

ANNALES
DES
TRAVAUX PUBLICS.

NOTE

SUR L'ORIGINE ET LES CAUSES DES MODIFICATIONS APPORTÉES RÉCEMMENT AUX PROPORTIONS ET AUX FORMES DES NAVIRES DE COMMERCE A VOILES, ET SUR L'INFLUENCE DE CES MODIFICATIONS AUX POINTS DE VUE DE LA SOLIDITÉ, DE LA MARCHÉ, DES QUALITÉS A LA MER, DES ÉVOLUTIONS ET DES BÉNÉFICES DE L'ARMATEUR ;

PAR M. GUIETTE,

INGÉNIEUR DU GÉNIE MARITIME.

En comparant les navires de commerce cités encore, il y a quelques années à peine, comme des modèles de coupe, d'élégance et de construction, à ceux qui jouissent aujourd'hui de la même réputation, l'on est frappé des changements radicaux opérés, en si peu de temps, dans les formes et les proportions des bâtiments à voiles de la marine marchande.

L'expérience de plusieurs siècles semblait avoir fait reconnaître, et l'on avait admis jusque dans ces derniers temps,

que la longueur d'un bâtiment ne pouvait pas dépasser quatre fois sa largeur si on voulait lui conserver les qualités d'un bon navire de mer, que son maître-couple devait se trouver entre le milieu et le tiers à partir de l'étrave et qu'enfin les formes de la carène à l'avant devaient être pleines et arrondies, tandis qu'à l'arrière il convenait de les rendre maigres et effilées.

Contrairement à ces idées, si longtemps adoptées comme des principes immuables, on construit maintenant des navires à voiles, cinq, six et jusque sept fois aussi longs que larges, dont le maître-couple se trouve au milieu de la longueur et même plus rapproché de l'étambot et dont les formes de l'avant sont au moins aussi effilées que celles de l'arrière. Ces bâtiments, non-seulement ont une marche supérieure à celle de leurs devanciers, mais ils portent tout aussi bien leur voilure, sont meilleurs navires de mer et permettent à l'armateur de réaliser de plus grands bénéfices.

Il y a certainement lieu de s'étonner de pareils résultats; mais l'expérience les ayant rendus incontestables, l'on se demande aujourd'hui comment il a pu se faire qu'on soit resté si longtemps dans la persuasion d'avoir atteint la perfection des proportions et des formes à donner aux navires à voiles, alors que, tout à coup pour ainsi dire, on s'est aperçu qu'en se berçant d'une fausse illusion, on s'était endormi du sommeil de celui qui croit n'avoir plus rien à faire pour perfectionner son œuvre.

Pour amener ce brusque changement dans les idées selon lesquelles tout marin ou constructeur avait été élevé jusqu'à cette époque, il fallait une cause déterminante d'une bien grande puissance. Cette cause, c'est l'application de la vapeur à la navigation maritime et, plus encore, l'adoption de l'hélice comme propulseur.

Aussi longtemps qu'on n'employa que les voiles du navire pour lui faire traverser les mers, alors que la force motrice, le vent, ne coûtait rien, peu importait d'user et d'abuser de cette force. Le but à atteindre consistait à transporter un

chargement aussi considérable que possible et la question de vitesse avait relativement peu d'importance, puisqu'il n'y avait pas à tenir compte de la durée de l'emploi d'un moteur qui n'exigeait aucune dépense pour être mis en action.

Mais, lorsque l'usage des machines à vapeur de mer vint à entrer dans le domaine de la pratique, il n'en fut plus ainsi. On s'aperçut bientôt que les navires, avec les formes de carène reconnues les meilleures jusqu'alors, offraient à la marche une résistance telle qu'il leur fallait une puissance considérable pour n'atteindre encore qu'une vitesse médiocre sous vapeur; qu'il serait en conséquence impossible, dans ces conditions, de les employer à de longues traversées, pour le double motif des dépenses excessives qu'ils occasionneraient et du peu d'espace que leur énorme approvisionnement de charbon laisserait libre pour le chargement.

On se trouva ainsi dans l'alternative, ou de renoncer à la vapeur pour la navigation au long cours, ou d'arriver, en n'employant que la même force, à augmenter la vitesse, afin que la dépense durât moins longtemps et que l'approvisionnement de combustible, réduit en raison de la diminution de temps employé à faire la traversée, permit d'embarquer un chargement plus considérable et plus rémunérateur.

Quant à renoncer à la vapeur lorsque son emploi à la mer n'offrait plus aucun obstacle matériel, on conçoit qu'on n'aurait pu s'y résoudre qu'après avoir épuisé en vain tous les moyens de faire disparaître le seul inconvénient que cette nouvelle force motrice offrait encore en pratique, au point de vue de l'économie. On se mit donc avec ardeur à l'étude des conditions à remplir par les bateaux à vapeur pour qu'ils pussent être lucrativement employés par la marine marchande, et l'on reconnut que le seul moyen d'atteindre ce but consistait à diminuer leur résistance à la marche, tout en leur conservant un déplacement aussi considérable que possible relativement à cette résistance.

