre entre les diverſes parties de ſa carène; & nous ignorons toujours la figure propre de ſa prouë, qui au lieu d'être terminée par un plan incliné, doit l'être par une ſurface courbe. La prouë formée par un plan incliné en avant réunit en même tems, comme nous l'avons montré, les deux proprietés d'éprouver la moindre réſiſtance de la part de l'eau & de faire ſingler le Navire avec la plus grande rapidité; & ce plan incliné de plus ſelon ſelon le degré precis que nous venons de déterminer, fera que tout conſideré, la quantité du tranſport ſera la plus grande qu'il ſera poſſible. Mais en ſubſtituant au plan une ſurface courbe, nous pouvons, en perdant quelque choſe du côté de la promptitude du ſillage, faire une plus grande acquiſition ſur la grandeur de la carène, & gagner par conſéquent encore ſur la quantité totale de la charge, en tant qu'elle eſt tranſportée. Cette ſurface courbe conſtituera une troiſiéme eſpece de prouë, qu'on peut nommer celle *du plus grand mouvement* pour la diſtinguer des deux autres, de celle *de la moindre dérive* ou *de la moindre réſiſtance*, & de celle *de la plus grande viteſſe*. Il nous reſte donc encore à tacher de découvrir la nature de cette derniere prouë, ſi nous voulons ne pas nous contenter d'une perfection univerſelle repanduë ſur le total de la figure, & que nous prétendions

Fig. 122. que chaque partie du Navire de transport soit parfaite prise séparement.

Nous nous hâtons de passer par les discussions préliminaires de la hauteur de la mâture, de l'étenduë des voiles, de la viteſſe du ſillage, &c. dont on voit assez la néceſſité indiſpenſable ; pour venir plus promptement à l'intérieur même du Problême, ou à ce qui le distingue du précédent. Nous nommerons, ainſi que nous l'avons déja fait ailleurs, M la ſtabilité ou la force relative qu'à le Navire pour ſoutenir l'effort que fait le vent ſur la voile. On évaluera cette force en livres : & comme il n'en eſt qu'une certaine partie, comme la ſixiéme, par exemple, qui s'oppoſe à l'effort du vent, parce que le Navire ne doit jamais s'incliner tout-à-fait, nous déſignerons cette partie par fM qui doit donc être égale au moment de l'effort du vent ; & ce qui donne l'équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$. La hauteur des voiles eſt toujours indiquée par h, leur largeur par l, & l'effort abſolu du vent ſur chaque pied quarré de ſurface par i ; ce qui donne lh pour l'étenduë des voiles ; lhi pour l'effort abſolu du vent, & $\frac{1}{2} lh^2 i$ pour ſon moment. De cette équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$, j'en déduis la hauteur des voiles $h = \sqrt{\frac{2fM}{li}}$, & leur étenduë $lh = \sqrt{\frac{2flM}{i}}$.

Je nomme de plus I l'impulſion totale directe de l'eau ſur la proüe, telle qu'elle nous eſt fournie immédiatement par les méthodes purement géométriques, lorſqu'on prend l'unité pour ſinus total : C'eſt-à-dire, que I déſigne l'étenduë de la ſurface plane qui recevroit la même impulſion, ſi elle étoit expoſée perpendiculairement au choc du fluide. Je la multiplie par la denſité D de l'eau & par le quarré v^2 de la viteſſe du ſillage : ce qui me donne DIv^2 pour l'impulſion complete ou phyſique, qui eſt parfaitement égale & parfaitement contraire à l'impulſion du vent ſur les voiles, lorſque le Navire a acquis ſon mouvement uniforme. Cette derniere impulſion eſt $V - v$ $\sqrt{\frac{2fM}{i}}$ produit de l'etenduë $\sqrt{\frac{2flM}{i}}$ de la ſurface expoſée au

choc par la denſité I de l'air & par le quarré $\overline{V-v}^2$ de la viteſſe reſpective du vent ou de l'excès de la viteſſe V du vent ſur celle du Navire. Ainſi nous avons dans le cas de l'équilibre $D \times I \times v^2 = \overline{V-v}^2 \sqrt{\frac{2fIM}{i}}$ dont nous déduiſons la viteſſe du Navire $v = \frac{V\sqrt{\sqrt{2fIM}}}{\sqrt{\sqrt{iD}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}$. Fig. 111.

Enfin je nomme P la peſanteur totale du Vaiſſeau, & la multipliant par la viteſſe que je viens de trouver, il me vient $\frac{V \times P\sqrt{\sqrt{2fIM}}}{\sqrt{\sqrt{iD}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}$ pour la quantité du *tranſport*, ou pour celle du mouvement. C'eſt cette quantité que nous voulons rendre un *maximum* : c'eſt pourquoi j'en prends la différentielle, en traitant la peſanteur P comme variable, de même que le moment ou la ſtabilité M, & l'impulſion I : & cette différentielle égalée à zéro, ſe réduit à $\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{iD}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}} = \frac{\frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{iD} \times M \times P \times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{iD} \times I \times P \times dM}}}{\sqrt{I} \times M^{\frac{1}{4}} \times \sqrt{\sqrt{iD}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}^2}$.

Ainſi il ne s'agit plus que d'aſſujettir à cette équation toute la courbure de la proüe ; & on n'y trouvera aucune difficulté auſſi-tôt qu'on fera attention à la maniere dont nous avons déja conſideré ci-devant les différentielles des quantités particulieres M & I dans le Chapitre VI.

II.

Supoſé que la proüe ſoit un conoïde formé par la révolution de la courbe RT (Fig. 119.) autour de ſon axe RS, dont les abſciſſes ſont déſignées par x, pendant que les ordonnées de la courbe le ſont par y, on n'a qu'à conſiderer deux parties conſécutives & infiniment petites DH & HF de la ligne courbe & leur faire prendre la ſituation Dh, hF, en laiſſant les dy ou IH & FL conſtantes, & ne faiſant varier que les dx, de la petite quantité du ſecond genre Hh = ddx. L'aire renfermée par la courbe ſe trouvera augmentée des deux petits triangles DHh, FHh dont l'éten- Fig. 119.

Fig. 119. duë eſt $dyddx$, & ſi on la multiplie par la longueur du chemin de rotation que décrit ſon centre de gravité, pendant que la courbe engendre le conoïde, on aura l'anneau par lequel la peſanteur totale P eſt augmentée. J'exprime par π & ϖ le raport du rayon à la demi-circonférence du cercle ; ce qui me donne $\frac{\varpi y}{\pi}$ pour le chemin de rotation, ou pour le pourtour du demi-anneau que forment les deux triangles DHh & HFf par leur demi-circonvolution autour de l'axe AC ou RS. Ainſi $\frac{\varpi}{\pi} ydyddx$ ſera la ſolidité de cet anneau & ce ſera en même tems la valeur que nous voulions obtenir, de la différentielle dP de la peſanteur P.

Le moment M, comme on le ſçait, eſt égal à $\frac{1}{3}\int y^3 dx$ ou aux deux tiers de l'eſpace RPG, lorſqu'on rend les ordonnées EM, GP, &c. de la nouvelle courbe RP égales aux cubes y^3 des ordonnées correſpondantes ED, GF de la courbe qui forme le conoïde. Ainſi la différentielle dM ſera égale aux deux tiers des deux petits triangles MNn & NPn qui naiſſent par le changement de diſpoſition des petits côtés MN, NP de la courbe RP, en même tems qu'on fait changer la diſpoſition des petits côtés de la courbe principale. Nous avons pour NO ou QP l'expreſſion $3y^2dy$ différentielle de y^3 : multipliant $3y^2dy$ par N$n = ddx$, nous aurons $3y^2dyddx$ pour l'étenduë des deux petits triangles dont il s'agit ; & nous aurons donc $2y^2dyddx$ pour la valeur de la différentielle dM.

