encastrée en a, et l'arête a' b' encastrée en a', s'infléchissent sous la résistance de l'eau, tandis que l'arête encastrée en o, animée d'une rotation sur elle-même, ne rencontre aucune résistance ; il résulte de là que la section arrière de la queue prend la position bb' relativement à la section avant aa' ; la surface de la queue offre donc une grande analogie avec la surface héliçoïdale engendrée par une droite bb' qui tournerait sur elle-même en progressant de l'arrière à l'avant ; lorsque le mouvement se renverse, la forme de l'hélice se renverse elle-même, de sorte que quel que soit le sens de la rotation imprimée à la queue, cet organe se transforme spontanément en une hélice propulsive. Ce mouvement engendre avec la force de propulsion un couple qui tend à mettre le poisson *à la bande*, mais, ce couple changeant de sens à chaque coup de queue, il n'en résulte pour l'animal qu'une sorte de roulis rapide.

Remarque. — Il ne serait peut-être pas impossible de trouver une matière permettant de constituer, pour une embarcation légère, un propulseur fonctionnant comme nous venons de l'indiquer ; il serait intéressant de connaître les résultats que pourrait donner un appareil de ce genre.

Roues à aubes et hélices. — L'étude complète de ces propulseurs ne saurait être abordée, avec les détails qu'exigerait leur importance, dans un ouvrage qui s'occupe du navire en général ; nous nous bornerons donc ici à quelques courtes remarques, renvoyant aux traités de machines marines pour les renseignements plus complets.

Action propulsive. — Le plus souvent lorsque l'on étudie le mode d'action de ces propulseurs, on compare leurs effets à ceux que produiraient une roue roulant sur un plan ou une vis tournant dans un écrou fixe ; cette manière de voir est assurément avantageuse à un grand nombre de points de vue, mais il est bon aussi de ne pas oublier cependant qu'ils peuvent être considérés comme des appareils destinés à projeter en arrière une certaine quantité d'eau, et que c'est la réaction de cette eau sur le propulseur qui, transmise au

navire, donne à ce dernier sa vitesse en avant. L'impulsion longitudinale imprimée par une molécule ébranlée est nulle quand la direction de la vitesse est perpendiculaire à l'axe, elle est maximum quand la vitesse est parallèle à l'axe ; enfin, pour une vitesse oblique, l'impulsion longitudinale ne dépend que de la composante longitudinale. Il en résulte que toute puissance dépensée pour imprimer aux molécules liquides des composantes de vitesses perpendiculaires à l'axe est perdue pour la propulsion.

Couple de bande de l'hélice. — Les composantes transversales de la pression de l'eau sur deux éléments symétriques de la surface de l'hélice sont dirigées en sens contraires et forment un couple dont le sens est opposé à celui de la rotation ; l'ensemble de ces forces donne un couple résultant qui tend à donner au navire une inclinaison transversale. Sur les bâtiments ordinaires, la stabilité initiale est assez grande pour que la bande résultant de ce couple soit insensible, mais sur les navires dont la stabilité serait faible, il faudrait en tenir compte. Sur les torpilles Whitehead, par exemple, dont le moment de stabilité n'a pour valeur que le produit du poids de la torpille par la courte distance du centre de volume au centre de gravité, le couple dont il s'agit donnerait une forte inclinaison et pourrait même faire tourner la torpille en sens inverse de celui de l'hélice unique ; c'est pour éviter cet effet que l'on adapte à ces mobiles deux hélices tournant en sens contraire.

Couple d'évolution de l'hélice unique dans la marche en avant ou en arrière. — Dans quelques expériences de giration, on a remarqué, sur certains navires à hélice, que le bâtiment tournait un peu plus vite sur bâbord que sur tribord dans la marche en avant ; on peut expliquer ce fait de la manière suivante : l'aile inférieure A (fig. 94) tournant en eau plus profonde, éprouve une résistance R plus grande que

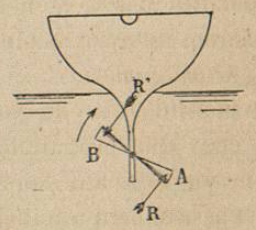

Fig. 94.