Pour se guider dans les essais à tenter dans ce sens, on

savait en principe que la résistance d'un corps flottant à se mouvoir dans le sens de sa longueur à travers un liquide, diminue à mesure que la surface immergée de sa plus grande section devient moindre et que sa longueur en augmentant permet de lui donner des formes plus effilées. Mais cette propriété n'a pas de limite, c'est-à-dire que la carène qui présenterait la moindre résistance serait un solide infiniment long par rapport à sa largeur et à sa hauteur. Il était certes impossible de songer même à s'approcher de telles proportions et la question qui se présenta tout d'abord fut celle de savoir jusqu'où l'on pouvait augmenter la longueur des bâtiments sans compromettre leur sécurité à la mer.

Des bateaux à vapeur de rivière avaient bien, il est vrai, été construits, déjà à cette époque, dans des proportions de longueur inusitées avant eux ; mais ce n'était que des navires destinés à naviguer en eau parfaitement calme. De là à suivre cette voie pour des bâtiments exposés à devoir lutter avec avantage contre les efforts combinés de la mer et de la tempête, il y avait un pas immense à faire. Aussi la transformation des proportions et des formes des navires à vapeur de mer ne se fit-elle que successivement et par des essais nombreux. Ces essais se suivirent toutefois avec une telle rapidité que les idées nouvelles ne furent pas longtemps à se répandre parmi les marins et les constructeurs.

A cette époque, c'est-à-dire avant 1840, il n'était encore sérieusement question en pratique que des bateaux à roues. Pour ceux-là, qui devaient employer exclusivement la vapeur comme force motrice et dont les voiles très-restreintes n'étaient, pour ainsi dire, destinées qu'à modérer le roulis lorsque la lame se présentait par le travers, on crut tout d'abord pouvoir augmenter sensiblement leur longueur et leur donner des formes plus effilées. On se dit, puisqu'ils ne devaient pas porter de voilure proprement dite, qu'ils n'avaient pas besoin d'autant de stabilité que les voiliers et que pour eux cette plus grande longueur n'aurait pas d'in-

convénient sérieux, attendu qu'à l'aide de leurs machines, ils pouvaient naviguer droit dans le vent, n'avaient pas à louver et pouvaient ainsi éviter, la plupart du temps, d'évoluer et de virer de bord à la mer. On vit dès lors la longueur des vapeurs s'accroître successivement par rapport à leur largeur et à leur tirant d'eau, et leur maître-couple se reculer vers l'arrière; mais il n'était pas encore question de penser que ces proportions pussent convenir à des bâtiments à voiles. On ne le reconnut que plus tard, lorsque l'emploi de l'hélice comme propulseur reçut la sanction de la pratique et de l'expérience.

Les premiers vapeurs à hélice furent construits il y a une douzaine d'années, dans les mêmes idées que ceux à roues, c'est-à-dire en vue d'employer toujours les machines comme force habituelle et de ne mettre de la voile dehors qu'accidentellement, comme soutien dans les forts roulis. Mais lorsqu'on vit ces bâtiments débarrassés de ces disgracieux tambours des navires à roues, conserver la partie supérieure de leurs murailles parfaitement libre de l'avant à l'arrière et offrir par conséquent les mêmes facilités qu'un voilier pour l'installation du gréement, il vint tout naturellement à l'esprit de ceux qui s'occupaient de ce nouveau genre de vapeurs de leur donner autant de voilure qu'ils pouvaient en porter. L'on put constater bientôt que s'ils ne comportaient pas le déploiement d'une aussi vaste surface de voiles que les anciens navires relativement à leurs dimensions, on pouvait en toute sécurité leur en donner assez pour leur faire atteindre, sans l'aide de la vapeur, une vitesse supérieure à celle de ces derniers, et cela sans que leurs formes plus effilées leur ôtassent quoique ce fût des qualités que doit posséder tout navire de mer. L'expérience vint donc prouver que les proportions et les formes que l'on n'avait adoptées d'abord qu'en croyant sacrifier des qualités du navire à la nécessité absolue de diminuer sa résistance à la marche, étaient non-seulement indispensables à un vapeur, mais convenaient

également, sous tous les rapports, à un bâtiment à voiles. La seule infériorité que présentaient encore ces navires à hélice, comme voiliers, provenait de ce qu'en arrêtant les machines, la résistance qu'offrait le propulseur devenu immobile diminuait sensiblement la marche sous voiles par de faibles brises et, dans ces circonstances, rendait les virements de bord lents et difficiles. Ce défaut ne subsista pas longtemps : divers moyens, soit d'affoler l'hélice, soit de la hisser hors de l'eau, rendirent bientôt à ces bâtiments toutes les qualités des bons voiliers quelles que fussent les circonstances de vent et de mer. Il devint alors possible d'employer la voilure seule, dès que la force et la direction du vent permettaient de faire route avec une vitesse convenable et de réserver la vapeur pour traverser les calmes, sortir des passes ou doubler les caps et entrer dans les ports situés à quelque distance de l'embouchure des fleuves. Ce nouvel emploi, simultané ou alternatif à volonté, des deux moteurs permit de réduire sensiblement la force des machines relativement au tonnage et par suite les approvisionnements de combustible ; on en vint ainsi au navire auxiliaire à hélice qui est le véritable type de vapeur de commerce.

