CHAPITRE II

DE LA PROPULSION

---

§ 1. — Halage à la cordelle. — Remorques divergentes. Dérive en rivière.

Soient (fig. 82) AB le navire représenté par son axe longitudinal, et AMB une patte d'oie dont nous supposons les

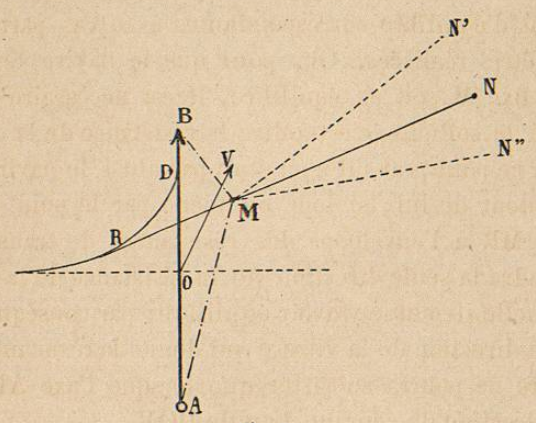

Fig. 82.

extrémités fixées à l'avant et à l'arrière de la flottaison, soit enfin MN une remorque amarrée à la rencontre M des branches de la patte d'oie.

Habituellement, le point N est entraîné d'un mouvement rectiligne et uniforme, et le navire se meut dans une eau tranquille ou dans une rivière ; dans ce dernier cas, le point N se meut parallèlement aux berges, de manière que sa vitesse et la vitesse du liquide sont parallèles.

On sait que, pour l'étude de l'équilibre d'un système, on peut, sans inconvénient, substituer au mouvement absolu le

mouvement relatif à des axes animés d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme ; nous pourrons donc donner à tout le système formé par l'eau, le navire et les remorques une vitesse égale et contraire à celle du point N, et supposer, par conséquent, que ce point est immobile et que le liquide est animé d'un courant dont la vitesse est égale à la somme des vitesses du courant réel et du point N.

Cela posé, nous allons chercher les angles que formera la quille avec la direction du courant et avec la direction de la remorque MN.

On remarquera d'abord que, lorsque le système est en équilibre, le point M est immobile ; on peut donc supposer que ce point est rendu fixe par un moyen quelconque, et les conditions d'équilibre correspondantes à ce cas particulier devront être réalisées. Or, pour que le navire tenu par le point fixe M soit en équilibre, il est nécessaire que la force qui le sollicite, c'est-à-dire la résistance de la carène, passe par ce point, car s'il n'en était pas ainsi, le navire tournerait autour de lui ; si donc on mène par le point M une tangente MR à l'enveloppe des résistances de translation, on obtiendra la seule direction de la résistance de la carène pour laquelle il puisse y avoir équilibre ; par conséquent, si OV est la direction de la vitesse qui donne la résistance MR, l'équilibre ne pourra subsister que lorsque l'axe AB fera, avec la direction du courant, l'angle BOV.

Cette position d'équilibre sera stable ; si, en effet, considérant sur la figure la direction du courant OV comme fixe, on suppose, par exemple, que le navire abatte sur tribord, la résistance correspondante à la nouvelle position sera tangente à l'enveloppe entre les points R et D, et son moment relativement au point M tendra à faire abattre sur bâbord ; de même une abatée sur bâbord ferait naître un moment de rappel sur tribord. Si la remorque était frappée en un point plus rapproché de R, sur la même direction MR, on trouverait la même position d'équilibre, mais cette position serait moins stable, car en cas d'abatée, la force de redresse-

ment passerait plus près de M et fournirait un moment plus faible.

Enfin, il faut que la résistance MR fasse équilibre à la traction de la remorque MN, par conséquent, MN devra être dirigée suivant MR.