Il nous reſte à chercher dI. Je prends l'unité pour ſinus total & je remarque que l'angle IDH eſt égal à l'angle d'incidence de l'eau ſur la petite partie DH ou ſur toute la zone que forme DH par ſa demi-révolution ; puiſque le mouvement du ſillage eſt cenſé ſe faire dans le ſens exactement parallele à l'axe RS ou à DI. Nous trouverons donc le ſinus de l'angle d'incidence par cette analogie

$$\sqrt{dx^2+dy^2} = \mathrm{DH} = \sqrt{\mathrm{DI}^2+\mathrm{IH}^2}\,|\,dy = \mathrm{HI}\,||\,1\,|\,\frac{dy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$$

Digitized by Google

& il n'y a qu'à en multiplier le quarré $\frac{dy^2}{dx^2+dy^2}$ par la couronne plane à laquelle se reduit la zone qui reçoit le choc, lorsqu'on la projette sur un plan perpendiculaire à l'axe. Cette couronne a pour circuit la demi-circonférence $\frac{\pi y}{r}$ dont l'ordonnée y est le rayon, & sa largeur est HI $= dy$. Ainsi l'impulsion relative, selon la détermination de l'axe que souffre la zone formée par la revolution du petit côté DH, est égale à $\frac{\pi ydy^3}{r\times dx^2+dy^2}$, & cette expression convient aussi à l'impulsion que reçoit la seconde zone formée par HF, supposé que dx & dy désignent HL & LF. Mais enfin lorsque les deux petits côtés DH & HF prendront la disposition Dh & hF, la petite impulsion $\frac{\pi ydy^3}{r\times dx^2+dy^2}$ augmentera à l'égard d'une des petites zones & diminuera à l'égard de l'autre. Le changement particulier à l'égard de chacune sera $\frac{2\cdot ydy^3dxddx}{r\times dy^2+dx^2}$; d'où il suit que le changement sur les deux sera $\frac{2\cdot ydy^3dxddx}{r\times dy^2+dx^2}$, — $\frac{2\cdot ydy^3dxddx}{r\times dy^2+dx^2}$ & c'est la valeur de dI dont nous avions besoin en dernier lieu. Fig. 119.

Ainsi rien ne nous empêche maintenant de transformer la premiere équation du Problême $\frac{dP\sqrt{M}}{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{1}f\sqrt{M}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times M\times P\times dI-\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{1}{4}}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{1}f\sqrt{M}}^2}$ en cette autre ....

$$\frac{\frac{\pi}{r}ydyddx\sqrt{M}}{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{1}f\sqrt{M}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times M\times P\times\frac{2\cdot ydy^3dxddx}{r\times dy^2+dx^2}-\frac{2\cdot ydy^3dxddx}{r\times dy^2+dx^2}-\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times I\times P\times 2y^2dyddx}{\sqrt{I}\times M^{\frac{1}{4}}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{1}f\sqrt{M}}^2}$$

qui se change par la transposition, & lorsqu'on multiplie

Fig. 119. par $\sqrt{I}\times M^{\frac{3}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}^{3}$ & qu'on divise par ddx, en $\frac{\pi}{f}\,ydy\times M\sqrt{I}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}+\frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times y^{2}dy=\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{5}}-\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{5}}$ qui doit regner sur toutes les parties de la courbe RT du conoïde que nous voulons déterminer. J'integre cette derniere équation, en remarquant que la quantité $\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{5}}-\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{5}}$ contenuë dans le second membre est la différentielle de $\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{3}}$, puis qu'elle est l'excès de la grandeur $\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{3}}$ qui apartient à une des zones sur la même grandeur qui apartient à la zone immédiatement suivante. L'équation prend par l'intégration, sans qu'il soit néceſſaire d'y rien ajouter, la forme ordinaire des équations différentielles, $\frac{\pi}{12}y^{2}\times M\sqrt{I}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}+\frac{1}{6}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times y^{3}=\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times\frac{-ydy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{3}}$ qui se reduit à $3\pi y\times M\sqrt{I}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}+8\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times y^{2}=6\pi\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times\frac{dy^{3}dx}{\sqrt{dy^{2}+dx^{2}}^{3}}$; & ſi on prend une variable z qui ſoit telle par raport à la conſtante a, que $dx=\frac{zdy}{a}$, on trouvera $y=-\frac{3\pi M\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}}{2\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}\times P}}+\sqrt{\frac{9\pi^{2}M^{2}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fl}M}}}^{3}}{4^{2}\sqrt{i}\times D\times I\times P^{2}}}+\frac{6\pi M\times a^{3}z}{\sqrt{I\times a^{2}+z^{2}}^{3}}$. Il ne reſte plus après cela qu'à chercher en différentiant, la valeur de dy & à l'introduire dans l'équation $dx=\frac{zdy}{a}$, pour avoir dx. Il vient $x=$

$$\int \frac{\frac{3\pi M}{\delta \times I} \times \frac{a^4 z dz - 3a^2 z^3 dz}{\overline{a^2 + z^2}^3}}{\sqrt{\frac{9\pi^2 M^2 \times \sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{\sqrt{2fl}M}}^2}{4\delta^2 \sqrt{i} \times D \times I \times P^2} + \frac{6\pi M a^3 z}{\delta \times I \times \overline{a^2 + z^2}^2}}}.$$ Ainsi on

a donc la relation par raport à z des abscisses x & des ordonnées y du conoïde le plus simple, qui est propre à former *la prouë du plus grand mouvement.* Il est évident qu'on pourra toujours trouver autant de différentes valeurs de ces abscisses & de ces ordonnées, qu'on attribuera de diverses grandeurs à la variable z.

III.

Le Problême sera incomparablement moins compliqué dans le cas qui nous interesse particulierement, ou lorsque la prouë au lieu d'être un conoïde, sera simplement terminée par une surface courbe de haut en bas & inclinée en avant, comme nous le souhaitons à l'égard du Navire de la figure 122. Alors la différentielle dM sera nulle, puisque la figure de la prouë ne changera rien aux largeurs du Navire. Les deux autres différentielles dP & dI subsisteront toujours; mais elles seront plus simples. Je n'ai que faire d'avertir que la prouë étant terminée par une surface DP, la ligne droite GP deviendra courbe, & que x désigne les abscisses ou parties de son axe GO & y ses ordonnées qui sont verticales & paralleles à OP. Cela suposé, la différentielle dP de la pesanteur P, au lieu d'être égale à $\frac{\pi}{\delta} ydyddx$ sera simplement égale à $2cdyddx$; c'est-à-dire, à l'étenduë des deux petits triangles $dyddx$ que produit le renflement de la prouë ou le changement de disposition des deux petits côtés consecutifs de GP devenuë ligne courbe, multipliée par DG ou par $2c$, qui est la largeur de la carène. Par la même raison l'impulsion sur une zone, qui étoit $\frac{\pi ydy^3}{\delta \times \overline{dx^2 + dy^2}^2}$ lorsque cette zone étoit circulaire,

Fig. 122.