De là à conclure qu'en donnant à un bâtiment exclusivement à voiles les proportions et les formes d'un vapeur auxiliaire à hélice, on lui assurerait, et même à un degré plus élevé, toutes les qualités qu'on avait découvertes dans ce dernier lorsqu'on vint à l'employer comme voilier, il n'y avait plus loin et l'on construisit ces beaux clippers qui font aujourd'hui l'admiration de tous ceux qui s'occupent de navigation.

Voilà comment, en une quinzaine d'années, les idées des constructeurs et des marins se sont complètement modifiées sur les formes et les proportions à donner aux bâtiments de mer.

Maintenant que nous envisageons la question sous son véritable point de vue et que nous ne sommes plus sous l'in-

fluence des idées anciennement reçues et admises pendant des siècles comme des articles de foi, nous pouvons nous rendre facilement compte des résultats inespérés auxquels l'emploi de la vapeur nous a conduits pour les navires à voiles. Il ne faudrait pas en tirer comme conséquence un blâme pour nos devanciers qui sont restés si longtemps dans l'ornière, car chacun sait ce que c'est que l'influence, même sur les esprits les plus éclairés, d'idées que l'on admet, sans songer à les discuter, tant on les a entendu souvent émettre comme des vérités.

Peut-être dira-t-on que le plus fort argument à invoquer en faveur des nouvelles idées, qui président aujourd'hui à la construction des navires à voiles, c'est l'immense succès des *clippers*, tels que le *Sovereign of the seas*, le *Flying cloud*, le *Nightingale* et tant d'autres qui font l'orgueil, non-seulement de leurs constructeurs, mais aussi des équipages qui les montent. Cependant, après s'être rappelé l'origine et les causes des profondes modifications apportées récemment dans les constructions navales, il n'est pas sans intérêt d'étudier les conséquences que le raisonnement, aussi bien que l'expérience, indique comme suites naturelles et nécessaires de chacune de ces modifications sous les différents points de vue de solidité, de marche, de qualités à la mer, d'évolutions et de bénéfices pour l'armement.

SOLIDITÉ.— Sous le rapport de la solidité, l'augmentation de la longueur par rapport à la largeur, au creux et au tirant d'eau n'est pas avantageuse. Il serait superflu de démontrer qu'avec les mêmes échantillons, deux navires du même tonnage, mais dont l'un serait court, large et haut de bord et l'autre long, étroit et d'un faible creux, présenteraient une différence sensible de solidité pour résister à la flexion dans le sens de la longueur, différence toute au désavantage du second. Aussi quand on a reconnu l'absolue nécessité de construire des bâtiments beaucoup plus longs que les types précédemment adoptés, l'incertitude d'obtenir une solidité suf-

fisante ne fut pas une des moindres préoccupations des constructeurs. Mais cette incertitude ne pouvait être que momentanée et devait bientôt disparaître après quelques essais, car en principe il n'y avait pas à redouter de ne pouvoir arriver à construire un navire assez solide quelles que fussent, du reste, ses dimensions et ses proportions. La question consistait seulement à savoir dans quel sens et jusque quelles limites il fallait augmenter les échantillons des pièces de la charpente et renforcer leurs liaisons et leurs assemblages. Cette question n'était pas sans importance : tout en arrivant à une solidité suffisante, il fallait éviter de surcharger le navire de matériaux inutiles aux dépens du déplacement disponible pour le chargement, c'est-à-dire de son exposant de charge.

Par le travers, le bâtiment long n'a pas plus à souffrir à la mer que le navire court, s'ils sont également larges et également hauts ; c'est uniquement de l'avant à l'arrière que le premier présente moins de chance de résister aux efforts qui, dans les tangages violents, tendent à le faire fléchir et à lui faire prendre de l'arc. Il n'y avait donc pas lieu d'augmenter ni les membrures ni les barrots au delà des échantillons adoptés précédemment pour des navires de même creux et de même largeur, mais toutes les pièces telles que la quille, les carlingues, les bauquières, les gouttières, les préceintes, en un mot, toutes celles qui, par leur position longitudinale dans des plans à peu près verticaux, sont les plus propres à s'opposer à la flexion dans le sens de la longueur, devaient être renforcées. Il devenait, en outre, plus nécessaire que jamais de mettre le plus grand soin à écarver, sur une longueur suffisante, les parties de ces différentes pièces entre elles, afin d'éviter, autant que possible, toute espèce de solution de continuité. Et enfin dans la répartition de l'augmentation de dimensions à donner à ces pièces longitudinales, il était suffisamment indiqué par les principes de la théorie de la résistance des matériaux, qu'il fallait sur-

tout augmenter celles qui se trouvent les plus éloignées de la fibre invariable : la quille et les carlingues d'une part, et la bauquière, la gouttière du pont supérieur et les préceintes de l'autre. Il convenait, en outre, de placer ces dernières aussi haut que possible, c'est-à-dire à la hauteur du pont supérieur, en supprimant la batterie et le carreau.