Ainsi, *la remorque MN sera dirigée suivant la tangente menée du point M à l'enveloppe des résistances, et cette ligne formera avec le courant un angle égal à l'écart angulaire entre la vitesse et la résistance correspondante de la carène.*

L'équilibre sera stable quand ces conditions seront remplies, car, ainsi qu'on le voit sur la figure, si la remorque était dirigée suivant MN′, trop près de la direction de la vitesse, la résistance, dirigée suivant MR, tendrait à faire tourner le navire autour du point N′, et le point M se déplacerait de manière à augmenter l'angle que forme la remorque MN′ avec la vitesse V; si, au contraire, la remorque était dirigée suivant MN″ et faisait ainsi un trop grand angle avec la vitesse, la résistance tendrait à faire tourner le navire de manière à diminuer cet angle.

Variation de la divergence de la remorque. — L'angle de divergence de la remorque étant l'écart angulaire entre la direction de la vitesse et celle de la résistance oblique correspondante, il résulte de ce que l'on a vu, page 183, qu'à une augmentation de la vitesse correspondra un accroissement de divergence[1] (fig. 83).

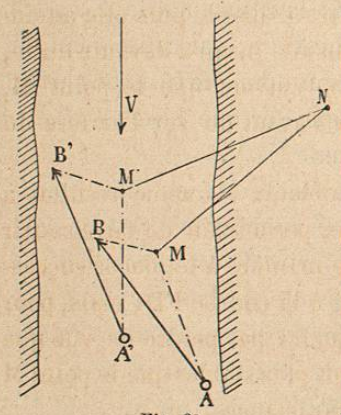

Fig. 83.

Dans le cas où la vitesse est constante, on peut, en manœuvrant la patte d'oie, augmenter

1. Pour une même direction de la vitesse, la résistance se rapproche de la transversale quand la vitesse augmente, par conséquent, pour une même direction de la résistance, la direction de la vitesse se rapproche de l'avant; l'axe viendra donc se placer en une position A′B′ plus rapprochée de la direction du courant; cet effet n'est sensible que pour de grands changements de vitesses.

ou diminuer la divergence. On peut, en effet, en filant ou en embraquant la branche MB (fig. 84), faire décrire au point M un arc de cercle ayant son centre en A, et placer ainsi ce point sur le prolongement de l'une quelconque des tangentes menées à l'arc FD tout entier de l'enveloppe, ou à une partie de cet arc, suivant que le cercle MM″ coupe l'axe longitudinal sur l'avant ou sur l'arrière du point D. Or, nous venons de voir que, pour chacune des positions du dormant M, le navire se place de manière que la résistance de la carène soit dirigée suivant la tangente correspondante à ce point, et que la divergence de la remorque est égale à l'angle formé par la vitesse avec la résistance; par conséquent, lorsque le point M sera dans l'axe transversal, la divergence sera nulle, le navire sera en travers à l'appel de son câble; lorsque l'on embraquera la branche MB, la divergence croîtra d'abord, puis elle atteindra un maximum, et décroîtra ensuite jusqu'à devenir nulle, ou jusqu'à un certain minimum, suivant que le point M, ramené dans l'axe, tombera sur l'avant ou sur l'arrière du point D.

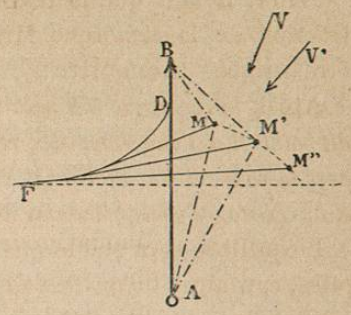

Fig. 84.

Il est évident qu'on pourra obtenir le même résultat à l'aide d'un dispositif quelconque, permettant de faire courir le dormant M de la remorque, de manière à le placer successivement sur toutes les tangentes à la courbe FD; mais, pour le choix de ce dispositif, il ne faudra pas perdre de vue que les positions obliques sont d'autant plus stables que le point M est plus loin de l'enveloppe des résistances.