l'aile supérieure B, de sorte que les deux forces donnent une résultante dirigée de bâbord à tribord, et qui tend par conséquent à faire abattre l'avant sur bâbord. En outre, l'eau projetée en arrière par l'aile A se perd dans la masse liquide sans atteindre le navire, tandis que celle que projette l'aile B peut, sur certains navires, rencontrer quelques parties immergées de l'extrême arrière ; la pression de cette masse liquide ajouterait donc encore son action à celle que nous venons d'indiquer. Toutefois, on conçoit aisément que, si ces causes agissent réellement, elles doivent produire très peu d'effet ; il n'est pas impossible que l'on constate cet effet dans des expériences précises, mais, dans la pratique des évolutions, il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

Lorsqu'au contraire l'hélice marche en arrière, le liquide projeté par l'aile supérieure vient frapper la voûte de bâbord à tribord, tandis que celui qui est chassé par l'aile inférieure s'échappe dans le vide ; il en résulte une force évolutive sur tribord qui est considérable et dont il est d'autant plus important de tenir compte que, dans la marche en arrière, le gouvernail est à peu près sans action. On pourrait attribuer encore ici un certain effet à la différence des pressions sur les ailes, mais il est clair que cet effet ne saurait être comparé à celui de la masse d'eau considérable qui est lancée le long du navire, il est très douteux d'ailleurs qu'ici la pression soit plus forte sur l'aile inférieure, car l'aile supérieure, bien que plus voisine de la surface, agit sur une eau dont l'échappement est gêné par le navire.

Hélices jumelles. — Les hélices jumelles tournent dans des sens différents ; de sorte que, pour la marche en avant comme pour la marche en arrière, la symétrie des actions est complète. On a reproché à ces bâtiments de gouverner difficilement ; on conçoit, en effet, que les hélices jumelles projetant l'eau de chaque côté du gouvernail, aient un effet beaucoup moins considérable que l'hélice unique qui la projette directement sur lui.

Le sens dans lequel les hélices tournent ne paraît pas devoir être sans action sur les qualités évolutives ; sur beaucoup de navires le sens de la rotation est tel que les ailes supérieures se rapprochent l'une de l'autre, de sorte que celles-ci projettent l'eau dans l'axe suivant deux courants convergents, et les ailes inférieures la projettent suivant deux courants divergents et font le vide autour du gouvernail. Il est très vraisemblable que le courant en eau profonde a plus d'action sur le safran que le courant superficiel, il y aurait donc avantage, au point de vue des qualités évolutives, à adopter le sens dans lequel les ailes supérieures iraient en divergeant pour la marche en avant. Sur les croiseurs français les plus récents, le *Sfax* et le *Milan*, c'est ce sens qui a été adopté.

Calcul de la puissance de machine nécessaire pour obtenir une vitesse donnée. — Désignons par F le travail produit par la vapeur sur le piston, exprimé en chevaux-vapeur par seconde, le travail en kilogrammètres sera :

$$75 \,.\, F;$$

par suite des pertes dues aux frottements et aux effets nuisibles de toutes sortes le travail utilisé pour la propulsion n'est qu'une fraction α du travail produit, et a pour expression :

$$\alpha \,.\, 75 \,.\, F.$$

On peut, avec autant de raisons qu'on l'a fait pour le coefficient K de la résistance, admettre que α est constant pour des machines et des propulseurs analogues.

D'un autre côté, le travail de la résistance de la carène est égal au produit RV de cette résistance par la vitesse, et, comme dans le mouvement uniforme le travail moteur est égal au travail résistant, on a :

$$\alpha \,.\, 75 \,.\, F = RV = KB^2V^3;$$

dans cette formule V serait exprimé en mètres par seconde,

si on veut l'exprimer en milles par heure, on remarquera que, en appelant V′ la vitesse exprimée dans cette dernière unité, on a :

$$V = V' \times \frac{1\,852}{3\,600} = V' \times 0{,}5144.$$

Remplaçant V par cette valeur et supprimant l'accent de V′, en convenant que désormais V représente la vitesse en nœuds, on a :

$$\alpha \,.\, 75 \,.\, F = KB^2V^3 \times (0{,}5144)^3. \qquad (1)$$

Si l'on pose

$$M^3 = \frac{75 \,.\, \alpha}{KX\,(0{,}5144)^3},$$

ou

$$M\,\frac{\sqrt{75}}{0{,}5144} \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha}{K}}, \qquad (2)$$

la formule précédente (1) devient :

$$F = B^2V^3\,\frac{1}{M^3}.$$

Le coefficient M est sensiblement constant pour un même navire et varie peu pour des navires analogues.