Digitized by Google

Fig. 122. sera actuellement $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$. Le sinus de l'angle d'incidence est le même, mais la zone étant rectiligne dans le sens horisontal & ayant pour longueur la largeur $2c$ de la proue, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par $2cdy$ pour avoir l'impulsion relative directe $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$ selon le sens de l'axe. Il suit de là que la différentielle dI, est $\frac{4cdy^3dxddx}{dy^2+dx^2}^2 - \frac{4cdy^3dxddx}{dy^2+dx^2}^2$, & si on introduit ces nouvelles différentielles dans la premiere équation, on aura $\frac{2cdyddx\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{iv}D\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}} = \frac{2c\sqrt{\sqrt{iv}D\times M\times P}}{\sqrt{I\times M^{\frac{1}{4}}}\times\sqrt{\sqrt{iv}D\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}^2} \times \frac{dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}^2 - \frac{dy^3dxddx}{dy^2+dx^2}^2$ qui se reduit par des opérations semblables à celles que nous avons employées il n'y a qu'un moment, à $y\sqrt{I}\times\sqrt{\sqrt{iv}D\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}} = \sqrt{\sqrt{iv}D} \times P\times\frac{dy^3dx}{dy^2+dx^2}^2$. Introduisant ensuite $\frac{zdy}{a}$ à la place de dx, on a $y = \frac{\sqrt{\sqrt{iv}D\times P}}{\sqrt{\sqrt{iv}D\times 1+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}\times\frac{a^3z}{a^2+z^2}^2$; d'où repassant à dx, on trouve $x = \frac{\sqrt{\sqrt{iv}D\times P}}{\sqrt{\sqrt{iv}D\times 1+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}\int\frac{a^4zdz-3a^2z^3dz}{a^2+z^2}^3$; ce qui resout entierement la question, & ce qui oblige simplement d'avoir recours aux logarithmes ou à la quadrature de l'hyperbole.

Nous avons saisi exprès pour en faire l'origine de notre courbe le terme où la quantité $\frac{a^3z}{a^2+z}^2$ est égale à zéro : mais cette quantité en augmentant parvient à son *maximum*, lorsque $z=a\sqrt{\frac{1}{3}}$ & diminue ensuite ; & si on prend ce *maximum* pour en faire l'origine de la courbe, le second membre de la formule $y = \frac{\sqrt{\sqrt{iv}D\times P}}{\sqrt{\sqrt{iv}D\times 1+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}\times\frac{a^3z}{a^2+z^2}^2$ ira

en

Digitized by Google

en diminuant à mesure qu'on fera augmenter z, & il faudra donc aussi faire diminuer le premier membre. Il suffira pour cela de prendre e pour la plus grande valeur de y, ou pour l'ordonnée OP (Fig. 121.) & on aura alors $e-y = \frac{\sqrt{\sqrt{iv}D \times P}}{\sqrt{\sqrt{iv}D \times I + \sqrt{I}\sqrt{\sqrt{v}fIM}} \times \frac{a^2 z}{a^2+z^2}}$. On peut enter cette nouvelle courbe à l'extremité de la premiere : car la proprieté qu'elles ont est non-seulement commune à chaque partie, elle subsiste encore lorsqu'on éloigne ou qu'on raproche la courbe de son axe, en changeant toutes ses ordonnées d'une quantité égale. On le verra évidemment, aussi-tôt qu'on fera attention que cette transposition ne change rien dans la loi qu'observent entr'elles les différentielles de la pesanteur P, de l'impulsion I, &c. J'ai non-seulement calculé les dimensions de la courbe entiere en joignant les deux parties, j'ai suputé aussi les impulsions que souffrent tous les arcs à commencer dès l'origine. Le tout est exprimé dans la Table suivante, mais il faut se ressouvenir que c'est en milliémes de l'unité.

Fig. 121.

Digitized by Google

Fig. 122.

TABLE

Des dimenſions de la prouë du plus grand mouvement.

Abſciſſes ou longueurs de l'axe de la proüe.	Ordonnées ou profondeurs de la proüe.	Impulſions.	Abſciſſes ou longueurs de l'axe de la proüe.	Ordonnées ou profondeurs de la proüe.	Impulſions.
0	0	0	259	508	397
1	50	50	284	524	402
5	98	97	307	538	406
18	185	182	328	550	409
35	252	245	349	561	411
50	297	285	365	570	413
61	320	304	381	578	414
63	325	308	412	592	417
69	335	316	437	602	418
83	352	327	457	610	419
102	375	340	486	620	420
126	400	354	511	628	421
152	425	365	541	636	422
179	448	375	586	645	422
206	470	384	612	649	422
233	490	391	628	650	422

On juge aſſez que c'eſt le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{i}D \times P}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{i}D \times I + \sqrt{l}\sqrt{\sqrt{2}fM}}}$ qui multipliant également la valeur des abſciſſes & des ordonnées, regle le choix qu'on doit faire des diverſes parties de la courbe. Si on évaluë tout en pieds de Roy & en livres, on pourra mettre à la place de i, de D, de l les mêmes nombres que dans le Chapitre précédent. Le moment M doit être multiplié par 72 livres qui eſt le poids du pied cubique d'eau de mer, & comme il n'y a guere que la ſixiéme partie de ce moment qui faſſe effet, on aura 12M pour fM, & par conſéquent $f = 12$. Il ne ſera pas difficile non plus de trouver l'impulſion I; on y réuſſira par une ſimple analogie. Supoſé qu'on veuille employer la par-

Digitized by Google

tie de la courbe qui eſt compriſe depuis l'ordonnée 550 jusqu'à l'ordonnée 602; cette partie ſouffre une impulſion qui eſt exprimée par 9, excès de 418 ſur 409; & ſi la plus grande ordonnée ou profondeur OP de la proüe eſt de 20 pieds, il faudra faire cette proportion; 52 différence des ordonnées de la Table eſt à 20 pieds, comme 9 eſt à $\frac{3\,6}{1\,3}$ qu'il ne reſtera plus qu'à multiplier par la largeur (40) de la proüe, pour avoir l'impulſion I qui ſera de $138\,\frac{6}{13}$. Enfin il eſt évident qu'on n'aura trouvé la portion de la courbe dont on doit ſe ſervir, que lorſque la partie de l'ordonnée qui lui répond & qui eſt comme je l'ai dit exprimée dans la Table en milliémes de l'unité, donnera étant multipliée par $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\times P}}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\times I+\sqrt{I\sqrt{\sqrt{1fIM}}}}}}}$, le nombre de pieds que doit avoir effectivement la plus grande ordonnée ou profondeur OP. C'eſt à-peu-près cette partie que nous venons de déſigner & qui eſt compriſe entre les ordonnées marquées par 550 & 602, qui eſt propre pour la Flute de 144 pieds de longueur, de 40 de largeur & 20 de profondeur. Supoſé que cette Flute fut plus longue à proportion de ſes autres dimenſions, comme cela arrivera ordinairement, il faudroit emprunter une partie encore plus petite de la courbe pour ſervir de modele: car le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\times P}}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\times I+\sqrt{I\sqrt{\sqrt{1fIM}}}}}}}$ ſeroit plus grand, à cauſe de l'augmentation de P; & ce ne ſeroit donc qu'en multipliant par une ordonnée plus petite de la Table, qu'on trouveroit comme on le doit, 20 pieds pour la valeur de OP. Alors la courbure de la ſurface de la proüe, qui eſt déja ſi peu conſidérable, le ſeroit encore moins; & c'eſt ce qui eſt très-évident d'ailleurs. Il eſt clair que ſi le Navire étoit infiniment long, la convexité qu'on pourroit donner à la proüe ne procureroit aucune augmentation ſenſible à la capacité de ſa cale, pendant qu'elle ſeroit retarder ſenſiblement la viteſſe du ſillage: ainſi ſans rien gagner d'un côté, on perdroit de l'autre, & la quantité totale du mouvement ſe trouveroit plus petite. Il ſuit delà qu'il faudroit dans ce cas extrê- Fig 121.