Pour calculer la divergence maximum, il faudrait connaître l'équation de l'enveloppe des résistances; mais, ainsi que nous avons eu soin de le faire remarquer, l'état actuel des connaissances en hydrodynamique ne permet pas d'ob-

tenir des solutions numériques des questions de cette nature.

Manœuvre de la patte d'oie. — Lorsque l'on hale le navire dans une rivière ou dans un canal, le point N se meut sur les berges d'un mouvement uniforme ; si la patte d'oie reste fixe, le navire se meut lui-même uniformément et à une distance constante des rives.

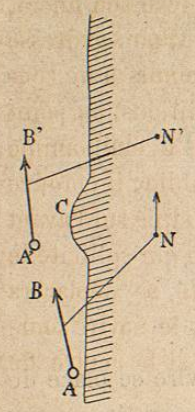

Fig. 85.

On conçoit qu'il existe, en deçà et au delà du maximum de divergence, deux positions de la patte d'oie correspondantes à une même divergence ; celle qu'il convient de prendre est celle qui correspond à l'inclinaison la plus faible de l'axe du navire sur le courant, parce que, à égalité de vitesse, c'est celle-ci qui fournit la résistance minimum ; si donc on file la branche avant de la patte d'oie, on augmentera la divergence, si on l'embraque, on la diminuera ; dans le premier cas, le navire s'éloignera des berges, dans le second il s'en rapprochera. On peut donc ainsi, à l'aide de la patte d'oie seule, gouverner de manière à faire parer aux navires les obstacles tels que C (fig. 85) qui pourraient se présenter.

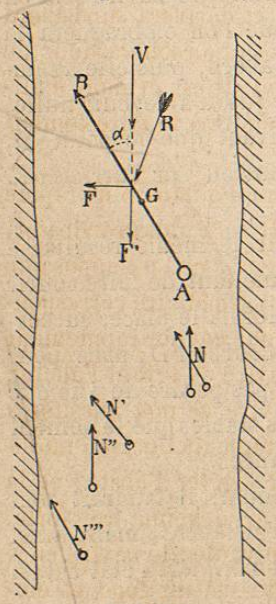

Fig. 86.

On peut également pour ces manœuvres laisser la patte d'oie fixe et recourir à l'action sur le gouvernail qui est plus commode, mais si l'on avait besoin d'écarter rapidement le navire des berges, il serait bon de filer la patte d'oie en mettant la barre.

Dérive en rivière. — Les principes relatifs à la résistance oblique trouvent encore leur vérification et leur

utilisation dans les manœuvres des navires qui dérivent en rivière.

Supposons que le navire AB (fig. 86), mouillé dans la rivière et d'abord évité debout au courant, lève son ancre, et à l'aide du gouvernail embarde sur bâbord, puis redresse la barre ; le navire, immobile au début et soumis à un courant oblique, se trouve dans les mêmes conditions, au point de vue de la résistance de la carène, que s'il était animé d'une translation oblique dans une eau immobile ; il éprouve ainsi une résistance R, appliquée en un point situé sur l'avant du centre de gravité. Cette force est la seule qui sollicite le navire, par conséquent le centre de gravité se déplacera comme si elle était appliquée en ce point, et le navire tournera sous l'influence de cette force comme si le centre de gravité était fixe.

D'après ce qu'on a vu, la résistance R est plus ouverte sur l'axe AB que la direction de la vitesse, cette force aura donc une composante F perpendiculaire au courant et dirigée sur bâbord, et une composante F′ dirigée dans le sens du courant ; par conséquent le navire culera et dérivera sur bâbord perpendiculairement au courant ; il se rapprochera donc de la rive sur laquelle est dirigé son avant. Il est évident d'ailleurs qu'en même temps, la force R tendra à le faire tomber en travers.

