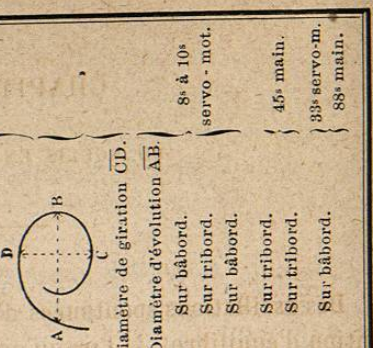
**Expériences de giration.**

| BÂTIMENTS. | DEGRÉS de barre. | VITESSE (nœuds) initiale. | VITESSE (nœuds) finale. | DIAMÈTRE d'évolution. (***) | DIAMÈTRE de giration. (**) | DURÉE de l'évolution. | LONGUEUR. | J Joëssel [2] C compensé O ordinaire | OBSERVATIONS. | TEMPS pour mettre la barre. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Friedland* | 34° | 12n | 7n | 493 | » | 3m25s [1] | 96,7 | J 0,20 | [1] Pour 16 quarts. | |
| | | 13 | 8 | 581 | 444 | 6 2 | | | [2] Le nombre inscrit dans cette colonne indique le rapport de compensation. | |
| *Trident* | 35° | 10 | 7,5 | 643 | 554 | 7 32 | 102 | C 0,20 | *Annamite* $\frac{G}{A^2} = 0,021$. | 10s à 15s servo-mot. |
| | | 13 | 10 | 724 | 630 | 6 25 | | | | |
| | 20° | 10 | 8,5 | 810 | 778 | 8 50 | | | *Duquesne* $\frac{G}{A^2} = 0,023$. | |
| *Tempête* | Toute. | 11,7 | 5,11 | 167 | 164 | 4 | 78,6 | J |  | |
| | | 9,6 | 4,7 | 158 | 118 | 4 35 | | | | |
| | 25° | 11,2 | 5,6 | 178 | 163 | 4 16 | | | | |
| *Montcalm* | 33° | 7,1 | 4,3 | » | 301 | 7 27 | | | | |
| | | 10,6 | 7,1 | » | 360 | 5 10 | | | | |
| | 25° | 7,1 | 4,5 | » | 328 | 7 26 | 70,1 | J | ** Diamètre de giration $\overline{CD}$. | |
| | | 10,6 | 7 | » | 369 | 5 22 | | | | |
| | 34° | 10,6 | 7,6 | 540 | 496 | 7 22 | | | *** Diamètre d'évolution $\overline{AB}$. | |
| | | 10,4 | 7,9 | » | 632 | 7 40 | | | | |
| *Duquesne* | 20° | 10 | 9,4 | » | 976 | 10 11 | 99,5 | C | Sur bâbord. | 8s à 10s servo-mot. |
| | | 10,2 | 9,4 | 1141 | 1050 | 10 55 | | | Sur tribord. | |
| *Annamite* | 35° | 9,9 | » | » | 697 | 9 23 | 106 | O | Sur bâbord. | |
| | | 10,2 | » | » | 600 | 9 2 | | | Sur tribord. | 45s main. |
| *Tigre* | 35° | 9,3 | 8 | » | 364 | 4 52 | 66 | J | Sur tribord. | 33s servo-m. |
| | 34° | 10 | 8,5 | » | 366 | 4 21 | | | Sur bâbord. | 88s main. |

# CHAPITRE V

## DU ROULIS EN EAU CALME

**Des oscillations spontanées d'un navire dérangé de sa position d'équilibre.** — Lorsqu'un navire en eau calme est mis à la bande et livré ensuite aux actions de la pesanteur et de la poussée, il se redresse sous l'influence de son couple de stabilité, dépasse sa position d'équilibre, accomplit une série d'oscillations sensiblement isochrones, diminuant progressivement d'étendue et finit, au bout d'un temps plus ou moins long, par revenir au repos.

On peut admettre que, pendant ce mouvement, le déplacement du navire reste constant, car l'étendue de la flottaison est telle, que le moindre changement de déplacement fait naître une force très intense qui réprime le mouvement à peine commencé; de même, on peut admettre que les plans des couples restent verticaux, car le moindre changement dans l'assiette longitudinale engendre un moment considérable qui redresse le navire.

Si, à égalité de déplacement, c'est-à-dire de poids, on réduisait l'étendue de la flottaison, la résistance aux changements d'immersion serait moins intense, et le déplacement ne serait plus constant pendant le roulis; de même, si on réduisait la longueur, le moment de différence diminuerait, et les changements d'assiette pourraient se produire. D'une manière générale, le flotteur dérangé de sa position d'équilibre oscille dans le sens de moindre résistance; ainsi la gaffe inclinée se redresse immédiatement et oscille verticalement, tandis qu'un navire qu'on inclinerait de l'avant à l'arrière, ou même qu'on enfoncerait parallèlement à lui-même et qu'on abandonnerait dans une de ces positions, se mettrait

presque aussitôt à rouler dans les conditions que nous venons d'indiquer.