Fig. 122. me s'arrêter exactement à la figure de la proüe de la moindre réſiſtance ou de la plus grande viteſſe, comme dans la figure 122. Mais on voit en même tems que dans tous les autres cas dans leſquels la proüe du plus grand mouvement differe de celle de la plus grande viteſſe, la ſurface DP qui la termine ne doit prendre de la courbure que peu à peu, à meſure qu'on rend le Navire moins long, ou qu'on diminuë ſa ſolidité. On peut au ſurplus négliger toujours, ſi on le veut, toute cette courbure, puiſque la convexité qu'elle produit par raport à la ligne droite qui lui ſert de corde, n'eſt jamais que la 48 ou la 50me. partie de ſa longueur.

IV.

Il eſt vrai que nous trouverions l'inflexion preſque toujours un peu plus grande, ſi nous conſiderions la carène dans l'état d'heterogénéité où elle eſt ordinairement. Car auſſi-tôt qu'on rend un peu plus convexe la ſurface qui termine la proüe, il faut augmenter le leſt; & ſa peſanteur ſpécifique étant plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n, la force relative qu'a le Navire pour ſoutenir la voile augmente, comme nous l'avons démontré dans la ſeconde Section du Livre précédent*, du produit de l'eſpace ajouté par le multiple $n-1$ de la quantité dont ſon centre de gravité eſt au-deſſous de la ſurface du leſt; quoique la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, ne change ni de figure ni d'étenduë. Ainſi c'eſt une raiſon de plus pour augmenter un peu plus le renflement de la proüe. Mais on doit remarquer que ce renflement effectué ſur la ſeule extremité de la carène, ne peut jamais être conſiderable par raport à la ſolidité entiere du Navire, & qu'il s'en faut beaucoup qu'il puiſſe avoir les mêmes ſuites que lorſque l'eſpace eſt ajouté en même tems aux deux côtés du Vaiſſeau, & qu'il s'étend ſur toute ſa longueur par laquelle il ſe multiplie.

* Voyez l'art. 2 du Chap. 9.

Au reſte, notre méthode n'eſt point arrêtée par cette difficulté. La petite augmentation dP que reçoit la péſanteur

ou la solidité du Navire par le petit excès de convexité de la surface qui termine la proüe, est $2cdyddx$, & si nous faisons commencer pour plus de simplicité toutes les ordonnées y à la surface supérieure du lest, nous aurons $\overline{n-1} \times y \times 2cdyddx$ pour la petite augmention que recevra le moment ou la force relative M qu'a le Navire pour soutenir la voile. Au lieu de regarder dM comme nulle, on n'a qu'à introduire $\overline{n-1} \times 2cydyddx$ à sa place dans l'équation générale $\frac{dP\sqrt{M}}{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2}fIM}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times M\times P\times dI-\frac{1}{2}\sqrt{i}\sqrt{D}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{1}{2}}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2}fIM}}^{2}}$, en même tems qu'on fera les autres substitutions. On trouvera $y = \frac{4M\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2}fIM}}}{\overline{n-1}\times\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}\times P} + \sqrt{\frac{16M^2\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2}fIM}}^{2}}{\overline{n-1}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2}} + \frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}$ & $x = \int \frac{\frac{4M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^4zdz-3a^2z^3dz}{\overline{a^2+z^2}^2}}{\sqrt{\frac{16M^2\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2}fIM}}^{2}}{\overline{n-1}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2}+\frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}}}$, pour les ordonnées & les abscisses de la courbe qui est la correspondante de celle que nous avons trouvée la premiere dans l'article précédent, mais qui ne convenoit qu'au seul cas particulier dans lequel la pesanteur totale du Vaisseau a le même centre de gravité que sa carène, ou au moins dans lequel les nouveaux poids qu'il faut ajouter à la charge, lorsqu'on augmente la solidité de la carène, agissent toujours exactement dans le centre de gravité des espaces ajoutés. Nous n'avons encore que la partie de la courbe qui sert à former la proüe au-dessous de la surface du lest; mais il n'est pas plus difficile de déterminer l'autre. Il est remarquable que la proüe doive, dans la rigueur, avoir des

Fig. 122.

Digitized by Google

formes différentes, non-seulement selon les divers efforts du vent sur les voiles; mais aussi selon que la charge du Navire est d'une pesanteur spécifique, plus ou moins grande, & que son arrangement fait qu'elle monte plus ou moins haut dans la cale. Il est vrai que cette singularité en est moins une, depuis que nous avons vû quelque chose de semblable à l'égard de la figure de la poupe, & même à l'égard de la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur.

V.

Nous ajouterons une derniere remarque, qui est d'une trop grande importance pour que nous l'oublions, d'autant plus que nous avons promis de la faire. Nous travaillons toujours à faire diminuer la résistance que trouve la proüe à fendre l'eau, & à faire augmenter la stabilité du Navire ou la force qu'il a pour soutenir la voile. Si nous reussissons par ces deux moyens à rendre le sillage rapide, nous réussirons aussi à faire diminuer la dérive dans les routes obliques. Cependant elle pourroit ne pas diminuer autant qu'on le souhaite; parce que sa diminution ne répond qu'à la seule partie, qui dans les figures de même genre dépend de la moindre résistance de l'eau, & non pas à celle qui est causée par la plus grande stabilité du Navire. Cette derniere qualité est même presque toujours contraire à la proprieté que doit avoir le Navire de dériver peu: car le renflement de la carène dans les cas même où il est utile pour la marche, ne peut pas faire augmenter le moins du monde la résistance que trouve la proüe à fendre l'eau, sans faire augmenter au moins relativement la disposition qu'a le Navire à aller de côté. Ainsi il est à propos d'examiner toujours à part la quantité de la déviation, en cherchant l'obliquité de la route, pour une situation de voiles *donnée*. Il faut après tout reconnoître dans cette matiere des limites malgré soi, puisqu'on ne peut pas rendre la dérive nulle, quoiqu'on puisse toujours la faire diminuer de plus en plus.

Digitized by Google

CONCLUSION.

I.

Enfin après avoir satisfait autant qu'il nous a été possible à toutes les parties de l'engagement que nous avions pris, il sera sans doute convenable de résumer ici, si non les principales choses que nous avons expliquées, au moins celles qui ont raport à la figure du Navire. Nous ne feindrons pas de le repeter que nous croyons avoir donné des moyens infaillibles de se déterminer entre les différents avis des Constructeurs. On ne manquera plus désormais de *criterium* pour distinguer le meilleur parti ou pour bien choisir entre plusieurs plans proposés pour le même Navire. On ne se verra plus obligé de rien abandonner au hazard, en déférant à l'autorité si souvent trompeuse d'une Pratique qui n'est que grossiere.

Nous avons expliqué dans le second Livre tout ce qui concerne le Vaisseau lorsqu'il flote en repos. On reconnoitra si sa pésanteur n'est pas trop grande par raport à la solidité de sa carène, s'il aura assez de stabilité ou de force pour porter la voile, si sa batterie inférieure sera assez élevée au-dessus de la mer; pendant que les regles que nous avons données dans le troisiéme Livre & qu'on pourra reduire presque toutes à des opérations purement graphiques, apprendront si le Navire doit singler avec viteſſe, s'il sera sujet à peu de dérive dans les routes obliques, s'il gouvernera avec facilité. On discutera de cette sorte toutes les qualités du projet, en le mettant à l'épreuve d'un calcul qui ne coutera jamais que peu de travail. Les accidens même qui paroissent dépendre d'une cause plus irreguliere, seront soumis à la même regle: on a vû les moyens de déterminer la durée des balancemens du roulis; & quant à ceux du tangage on en jugera avec facilité, en examinant la distribution de la pesanteur, & la maniere dont elle est soutenuë dans tous les cas particuliers.