La dérive en travers du courant sera d'autant plus rapide que la composante F de la résistance R sera plus grande ; or, quand le navire dérive droit ou en travers, cette composante est nulle ; il y a donc une obliquité intermédiaire correspondante au maximum ; et l'on devrait, pour gagner rapidement la rive, donner cette inclinaison au navire en levant l'ancre ; mais comme, d'un autre côté, le navire se met aussitôt à abattre, il est bon de prendre au début une inclinaison moindre, et de laisser tomber l'ancre pour arrêter l'abatée et la vitesse du navire dès que l'inclinaison est devenue trop forte.

On manœuvre donc de la manière suivante : le navire en N (fig. 86) lève l'ancre d'un mètre au-dessus du fond et em-

barde sur bâbord; il vient bientôt prendre la position N', dans laquelle il culerait sensiblement droit; mais on laisse tomber l'ancre, le navire vient à l'appel de sa chaîne et sa vitesse s'étale; on lève l'ancre de nouveau et l'on recommence la même opération.

On voit que par des manœuvres de ce genre, on peut descendre les rivières et circuler au besoin au milieu des navires au mouillage.

§ 2. — Avirons. — Godille. — Queue des poissons. — Roues à aubes et hélices. — Puissance des machines.

De l'aviron. — La pelle de l'aviron décrit dans l'eau la trajectoire indiquée sur la figure 87, et, pendant le mouvement, le liquide exerce une pression normale sur sa face supérieure. Cette force peut à chaque instant se décomposer en trois :

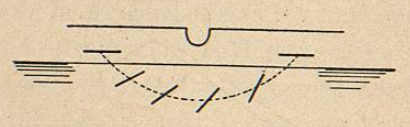

Fig. 87.

1° une force longitudinale;

2° une force verticale dirigée de haut en bas;

3° une force transversale.

La première force produit la propulsion, la deuxième a pour effet de presser l'aviron dans la *dame* et de l'y maintenir; si la pelle était maintenue verticale dans l'eau, cette force disparaîtrait, et la moindre inclinaison à contre engendrerait une force verticale, dirigée de bas en haut, qui ferait sauter subitement l'aviron hors de la dame. Enfin, la force transversale provient de l'inclinaison de la pelle relativement à la quille, elle change de sens dans l'intervalle d'un même coup d'aviron et ses effets sont insensibles.

De la godille. — La godille est formée, en général, par un aviron ordinaire posé dans un encastrement ménagé à la partie supérieure du *tableau*. La poignée est manœuvrée de manière que la pelle presse constamment le liquide par sa face supérieure.

Imaginons d'abord que l'on manœuvre la godille de la manière suivante (fig. 88): inclinée d'abord suivant *ab*, la pelle sera transportée en *a'b'*, puis retournée suivant *a''b''* et transportée en *a'''b''*, en cette position elle sera retournée de nouveau suivant *ab* et ainsi de suite.

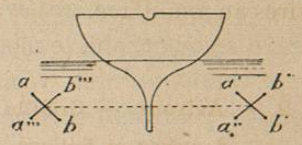

Fig. 88.

Dans ce mouvement le liquide exercera sur la face supérieure de la pelle une pression normale (fig. 89) que l'on peut décomposer en trois forces dirigées :

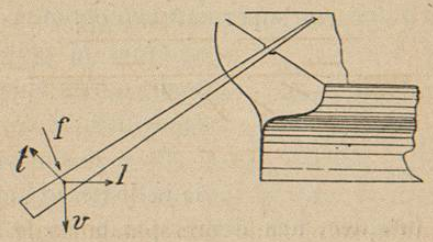

Fig. 89.

1° horizontalement de l'avant à l'arrière, *l*;

2° de haut en bas, *v*;

3° en travers et dans le sens opposé au mouvement de la pelle, *t*.

La première force produira la propulsion, la deuxième tendra à faire plonger l'arrière, mais son effet utile sera de presser l'aviron dans l'encastrement du tableau; quant à la troisième, elle produira une embardée à chaque coup de godille; lorsque l'amplitude du mouvement de la godille sera grande et que les mouvements seront lents, l'effet de

cette force sera très sensible et l'embarcation suivra une trajectoire sinueuse très accentuée (fig. 90).