En tenant compte de ces indications et en apportant beaucoup de soin dans l'exécution de tous les détails des liaisons longitudinales, les constructeurs sont parvenus, pour ainsi dire sans tâtonnements, à construire des navires aussi solides qu'auparavant, bien que leur longueur se soit successivement accrue. C'est ainsi qu'aujourd'hui des clippers en bois ont cinq et six fois leur largeur pour longueur, sans que leur solidité puisse donner lieu à la moindre crainte. Pour des navires en fer, métal qui se prête beaucoup mieux que le bois à assurer une grande rigidité à l'ensemble de la construction, ce rapport va déjà jusqu'à sept et tout porte à croire qu'on ne devra pas s'arrêter là. La proportion de la longueur à la largeur s'accroîtra probablement encore, à mesure que les tendances actuelles à construire des navires de plus en plus grands, se développeront davantage.

A la première vue on pourrait croire, puisqu'il est nécessaire de renforcer les échantillons des pièces longitudinales des navires construits d'après les proportions actuelles, que le poids de coque de ces bâtiments doit dépasser celui des anciennes constructions et que par conséquent leur exposant de charge doit être moindre. Il n'en est rien pourtant, du moins si l'on compare, comme il faut le faire pour rester dans le vrai, ce poids de coque au déplacement ou au tonnage. L'on a vu, en effet, qu'il n'y a aucun motif de donner aux pièces transversales des nouveaux navires des échantillons plus forts que ceux des parties correspondantes des anciens bâtiments de même largeur et de même creux; or, comme les premiers, à cause de leur longueur, ont un tonnage beaucoup plus considérable que les derniers, il s'en-

suit que, relativement à ce tonnage, les échantillons de leurs pièces transversales seront moindres. S'il y a une augmentation de poids d'une part, il se trouve donc, par contre, une diminution au moins équivalente de l'autre, de sorte qu'en définitive l'exposant de charge n'est aucunement réduit.

Au point de vue de la solidité, la question du maître-couple plus ou moins éloigné de l'avant ou de l'arrière, n'offre guère d'importance. Sous ce rapport toutefois, la position la plus rationnelle est au milieu de la longueur, puisqu'en mettant la partie la plus large à égale distance des deux extrémités, le navire se rapproche davantage de la forme du solide d'égale résistance à la flexion.

Au même point de vue, l'amaigrissement des formes de la carène à l'avant et à l'arrière ne peut avoir qu'une influence salutaire. Il en résulte, en effet, que les murailles du navire deviennent plus verticales et présentent par conséquent une plus grande résistance à la flexion dans le sens longitudinal, que si des façons pleines et arrondies les faisaient se rapprocher de la position horizontale.

Une dernière considération qui plaide en faveur des navires fins de l'avant et de l'arrière, sous le rapport de la solidité qu'ils présentent, c'est la diminution du tangage, conséquence de ces formes, comme on le verra plus loin. Toutefois cet avantage n'est assuré que pour autant que les parties amaigrées de la carène n'aillent pas en s'évasant brusquement dans les hauts. S'il en était autrement, le tangage, quelque réduit qu'il fût, donnerait lieu à des chocs violents de la lame sur les œuvres mortes qui surplomberaient la flottaison, et ces chocs, en ébranlant la charpente, finiraient par compromettre à la longue ses liaisons et sa solidité.

MARCHE.— Sous le rapport de la marche, l'allongement du navire a déjà, à lui seul, une influence salutaire. Ainsi l'expérience a prouvé que des bâtiments allongés par le milieu seulement et pour lesquels les formes pleines de l'avant et de l'arrière avaient été maintenues, ont gagné plus d'un nœud à

l'heure. Cela s'explique : la section immergée du maître-couple et les extrémités étant restées les mêmes, la résistance n'a pu s'accroître que d'une quantité minime due au frottement de l'eau sur la surface de la partie ajoutée au milieu. D'un autre côté, la masse du bâtiment s'est augmentée de tout le déplacement de la tranche formant l'allongement ; il est donc tout naturel que cette masse plus considérable, dès qu'elle est mise en mouvement, parvienne plus facilement et plus promptement à vaincre l'inertie de l'eau qu'elle doit déplacer pour se frayer un passage.

Si à cet allongement déjà si favorable, viennent se joindre des lignes d'eau plus fines de l'avant et de l'arrière et tracées de manière à ne présenter aucune courbure brusque, l'avantage qui en résulte pour la marche est encore bien plus marqué. Le bâtiment, en effet, n'a plus alors à refouler l'eau par son avant, après avoir vaincu son inertie, mais il peut la diviser en lui imprimant un mouvement latéral, insensible d'abord vers l'étrave, puis augmentant graduellement et sans secousses, jusqu'à devenir suffisant pour permettre le passage de la section la plus large de la carène. L'eau, qui en s'écartant et en longeant les deux bords, est ainsi arrivée jusqu'au maître-couple, glisse facilement ensuite sur les façons de l'arrière, sans devoir changer brusquement de direction, et elle peut reprendre sa position primitive sans produire ces remous que l'on remarque dans le sillage voisin de l'étambot des navires à formes pleines.