Digitized by Google

Le Géometre laborieux ne tardera pas à ſe trouver diſpenſé par les connoiſſances de fait qu'il aura bien-tôt acquiſes, de recommencer continuellement ſes ſuputations, ou de les pouſſer juſques dans le dernier détail. Il pourra outre cela faire quelques eſſais ſur des Navires déja conſtruits pour s'en ſervir comme de terme de comparaiſon. Ces experiences lui apprendront en un inſtant diverſes choſes qu'il auroit beaucoup plus de peine à découvrir par toute autre voye; & il lui ſuffira lorſqu'il s'agira de tout autre Vaiſſeau, de tenir compte de la différence ou de faire attention à toutes les cauſes néceſſaires de changemens.

II.

Nous ne nous ſommes pas bornés à diſtinguer entre un nombre toujours trop limité de projets ou de plans ceux qui ne ſont peut-être que les moins mauvais: nous nous ſommes propoſés d'aller ſaiſir dans l'infinité même de toutes les formes poſſibles celles qui ſont abſolument les meilleures. Lorſque la diſpoſition de différentes parties, contribue à porter plus loin une certaine proprieté, nous avons cherché la combinaiſon la plus avantageuſe, en déterminant le *maximum*. On pourra déſormais faire prévaloir ſurement laquelle des proprietés on voudra, & on ſçaura en même tems juſqu'à quel point ſera portée chaque autre.

On a vu que la plus grande coupe, ou que l'endroit le plus gros de la carène doit ſe placer à environ $\frac{3}{11}$ de la longueur, à commencer de la prouë: c'eſt la poſition qu'on doit donner à cette coupe pour augmenter le plus qu'il ſe peut l'effet du gouvernail. Si on veut rendre le Navire plus facile à gouverner par le moyen des voiles, il faudra porter l'endroit le plus gros un peu plus vers l'avant; mais alors la prouë deviendra plus obtuſe, & on préjudiciera en même tems & à la promptitude du ſillage & à la proprieté que doit avoir le Navire d'être ſujet à peu de dérive dans les routes obliques. On s'eſt aſſez convaincu, non pas de la ſimple difficulté, mais de l'impoſſibilité de ſatisfaire

ſatisfaire également à ces quatre conditions. Ne pouvant pas les concilier d'une maniere parfaite, il faut abſolument pour ne pas trop perdre d'un des avantages, ſe réſoudre à perdre auſſi un peu des autres; & il paroît que le parti le plus ſeur, eſt d'embraſſer ordinairement la diſpoſition qui favoriſe l'action du gouvernail, parce qu'elle tient une eſpece du milieu entre les autres.

On a expliqué dans le premier Livre pluſieurs methodes de tracer la coupe du Navire faite perpendiculairement à ſa longueur dans cet endroit le plus gros. Ces methodes peuvent ſervir; mais on les modifiera par les remarques que nous avons faites dans le ſecond & dans le troiſiéme Livre. Supoſé qu'on ne puiſſe pas ſe réſoudre à abandonner les pratiques ordinaires, & qu'on n'oſe pas aller tout d'un coup juſqu'au dernier terme du meilleur. Il eſt toujours à ſouhaiter que la carène ne ſoit que très-peu groſſe par raport à ſa longueur: la choſe eſt de la plus grande importance, & merite toute l'attention des Conſtructeurs. La coupe dans l'endroit le plus gros doit avoir la figure d'un trapeze qui deviendra un rectangle ou un triangle, dans les deux cas extrêmes. Elle doit être un triangle pour les Frégates les plus légeres, & on la fera en rectangle dans les bâtimens de tranſport, afin d'augmenter la grandeur de leur charge.

C'eſt par la même raiſon qu'il faut auſſi ſéparer dans ces derniers Navires la proüe de la poupe par une portion de la carène qui conſerve ſenſiblement la même groſſeur ſur une longueur conſiderable, & qui ſoit au moins un cinquiéme de celle du tout. Les regles vulgaires n'ont jamais mieux réuſſi que dans la conſtruction de ces ſortes de bâtimens: il ne reſte que très-peu à reformer ſur la figure des Flutes dont ſe ſervent les Nations Septentrionales; mais ces mêmes regles ont entierement manqué les Frégates & encore plus les Corvettes dont la proüe & la poupe doivent commencer à ſe retrecir ou à diminuer de groſſeur en partant même de la premiere coupe qui les ſépare. Les Navires de guerre tiennent comme le milieu entre les

précédens; ce sont des bâtimens de charge, mais dont le grand poids est située d'une maniere aussi particuliere qu'incommode. Leur centre de gravité étant trop près de leur métacentre, il faut les rendre plus larges que les autres Navires; ce qui est également nécessaire pour le service de leur artillerie.

Les principales dimensions étant arrêtées, on conduira la courbure des *lisses* & on achevera l'ouvrage. On employera les methodes d'aproximation que nous avons indiquées dans le Chapitre XI de la premiere Section du premier Livre, ou bien on se conformera aux Tables que nous avons eu le soin de calculer & d'inserer dans la derniere Section de ce Traité, afin d'inviter encore mieux la pratique à recevoir toutes les instructions que lui offroit la Théorie. Nous ne disons rien de la mâture; ses dimensions auront été reglées d'avance. Enfin le Navire singlera non-seulement avec la plus grande viteſſe, il navigera avec toute la sureté qui dépend du raport parfait qu'on pouvoit mettre entre toutes ses parties.

FIN.

VILLE DE LYON
Biblioth. du Palais des Arts

De l'imprimerie de J. CHARDON.

Digitized by Google

Fig. 1re

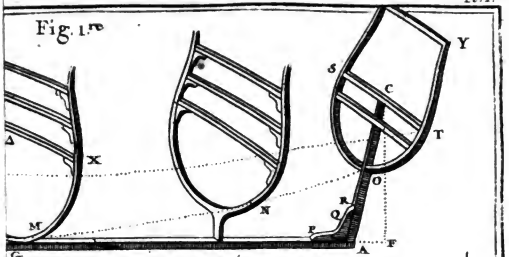


Fig. 4

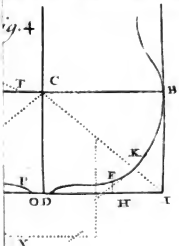


Fig. 5

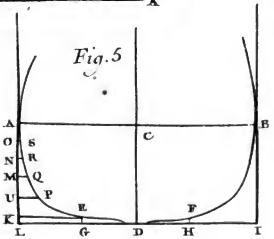


Fig. 7.

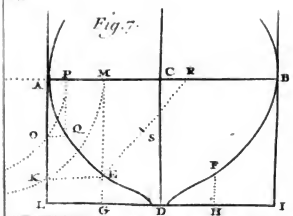
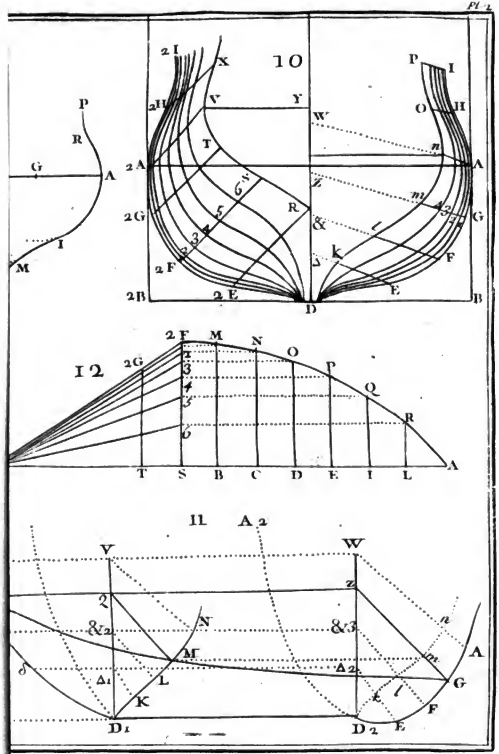