Enfin, l'action de la main jointe à la composante transversale formera un couple qui mettra l'embarcation à la bande successivement dans un sens et dans l'autre à chaque coup de godille.

Fig. 90.

Tous ces caractères se réalisent dans la manœuvre de la godille; cependant, le mouvement est un peu plus compliqué que celui que nous venons d'indiquer; on voit, en effet, qu'aux positions extrêmes, pendant le retournement de la pelle, la force qui maintient l'aviron dans sa dame serait supprimée, et le moindre mouvement à faux tendrait à le faire sauter de cet encastrement; il est donc nécessaire que, même dans ces positions extrêmes, la pelle de la godille reste pressée à sa partie supérieure; on obtient ce résultat en relevant la pelle en même temps qu'on opère le retournement.

Fig. 91.

Dans le mouvement réel, la pelle décrit une courbe en huit et est orientée, aux divers points de sa trajectoire, comme l'indique la figure 91; on voit ainsi qu'à tout instant la pelle est pressée de haut en bas.

Queue des poissons. — La queue du poisson forme un propulseur d'une nature tout à fait spéciale; cet organe est constitué de telle sorte que les mouvements les plus divers qui lui sont imprimés par l'animal engendrent tous une force de propulsion.

La queue du poisson est composée d'une série d'arêtes élastiques sensiblement parallèles, reliées par une membrane flexible; cet organe est inerte, mais il est fixé à l'extrémité arrière du corps de l'animal et subit ses impulsions.

Mouvement de va-et-vient. — Les poissons *lents* donnent à cet organe un mouvement de va-et-vient d'un bord à l'autre. Supposons d'abord l'animal immobile dans la position B′A′Q′ (fig. 92), et imaginons que, d'un mouvement brusque, il donne à la partie arrière de son corps la position A″B′; l'origine A′ de la queue se transporte en A″, mais la partie arrière, sous l'effet de la résistance de l'eau, s'infléchit suivant la forme A″Q″, et subit de la part du liquide une pression normale N, qui a pour composantes une force longitudinale de propulsion L et une force transversale T. Au moment où l'animal renverse le mouvement de la queue, cet organe (toujours sous l'influence de la résistance de l'eau) s'infléchit suivant A″Q‴, et la pression qu'il subit fournit encore une composante longitudinale et une composante transversale. La composante longitudinale est toujours dirigée dans le sens de la propulsion, la composante transversale au contraire change de sens à chaque coup de queue; il en résulte que l'animal se déplace en avant, mais en décrivant sous l'influence de la force transversale des sinuosités analogues à celles de l'embarcation conduite par la godille.

Fig. 92.

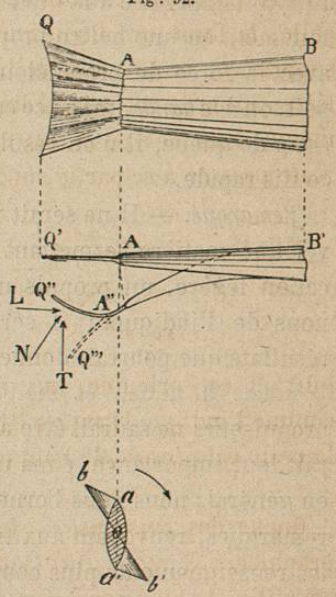

Fig. 93.

Mouvement de rotation alternatif. — L'observation des mouvements des poissons rapides est trop difficile pour que nous osions affirmer que la queue fonctionne comme nous allons l'indiquer; cependant la terminaison conique de ces animaux à leur partie arrière, ainsi que la forme de leur queue rendent très vraisemblable ce mode d'action. Imaginons que l'animal donne à sa queue des mouvements de rotation alternatifs; lorsque l'origine *aa′* de la queue tourne dans le sens de la flèche (fig. 93), l'arête *ab*