Des formes effilées sont sans aucun doute nécessaires à l'arrière, au point de vue de la vitesse, mais elles le sont encore davantage à l'avant, car c'est cette partie du navire qui doit vaincre tout d'abord l'inertie de l'eau qu'elle vient rencontrer et lui imprimer le premier mouvement, afin d'ouvrir, pour ainsi dire, le sillon à travers lequel toute la carène doit passer. A l'arrière, cette finesse, bien que très-désirable, offre relativement moins d'importance, parce que l'eau qui arrive en contact avec cette extrémité du bâtiment

est déjà préalablement en mouvement. Sous ce dernier rapport il y a donc avantage à reculer le maitre-couple vers l'arrière, puisque cette disposition permet, avec une longueur de navire donnée, d'atteindre le degré de finesse voulu en allongeant davantage et d'une manière plus continue les lignes d'eau de l'avant. Cet avantage s'est trouvé démontré pratiquement par la vitesse remarquable qu'atteint le yacht *America*, le premier navire à voiles pour lequel le maitre-couple fut placé très-sensiblement à l'arrière. Chacun se rappelle encore les succès de ce bâtiment dans les différentes régates où il entra en lice avec les yachts les plus renommés, et la controverse à laquelle se livrèrent les journaux techniques à propos de ses formes.

Les partisans de la plus grande section placée à l'avant du milieu, ne pouvant pas réfuter les arguments que leurs adversaires trouvaient dans un raisonnement logique, ont imaginé de chercher dans la nature un appui aux idées anciennes. Le Créateur, ont-ils dit, a donné aux poissons, même à ceux qui remontent les courants les plus rapides, des formes beaucoup plus pleines à l'avant qu'à l'arrière. Il a dû le faire, lui qui a créé si admirablement toutes choses, dans le but de leur permettre la plus grande vitesse en dépensant aussi peu de force que possible; par conséquent, si l'on veut se rapprocher de la perfection, quant aux formes à donner aux navires, il faut chercher à imiter celles que le Créateur a données aux poissons et non pas faire tout l'opposé. Cet argument pourrait avoir quelque valeur s'il était prouvé que, dans la pensée du Créateur, les poissons dussent jouir de la propriété d'acquérir la plus grande vitesse en dépensant la moindre force possible, mais cela paraît aussi peu probable que son intention d'accorder cette même propriété aux animaux terrestres, attendu que, s'il en était ainsi, nous, avec nos facultés si bornées relativement aux siennes, nous pourrions facilement trouver à perfectionner son œuvre, ce qui n'est pas admissible. Du reste, la comparaison du

navire au poisson n'est pas exacte, car le premier n'est immergé qu'en partie, tandis que le second l'est en totalité. Si l'on voulait chercher dans la nature un être vivant qui pût servir de modèle à nos bâtiments, il serait plus rationnel de le choisir parmi les oiseaux aquatiques; or, tous ces animaux ont des formes plus pleines de l'arrière que de l'avant et la section la plus large de leur corps est en arrière du milieu.

Les considérations générales qui précèdent prouvent déjà suffisamment l'heureuse influence des nouvelles formes et proportions sur la marche des navires. Mais pour se faire une idée complètement exacte de cette influence, il faut pouvoir comparer leur puissance à leur résistance et faire la même comparaison pour un bâtiment construit d'après les anciens types.

Prenons, pour fixer les idées, un navire de 650 tonneaux de jauge dont la longueur est quatre fois la largeur et dont les formes pleines, comme on les faisait encore il y a une dizaine d'années, fournissent un déplacement de 1150 tonneaux. Alongeons ce bâtiment jusqu'à être cinq fois, par exemple, aussi long que large, et donnons-lui à l'avant et à l'arrière les formes plus amaigries que l'on adopte actuellement. Nous pourrions lui conserver la même stabilité de formes, c'est-à-dire la même hauteur de métacentre, soit en acculant un peu plus ses varangues, soit en diminuant tant soit peu son tirant d'eau. Nous arriverons ainsi, en restant dans les limites convenables de la pratique actuelle, et sans exagérer la finesse des extrémités, à un déplacement de 1415 tonneaux et à une jauge de 800 tonneaux.

La section immergée du maître-couple restant à très-peu de chose près la même pour les deux navires, leurs résistances seraient égales s'ils étaient également longs et également fins de l'avant et de l'arrière; mais le second ayant des lignes d'eau plus aiguës et plus allongées, sa résistance sera moindre, à vitesses égales, et d'autant moindre que ces vitesses égales seront plus grandes. Si donc nous représentons par R la

résistance du premier, celle du second sera $\frac{R}{\alpha}$, α étant un nombre plus grand que l'unité et dépendant à la fois de l'allongement et du degré de finesse des formes.