Fig. 6

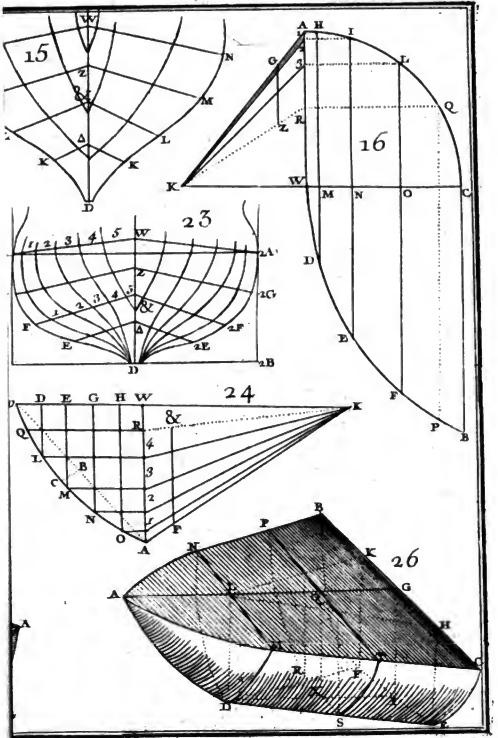
Digitized by Google

Digitized by Google



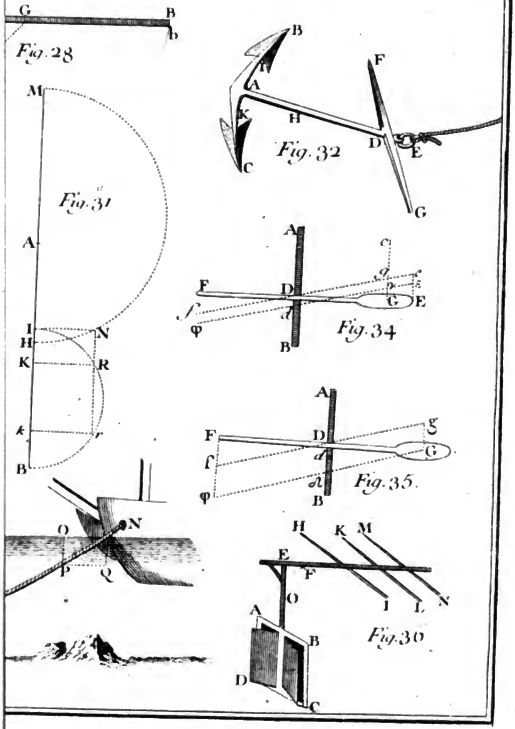
Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

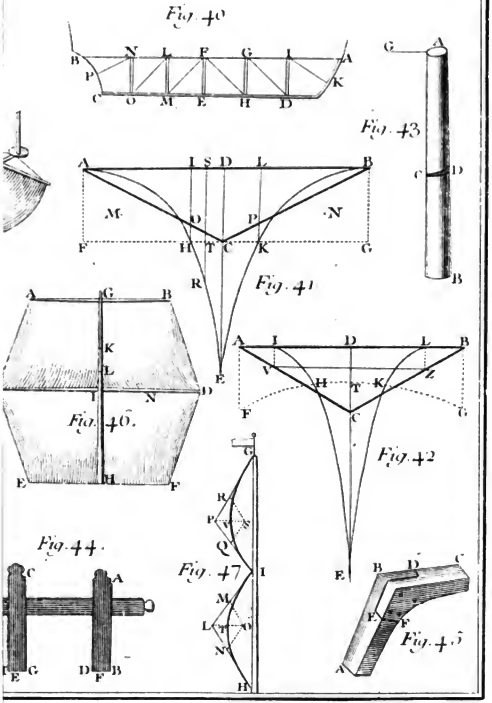


Fig. 40
B N L F G I A
P K
C O M E H D
Fig. 43
G A
C D
B
A I S D L B
M O P N
F H T C K G
R
Fig. 41
A G B
K
L
D
I N
E
Fig. 40.
E H F
A I D L B
V H T K Z
F C G
Fig. 42
G
R
P S
Q
Fig. 47
I
M
L O
N
H
Fig. 44.
C A
E G D F B
B D C
E F
A
Fig. 45

Digitized by Google

Fig. 50

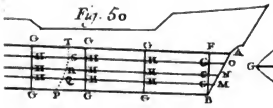
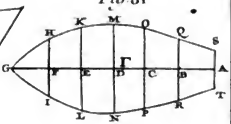


Fig 51



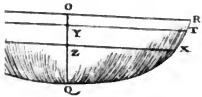


Fig. 52

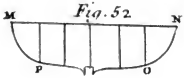


Fig. 55

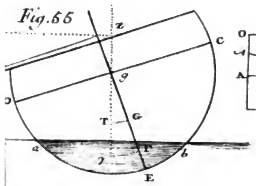
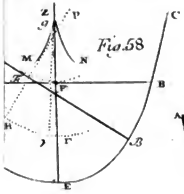
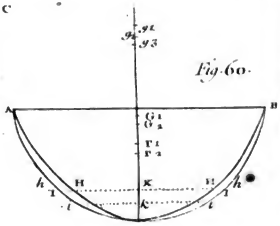