Pour calculer en kilogrammètres la puissance F nécessaire pour donner à un navire en projet une vitesse donnée V, on emploiera dans cette formule la valeur de M correspondante à un navire analogue.

D'un autre côté, pour obtenir le coefficient M d'un navire construit, on emploiera la formule .

$$M = \frac{V}{\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}}, \qquad (3)$$

le travail F sur les pistons sera fourni par l'indicateur pendant les essais de vitesse du navire.

Le coefficient M augmente avec le degré de poli de la carène et la finesse des formes ; nous donnons dans le tableau ci-dessous ses valeurs pour un certain nombre de navires en bois et en fer.

En Angleterre, on emploie un coefficient analogue que l'on désigne par C_m (*Constant for midship section*) et qui a pour valeur :

$$C_m = \frac{V^3 \,.\, B^2}{F}. \qquad (4)$$

La constante C_m est ainsi, sauf les différences résultant du choix des unités, le cube de la constante M adoptée en France.

Valeurs de M.

NAVIRES.	AIRE du maître-couple.	VITESSE en nœuds.	M.
Navires en bois.			
Suffren (vaisseau cuirassé)	120	14.3	4.38
Flandre (frégate cuirassée)	101	14.3	4.36
Atalante (corvette cuirassée)	71	11.8	4.16
Dupleix (croiseur)	40	11.7	3.99
Château-Renaud (croiseur)	33	13.9	3.87
Hirondelle (aviso)	17	16.4	3.63
Navires en fer.			
Héroïne (frégate cuirassée)	107.0	12.6	4.11
Européen (transport)	59.1	11.0	3.88
Tigre (paquebot)	46.3	12.73	3.93
Donnaï (paquebot)	45.0	12.10	3.90
Ava (paquebot)	44.7	13.75	3.80
Vienne (transport)	30.2	8.40	3.16

Souvent encore, admettant que la résistance est proportionnelle à la puissance deux tiers du déplacement, on substitue dans la formule précédente $D^{\frac{2}{3}}$ à B^2, D représentant le dépla-

cement; on a alors, en appelant C_d cette nouvelle constante (*Constant for displacement*):

$$C_d = \frac{V^2 D^{\frac{2}{3}}}{F}. \qquad (5)$$

Pour des navires semblables, les aires homologues sont proportionnelles aux carrés des dimensions homologues et aux puissances deux tiers des volumes, de sorte que les formules (4) et (5) sont équivalentes pour deux navires semblables, mais pour des navires présentant deux maîtresses sections équivalentes, la formule (4) donnerait des résultats identiques, tandis que la formule (5) donnera une constante plus faible pour le navire le plus long, ce qui correspond à une augmentation de résistance.

CHAPITRE III

DU NAVIRE SOUS VOILES

§ 1. — Effet du vent sur les voiles. — Propulsion. Stabilité sous voiles.

Effet du vent sur les voiles. — *Formule usuelle.* — En appliquant à l'étude de l'effet du vent, sur les voiles supposées planes, des méthodes identiques à celles que nous avons indiquées à l'occasion des résistances des carènes, on arrive à cette conclusion que la pression du vent est proportionnelle à la surface S de la voilure, au carré de la vitesse V du vent et du sinus de l'angle α d'incidence ; on a ainsi pour expression de la pression du vent sur les voiles :

$$KSV^2 \sin^2 \alpha.$$

Enfin, on conclut de la même théorie que cette force est appliquée au centre de l'aire de la voilure entière et l'on donne à ce point le nom de *Centre de voilure.*

Ces principes sont en désaccord avec les résultats de l'expérience ; mais nous avons suffisamment fait ressortir plus haut l'imperfection des raisonnements qui ont servi à les établir, pour que cette contradiction puisse surprendre ; nous nous bornerons donc ici à rappeler que l'application de cette formule aux différents problèmes auxquels peut donner lieu l'étude de l'effet du vent sur les voiles n'offre aucun intérêt.

A défaut de formules, l'application des principes généraux de la mécanique rationnelle peut cependant donner quelques indications utiles et fournir, pour les phénomènes