Voyons quelles seront les puissances : désignons par S la surface de voilure que le premier bâtiment peut porter sans danger et par H la hauteur du centre vélique au-dessus du centre de gravité ; nous pourrions prendre S pour la force de poussée exercée sur les voiles, c'est-à-dire la puissance, en considérant la vitesse du vent comme unité et la même pour les deux bâtiments. SH sera donc le moment de l'effort tendant à incliner le premier navire ; et, puisque nous supposons qu'il peut porter sa voilure en toute sécurité, il faut que ce moment soit égal à celui de sa stabilité, c'est-à-dire à Pr , P étant le poids total du navire ou son déplacement, qui est de 4450 tonneaux dans le cas qui nous occupe, et r la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité. Nous aurons donc $SH=4450 t^{\times} \times r$.

Pour le second navire, le moment de stabilité devient $4445 t^{\times} \times r$, puisque la hauteur de son métacentre est restée la même et que nous le supposons du reste chargé et arrimé de la manière que le premier, c'est-à-dire ayant conservé la même hauteur de centre de gravité. Pour que le bâtiment allongé puisse porter sa voile avec la même sécurité que le navire primitif, on devra donc avoir : $S'H'=4445 t^{\times} \times r$; S' et H' désignant sa surface de voilure et la hauteur de son centre vélique au-dessus du centre de gravité.

Il résulte de là que $\frac{S H}{S' H'} = \frac{4450 t^{\times} \times r}{4445 t^{\times} \times r} = \frac{4450}{4445}$.

L'augmentation du produit $S'H'$ peut s'obtenir par celle du facteur S' seul, car rien ne force à prendre pour la hauteur H' du centre de voilure du navire allongé une quantité supérieure à la valeur de H relative au premier bâtiment. Sa plus grande longueur permet, en effet, d'augmenter la surface de ses voiles en leur donnant plus d'étendue dans le sens

horizontal tout en leur conservant la hauteur primitive. Les surfaces de voilures, et par conséquent les puissances, pourroient donc être entr'elles comme 1150 à 1415 sans que, dans des circonstances de vent et de mer égales, le navire allongé donne plus à la bande que l'autre.

Maintenant que la résistance et la puissance de nos deux bâtiments sont déterminées, nous pourrions trouver facilement leurs vitesses relatives. Il est démontré, en effet, que les vitesses de deux navires, dans des circonstances égales, sont entre elles comme les racines cubiques des rapports de leur puissance à leur résistance; en désignant donc par V et V' les vitesses des deux types qui nous occupent, nous aurons

$$V:V' = \sqrt[3]{\frac{S}{R}} : \sqrt[3]{\frac{S'}{R'}} = \sqrt[3]{\frac{S}{R}} : \sqrt[3]{\frac{\alpha S'}{R}}$$

$$\text{d'où } V' = V \sqrt[3]{\frac{\alpha S'}{R} \cdot \frac{R}{S}} = V \sqrt[3]{\frac{\alpha S'}{S}} = V \sqrt[3]{\frac{1415}{1150}}$$

Si l'on admet que, par suite de l'allongement et des formes plus fines, la résistance du second bâtiment est diminuée de 20 p. $\frac{1}{100}$, ce qui est encore en dessous de la limite qu'ont fournie plusieurs faits d'expérience, la valeur de V' devient

$$V \sqrt[3]{\frac{10}{8} \cdot \frac{1415}{1150}} \text{ ou } 1,154 \cdot V.$$

Ainsi donc, si le navire construit d'après les anciennes formes et proportions atteignait une vitesse de 40 nœuds à l'heure, celui que nous avons formé en allongeant le premier d'un quart de sa longueur et en donnant aux extrémités des formes plus effilées, atteindra $46 \frac{1}{2}$ nœuds dans les mêmes circonstances de vent et de mer, sans qu'il soit exposé à donner plus à la bande sous l'effort de sa voilure.

Ces résultats qu'indiquent le raisonnement et le calcul, expliquent parfaitement les vitesses remarquables qu'ont atteintes certains clippers de grandes dimensions, construits

de manière à tirer tout le parti possible des avantages qu'offrent les proportions et les formes nouvelles sous le rapport de la marche.

Si, pour des raisons d'économie, on voulait ne pas augmenter l'équipage de notre navire allongé, et que, dans ce but, on ne lui donnât que la surface de voilure du bâtiment primitif, il conserverait encore néanmoins un avantage marqué sur ce dernier, car sa vitesse deviendrait $V' = V\sqrt[3]{\frac{10}{8}} = 1,077 V$.

QUALITÉS A LA MER. — Envisageons maintenant notre navire sous le rapport de ses qualités à la mer.

Nous venons de voir comment, avec une surface de voilure qui lui permet d'atteindre une vitesse de beaucoup supérieure à celle du bâtiment construit d'après les anciens modèles, il peut braver les mêmes circonstances de vent et de mer, sans être exposé à prendre plus de bande que ce dernier. Il se comportera donc aussi bien que lui sous l'action du roulis.

Quant au tangage, si l'expérience n'était pas arrivée à prouver qu'il est sensiblement réduit, le raisonnement pourrait nous indiquer l'heureuse influence des nouvelles formes de carène.