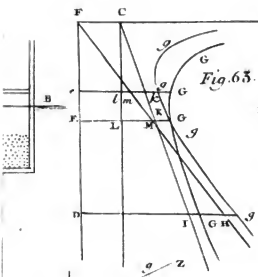
Fig. 56

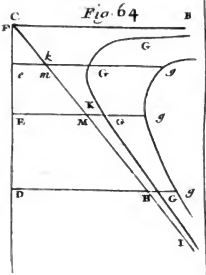
Digitized by Google

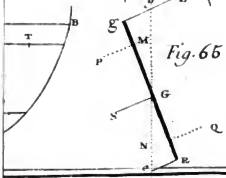
Digitized by Google











Digitized by Google

Digitized by Google

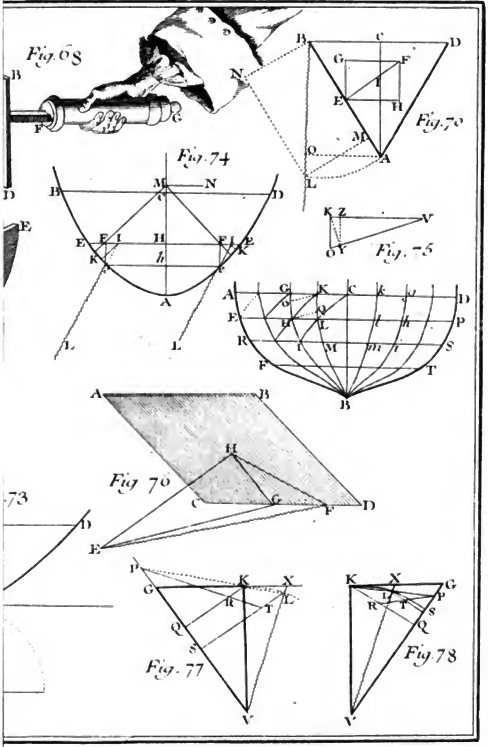
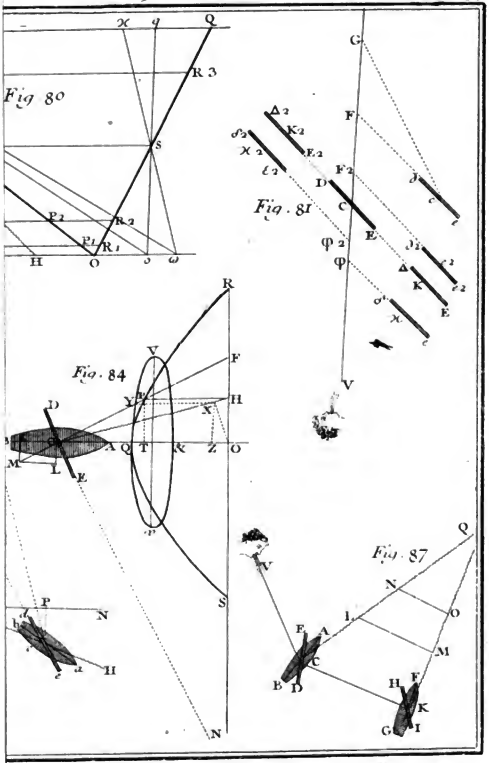
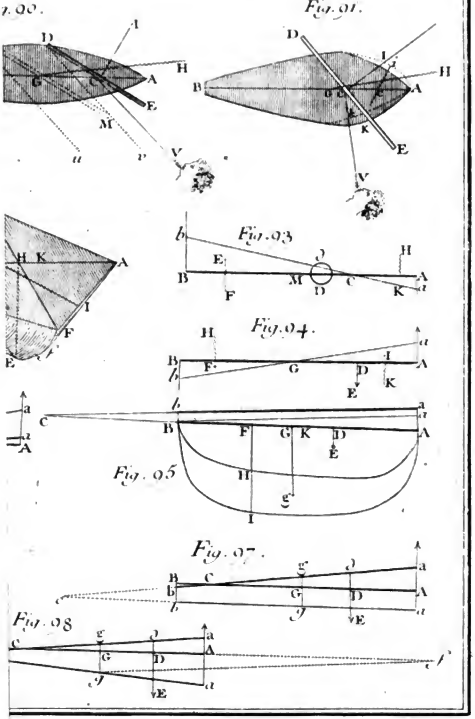


Fig. 68
Fig. 70
Fig. 74
Fig. 75
Fig. 76
Fig. 77
Fig. 78

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

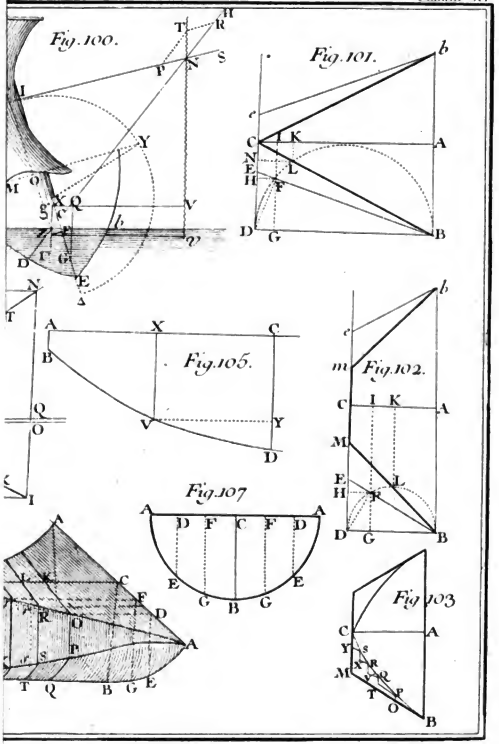


Fig. 100.
Fig. 101.
Fig. 105.
Fig. 102.
Fig. 107
Fig. 103

Digitized by Google

Fig. 112

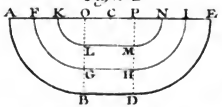


Fig. 113

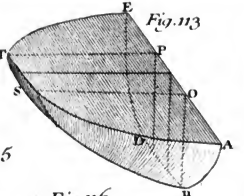


Fig. 115

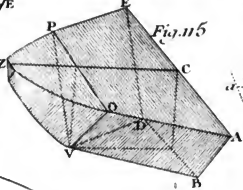
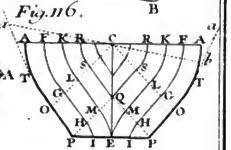


Fig. 116.



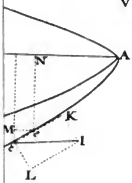


Fig. 117.

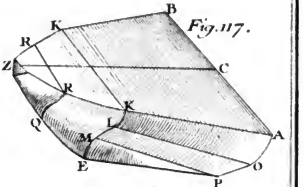


Fig. 121

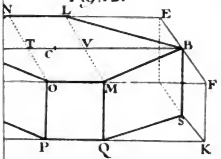
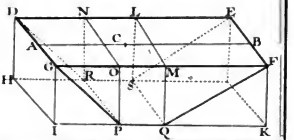


Fig. 122



Digitized by Google

Digitized by Google

CORRECTIONS A FAIRE.

PAge xxvij dans la Préface, ligne 4, *lisez* n'en eſt plus un.
15 ligne 7, par cette raiſon, *ajoutez* ou parce qu'on a ſouvent rendu les varangues de l'avant & de l'arriere, égales entr'elles, juſqu'à une certaine diſtance.
29 lig. 12, *effacés* ne.
39 lig. 20, *liſez* réuſſi auſſi parfaitement.
49 lig. 22, *liſez* la coupe P*m*D.
64 lig. penultiéme, *liſez* irregulier.
64 lig. derniere *après le mot* rectangle, *ajoutez* & ce conoïde peut trouver un cinquiéme ou un quart plus de facilité à fendre l'eau que la prouë de la figure 21, dont l'étrave n'a point d'élancement.
70 lig. penultiéme, *liſez* l'extrémité D du corps de la carène.
75 lig. 33, *liſez* beaucoup plus ſûre.
85 lig. 30, *liſez* lorſqu'il y en a un ſecond.
Page 93 lig. 19, *liſez* verſer de l'eau.
115 lig. derniere, *liſez* $\sqrt{\frac{\cdot}{R}}$ eſt à $\sqrt{\frac{\cdot}{P}}$.
153 lig. 33, *liſez* de la tête de chacune de.
154 lig. derniere, *liſez* à ces rectangles ; & un.
158 lig. 30 & 31, *liſez* (Fig. 41.)
159 lig. 34, *liſez* à une force de.
160 lig. 18, *liſez* la lier avec.
161 lig. 20 & 21, *liſez* une autre conſidération.
163 lig. 10, *liſez* elle reſiſtera 27 fois.
167 lig. 22, *liſez* on la.
182 lig. 29, *liſez* voile ABDC.
185 lig. 10, *liſez* à la puiſſance $\frac{4}{7}$;
190 lig. 30, *liſez* à former de faiſſeaux.
216 lig. penultiéme, *liſez* les uns au-deſſus.
227 lig. 11, *liſez* c'eſt de.
233 lig. 6, *liſez*. On pourroit même pour.
243 lig. 7, *effacez* que.
244 lig. 3, *liſez* recueillies de toutes parts.
245 lig. 31, *liſez dans le ſecond terme du numérateur de l'expreſſion algebrique*, $+fe$.
247 lig. 2, *liſez* on a cette autre. Lig. 3 *liſez* l'étenduë A de la.
253 lig. 15, *liſez* & on mulipliera l'étenduë.