Voyons d'abord comment les choses se passent pour un navire court et plein de l'avant. Lorsqu'il vient à rencontrer une lame, ses formes renflées ne peuvent pas diviser la masse d'eau qui se présente; elles viennent se heurter violemment contre elle et le choc qui en résulte amortit considérablement la vitesse du bâtiment. Celui-ci, pour passer outre, doit monter sur la lame; il s'élève d'autant plus et d'autant plus vivement que ses formes sont plus pleines et donnent, en conséquence, plus promptement une augmentation de déplacement à l'avant suffisante pour soulever le poids de cette partie du navire.

Lorsque la masse d'eau rencontrée a produit ce premier effet et qu'elle arrive à l'arrière du bâtiment, elle agit de la même manière pour le soulever tandis que l'avant, abandonné par la mer, tombe de tout son poids dans le creux des lames suivantes. Il est évident que ces oscillations se succèdent d'autant plus rapidement que le navire est plus court. Tous les marins savent combien, sur une mer haute et courte, ces mouvements de tangage sont souvent violents et comment ils réduisent la vitesse, au point de l'absorber quelquefois en totalité.

Pour le bâtiment long et fin aux deux extrémités, les mêmes circonstances doivent produire, et produisent effectivement, des effets tout différents. Lorsque l'avant vient rencontrer la lame, ses formes aiguës peuvent diviser la masse d'eau en l'écartant de chaque bord; le navire s'élèvera donc moins et surtout moins vivement que dans le cas précédent, mais l'eau montera davantage le long de ses hanches. Ceci n'aura d'effet nuisible, ni sur la marche, ni sur le tangage, pourvu que la finesse des formes soit continuée suffisamment haut, et que l'évasement des parties supérieures des œuvres mortes soit régulièrement et graduellement établi; pourvu, en un mot, que le revers ne soit ni exagéré ni brusque.

La lame, après avoir agi comme il vient d'être dit sur l'avant, passera à l'arrière pour y produire un effet analogue, mais n'y arrivera qu'après un temps plus long que celui qu'elle avait à employer pour atteindre l'arrière du navire court. A vitesses égales, ces temps seront naturellement proportionnels aux longueurs des bâtiments.

Nous aurons donc, en définitive, des mouvements de tangage beaucoup moins violents et surtout beaucoup plus lents à bord du navire long et fin qu'à bord du navire court et plein. Il en résulte un avantage marqué, non-seulement au point de vue de la vitesse, mais encore à celui de la sécurité de la mâture et des liaisons de la charpente.

Il est indispensable, ici, d'insister de nouveau sur ce fait,

que cette diminution de tangage ne s'obtiendrait pas, si l'on ne prenait pas soin de former le revers d'une manière convenable aux deux extrémités. Alors l'avantage relatif à la vitesse subsisterait seul et par beau temps seulement. Dès qu'il y aurait de la mer, il disparaîtrait, car le navire entrant dans la lame par sa partie inférieure aiguë jusqu'à son évase-ment, trouverait, immédiatement après, une résistance considérable à y faire pénétrer sa partie renflée; il y aurait choc, diminution de vitesse, tangage dur et saccadé. Ce défaut résultant d'une exagération de revers s'est remarqué à bord de plusieurs des premiers navires américains construits fins de l'avant et de l'arrière; mais l'expérience aussi bien que le raisonnement ayant fait voir le vice de ces formes, elles furent bientôt abandonnées.

ÉVOLUTIONS A LA MER. — Au point de vue des évolutions à la mer, il y a quelque différence à remarquer entre le nouveau et l'ancien type de navires à voiles. Ainsi dans les virements de bord, la surface immergée de la section longitudinale étant plus considérable, par rapport à celle de la section transversale, pour le navire long que pour le navire court, le premier présente plus de résistance à virer. Mais, par contre, le bras de levier de la puissance, c'est-à-dire la perpendiculaire abaissée du centre de gravité du bâtiment sur la direction de la normale à la surface du gouvernail, est plus grand dans le même rapport; de sorte, qu'en définitive, la vitesse de rotation ou de virement doit être la même. Toutefois, la longueur de l'arc de cercle à décrire par l'extrémité du navire long est plus considérable que celle de celui à parcourir par l'extrémité du navire court pour arriver à présenter la même inclinaison du plan longitudinal par rapport au lit du vent. Il en résulte que le premier prend plus de temps pour opérer son virement de bord que le second. Cette différence ne deviendrait un inconvénient sérieux et qui pût faire renoncer aux avantages d'une grande longueur, que pour des bâtiments dont la destination toute spéciale

forcerait à virer de bord à chaque instant. Pour ceux-là il pourrait se faire que les pertes de temps dans les évolutions multipliées vissent à faire disparaître les avantages de marche, et qu'il y eût lieu, en conséquence, de ne pas leur donner plus de longueur qu'on ne le faisait anciennement. Mais, dans toutes les circonstances ordinaires de navigation, ce plus ou moins de rapidité du virement de bord perd considérablement de son importance, pourvu que l'évolution puisse se faire avec certitude; or, rien ne peut s'y opposer davantage à bord d'un navire construit d'après le nouveau type qu'à bord de tout autre si, bien entendu, on a eu soin de placer, comme il doit l'être, le centre de voilure par rapport au centre de résistance.

Un défaut dans lequel on était tombé, sous ce rapport, lors des premières constructions de ce genre, consistait à distribuer la mâture relativement à la longueur du bâtiment, comme on le faisait précédemment; c'est-à-dire un long beaupré, le misaine très-rapproché de l'étrave et le centre de voilure porté vers l'avant. Il en résultait des bâtiments très-mous et, dans les fortes mers, le poids du beaupré et du misaine fatiguait beaucoup l'avant dont le déplacement n'était pas suffisant pour contrebalancer ce poids. Un examen plus attentif des nouvelles formes de carène a bientôt fait disparaître cette disposition vicieuse. Il suffisait, en effet, d'observer qu'avec des formes aiguës de l'avant et le maître-couple placé plus à l'arrière, le centre d'action de la résistance se trouvait sensiblement reculé et qu'il était par conséquent nécessaire de transporter dans le même sens le point d'application de la puissance, si l'on voulait que le navire ne devint ni plus mou ni plus ardent qu'auparavant. C'est aussi ce que l'on fit bientôt, et le succès ne fut pas douteux.

BÉNÉFICES DE L'ARMATEUR. — Pour établir d'une manière mathématiquement exacte le rapport des bénéfices à réaliser par les deux types de navires, il faudrait faire leurs comptes complets d'armement, en introduisant dans le cal-

cul la durée des traversées ou plutôt le nombre de voyages que chacun d'eux peut effectuer pendant une période de temps donnée. Mais sans entrer dans les détails arides de calculs de cette nature, on peut se rendre compte des résultats par comparaison.

Le produit brut du fret étant proportionnel au tonnage, toutes les dépenses qui augmenteront pour le navire allongé dans un rapport moindre que celui des deux jauges, constitueront une augmentation de bénéfice en sa faveur. A cette augmentation viendra s'ajouter le produit des voyages que sa marche supérieure lui permettra d'effectuer de plus que le navire primitif, dans le même temps. Il n'y aurait à réduire cette augmentation que pour autant que quelques dépenses ne s'accrussent dans une proportion plus forte que celle des deux tonnages.

Voyons donc, d'après la nature de ces dépenses, comment elles varieront pour les deux espèces de navires.

Le prix de construction de la coque se payant généralement par tonneau de jauge, il n'y a pas lieu d'en tenir compte dans notre comparaison; cependant il y aurait avantage pour le nouveau type, quant au prix total du bâtiment gréé et pourvu de son inventaire, si on lui conservait la surface de voilure du modèle primitif, en se contentant d'une augmentation de vitesse dans le rapport de 1,077 à 1. Alors, en effet, son grément, sa voilure et, par conséquent, ses rechanges, seraient moindres que proportionnels à son tonnage. Dans ce cas, il y aurait également diminution relative de frais d'équipage, puisqu'on peut admettre que le personnel nécessaire est en rapport avec la surface de voilure à manœuvrer; mais, par contre, on perdrait une partie de l'augmentation des bénéfices résultant de l'accroissement de vitesse dans le rapport de 1,154 à 1 qu'assure le déploiement de toute la voilure que le navire peut porter.

Les dépenses d'équipage étant des plus importantes, il y aura lieu de voir si, pour la navigation à laquelle le bâtiment

est destiné, la question de vitesse et les bénéfices qui en résultent l'emportent sur l'économie provenant d'une réduction relative de personnel. Toujours est-il que pour le prix total du bâtiment complet et pour les frais d'équipage, il ne peut y avoir que dépense inférieure, ou tout au plus égale, relativement au fret à réaliser.

Nous n'aurons pas davantage à tenir compte pour notre comparaison, des frais de navigation et de port qui se paient proportionnellement au nombre de tonneaux de jauge, tels que : droits de tonnage, assurance, chargement et déchargement, frais de douane, de feux et fanaux, etc.

Par contre, les frais qui se perçoivent à raison du tirant d'eau, comme le pilotage, constitueront un bénéfice, puisque les tirants d'eau de nos deux types étant égaux, celui du navire allongé sera moindre relativement à sa capacité que celui du navire court.

Il en est de même des menus frais qui sont fixes et indépendants des dimensions des bâtiments : les droits de quai, de mouvements dans le port, de mesurage du tirant d'eau, etc.

En résumé donc, aucune des dépenses n'augmentera pour le nouveau type de navire plus que proportionnellement à sa jauge, tandis que d'autres s'accroîtront moins que dans ce rapport ; il y aura par conséquent, sans aucun doute, augmentation réelle de bénéfices pour l'armateur sur un nombre égal de voyages. Pour un laps de temps donné, cette augmentation de bénéfices s'élèvera encore davantage en raison du plus grand nombre de traversées que le navire construit suivant les proportions et les formes nouvelles pourra effectuer pendant cette période, soit qu'on lui donne toute la voilure qu'il peut porter, afin qu'il atteigne son *maximum* de vitesse, soit qu'on juge plus profitable, pour l'espèce de navigation à laquelle on le destine, de ne lui donner que la voilure que déployait un navire de même largeur et de même tirant d'eau, construit d'après les anciens modèles.

Anvers, janvier 1859.