Digitized by Google

Page 255 lig. 28, *lisez* que I.
257 lig. 21 & 30, *lisez* verticale γZ.
259 lig. derniere, *lisez* le quatriéme.
263 ligne 14, dans l'expreſſion algébrique, *lisez* $\overline{\text{F B}}^{1}$
Page 266 ligne 3, *lisez* difficile, ou plutôt il n'étoit pas poſſible que le.
ibid. lig. 5 & 6, *effacez*, & qu'on eut ſans doute l'attention de mettre en bas les choſes les plus peſantes.
283 lig. 21, *lisez* peu à peu.
311 lig. 15 *effacez* de la ſurface.
315 lig. 5, *lisez* G1. Lig. 19, *lisez* puiſſe ſoutenir le Navire.
316 lig. 18, *lisez eg*, Eg d'une hyperbole. Ligne 27, *lisez* ou EG.
317 lig. 14, *lisez* CB & CI.
328 lig. derniere, *lisez* ſelon gZ.
337, dans la note de la marge, *lisez* Chapitre IV.
357 lig. 20, *lisez* avec moins de.
366 lig. 10 & 11, *lisez* tiers de BC.
368 lig. antepenultiéme & penultiéme, *lisez*. Si nous conſidérons le.
377 lig. premiere, *lisez* on peut le. Lig. derniere à la fin, *lisez* de n^2y.
408 lig. derniere, *ajoutez a la fin*, toutes les fois que nous voudrons choiſir entre des prouës de même genre.
415 lig. 11, *lisez* la réſiſtance directe; lig. 12 la réſiſtance latérale.
442 lig. 12, *lisez* ſa vraie direction.
468 lig. 3 & 4 *lisez* Chapitre VI.
516 lig. 19, *lisez* ne change.
532 lig. 18, *lisez* ou de 96.
537 lig. 32, *lisez* ces deux efforts.
541 lig. 27, *lisez* troiſiéme Livre.
573 lig. 20, *lisez* BE & EC.
579 lig. 11, *lisez* la perpendiculaire.
605 lig. 28, *lisez* XV.
621 lig. 19 & 20 *lisez* comme les *x* & les.
644 lig. 29, *lisez* ait le plus de.
665 lig. antepenultiéme, *lisez* de cette troiſiéme prouë.

On a negligé d'indiquer quelques autres fautes auſquelles le Lecteur ſuplera par ſon attention.

Digitized by Google

Extrait des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences du 12 May 1745.

MEſſieurs Nicole & Clairaut qui avoient été nommés pour examiner un Ouvrage de M. Bouguer, intitulé, *Traité du Navire, de la conſtruction & de ſes mouvemens*, en ayant fait leur rapport; l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impreſſion, en foy de quoi j'ai ſigné le preſent Certificat. A Paris ce 15 May 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY.

PRIVILEGE DU ROY.

LOUIS par la grace de Dieu Roy de France & de Navarre: A nos amez & feaux Conſeillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand Conſeil, Prevôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Juſticiers qu'il appartiendra, Salut. Notre bien amé & feal le *Sieur Jean-Paul Bignon, Conſeiller ordinaire en notre Conſeil d'Etat, & Preſident de notre Academie Royale des Sciences*, Nous ayant fait très-humblement expoſer, que depuis qu'il nous a plû donner à notredite Académie, par un Reglement nouveau, de nouvelles marques de notre affection, elle s'eſt appliquée avec plus de ſoin à cultiver les Sciences, qui ſont l'objet de ſes exercices; enſorte qu'outre les Ouvrages qu'elle a déja donnés au Public, elle ſeroit en état d'en produire encore d'autres, s'il nous plaiſoit lui accorder de nouvelles Lettres de Privilege, attendu que celles que nous lui avons accordées en datte du 6 Avril 1699. n'ayant point de tems limité, ont été déclarées nulles par un Arrêt de notre Conſeil d'Etat du 13 Août 1713. Et déſirant donner au Sieur Expoſant toutes les facilités & les moyens qui peuvent contribuer à rendre utiles au Public les travaux de notredite Académie Royale des Sciences, Nous avons permis & permettons par ces Préſentes à ladite Académie, de faire imprimer, vendre ou débiter dans tous les lieux de notre obéiſſance, par tel Imprimeur qu'elle voudra choiſir, en telle forme, marge, caractere, & autant de fois que bon lui ſemblera, *toutes ſes Recherches ou Obſervations journalieres, & Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les Aſſemblées*, comme auſſi *les Ouvrages, Memoires ou Traités de chacun des Particuliers qui la compoſent*, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître ſous ſon nom, après avoir fait examiner leſdits Ouvrages, & jugé qu'ils ſont dignes de l'impreſſion; & ce pendant le tems de quinze années conſécutives, à compter du jour de la datte deſdites Préſentes. Faiſons défenſes à toutes ſortes de perſonnes de quelque qualité & condition qu'elles ſoient, d'en introduire d'impreſſion étrangere dans au-

Digitized by Google

cun lieu de notre Royaume ; comme auſſi à tous imprimeurs, Libraires & autres, d'imprimer, faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire aucun deſdits Ouvrages imprimés par l'Imprimeur de ladite Académie ; en tout ni en partie, par extrait ou autrement, ſans le conſentement par écrit de ladite Académie, ou de ceux qui auront droit d'eux : à peine contre chacun des contrevenans de confiſcation des Exemplaires contrefaits au profit de ſondit Imprimeur : de trois mille livres d'amende, dont un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, un tiers audit Imprimeur, & l'autre tiers au Dénonciateur, & de tous dépens, dommages & interêts ; à condition que ces Préſentes ſeront enregiſtrées tout au long ſur le Regiſtre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, & ce dans trois mois de ce jour : que l'impreſſion de chacun deſdits Ouvrages ſera faite dans notre Royaume & non ailleurs, & ce en bon papier & beaux caracteres, conformément aux Reglemens de la Librairie ; & qu'avant de les expoſer en vente, il en ſera mis de chacun deux Exemplaires dans notre Bibliothéque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, & un dans celle de notre très-cher & féal Chevalier Chancelier de France le Sieur Dagueſſeau ; le tout à peine de nullité des Préſentes. Du contenu deſquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir ladite Académie, ou ſes ayans cauſe, pleinement & paiſiblement, ſans ſouffrir qu'il leur ſoit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie deſdites Préſentes qui ſera imprimée au commencement ou à la fin deſdits Ouvrages, ſoit tenuë pour duement ſignifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés & feaux Conſeillers & Secretaires, foi ſoit ajoutée comme à l'original. Commandons au premier notre Huiſſier ou Sergent de faire pour l'exécution d'icelles tous actes requis & néceſſaires, ſans demander autre permiſſion, & nonobſtant clameur de Haro, Charte Normande & Lettres à ce contraires. Car tel eſt notre plaiſir. Donné à Paris le 29 jour du mois de Juin, l'an de grace 1717, & de notre Regne le deuxiéme. Par le Roy en ſon Conſeil. Signé, FOUQUET.

Il eſt ordonné par l'Edit du Roy du mois d'Août 1686. & Arrêt de ſon Conſeil, que les Livres dont l'impreſſion ſe permet par Privilege de Sa Majeſté, ne pourront être vendus que par un Libraire ou Imprimeur.

Regiſtré le preſent Privilege, enſemble la Ceſſion écrite ci-deſſous, ſur le Regiſtre IV. de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, p. 155. *N.* 205. *conformement aux Reglemens, & notamment à l'Arrêt du Conſeil du* 13 *Août* 1703. *A Paris le* 3 *Juillet* 1717. Signé, DELAUNE, *Syndic.*

Nous ſouſſigné Préſident de l'Académie Royale des Sciences, déclarons avoir en tant que beſoin cedé le préſent Privilege à ladite Académie, pour par elle & les différens Académiciens qui la compoſent, en jouir pendant le tems & ſuivant les conditions y portées. Fait à Paris le 11. Juillet 1717. *Signé*, J. P. BIGNON.

VILLE DE LYON
Biblioth. du Palais des Arts

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google