**Équation du roulis en eau calme.** — D'après ce que nous venons de dire, on pourrait, pour établir l'équation du roulis, considérer le navire comme assujetti à rouler par son cylindre longitudinal d'inclinaison sur la surface libre du liquide; il faudrait alors, en se plaçant à ce point de vue, tenir compte des forces suivantes :

1° Les pressions hydrostatiques dont la résultante $\pi$ est la poussée qui agirait au repos;

2° Le poids $P = \pi$, appliqué au centre de gravité;

3° Les pressions hydrodynamiques auxquelles le mouvement considéré donnerait naissance;

4° Enfin, la réaction R supportée par le cylindre de roulement.

Cette dernière force ne peut pas être négligée, quand même on admettrait que les forces hydrodynamiques sont nulles, car, pendant le mouvement considéré, le centre de gravité du navire se déplacera, et ce déplacement ne peut être produit par les premières forces dont la résultante est constamment nulle.

On obtiendrait l'équation du mouvement angulaire en égalant le moment résultant des forces d'inertie relativement au centre de gravité, à la somme des moments des forces $\pi$, P, R, et des pressions hydrodynamiques relativement au même point. Mais, pour un problème dans lequel tant de points importants restent encore inconnus, une étude théorique de ce genre n'offrirait qu'un médiocre intérêt; nous nous bornerons donc ici à donner la méthode conventionnelle élémentaire universellement adoptée, qui consiste à ne tenir compte tout d'abord que des forces P et $\pi$, et à analyser ensuite l'effet du moment résistant des forces hydrodynamiques[1].

1. Le problème a été traité par Canon Moseley, au point de vue que nous venons d'indiquer, dans un mémoire publié dans les *Transactions philosophiques de la Société royale de Londres*.



Si l'on désigne par I le moment d'inertie $\Sigma mr^2$ du navire autour d'un axe longitudinal passant par son centre de gravité, on a, pour expression du moment des forces d'inertie,

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2};$$

la somme des moments des forces $\pi$ et P relativement au même point se réduit au moment de la poussée, c'est-à-dire au moment du couple de stabilité, et l'on a

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -P(\rho - a)\sin\theta. \qquad (1)$$

**Pendule simple synchrone.** — Au lieu de traiter directement cette équation, nous remarquerons que l'équation du mouvement d'un pendule simple, de longueur $l$, oscillant dans le vide, est :

$$l\frac{d^2\theta}{dt^2} = -g\sin\theta. \qquad (2)$$

Cette équation devient identique à l'équation (1) si l'on pose :

$$l = \frac{gI}{P(\rho - a)}. \qquad (3)$$

On peut donc conclure par analogie avec le mouvement pendulaire que :

1° Les petites oscillations sont isochrones;

2° La durée d'une oscillation simple serait, s'il n'y avait pas de résistances, la même que celle du pendule dont la longueur serait donnée par l'expression (3); et que, par conséquent, en appelant T la durée d'une oscillation simple d'un bord à l'autre, on a :

$$T = \varpi\sqrt{\frac{l}{g}} = \varpi\sqrt{\frac{I}{P(\rho - a)}}.$$

On désigne sous le nom de *Pendule synchrone* le pendule simple dont la longueur est donnée par l'expression (3).

**Détermination expérimentale de la durée des oscillations simples.** — On verra plus loin que la durée des oscillations d'un navire a une grande influence sur ses qualités nautiques ; il est donc indispensable de déterminer cette durée. Voici comment on opère.

On répartit l'équipage en deux groupes égaux rangés symétriquement des deux bords ; on fait ensuite passer les deux groupes d'un même bord pour mettre le navire à la bande, on produit ainsi un premier coup de roulis. Au moment où le bâtiment a pris son inclinaison extrême, on renvoie l'équipage entier sur l'autre bord, en lui faisant gravir la pente du pont ; on continue ensuite à faire passer successivement l'équipage d'un bord à l'autre au moment précis où le navire va se redresser ; on accélère ainsi le mouvement oscillatoire dont les amplitudes vont en augmentant, et lorsque ces amplitudes sont jugées suffisantes, on renvoie à leurs postes symétriques les groupes désignés au commencement de l'opération. Le navire continuant à osciller librement, on compte la durée d'un certain nombre d'oscillations, et on en déduit celle de l'oscillation simple.

Toutefois, de même que pour l'expérience de stabilité, on opère dans un état en général différent de l'armement complet, et il est nécessaire d'obtenir la valeur de T pour cet état.

De la valeur de T donnée par l'expérience, on déduit le moment d'inertie

$$I = \frac{T^2}{\varpi^2} P(\rho - a).$$

On passe de ce moment d'inertie au moment d'inertie I′ relatif à un autre état de chargement, en tenant compte des variations dues aux poids ajoutés ou aux poids retranchés[1] ;

1. Voici comment on opère : Désignons par M la masse du navire au moment de l'expérience, par G et G′ les positions sur le plan transversal du centre de gravité avant et après les additions et soustractions de poids ; le moment d'inertie de l'ancien poids P par rapport à un axe horizontal passant par le point G′, était égal à $I + M \cdot \overline{GG'}^2$, il faut donc ajouter à cette quantité et en



on sait d'ailleurs comment on obtient la valeur du moment $P(\rho - a)$ relatif à un état quelconque ; on a donc ainsi les éléments nécessaires au calcul de

$$T' = \varpi \sqrt{\frac{I'}{P'(\rho' - a')}}.$$

Les durées de T sont inscrites sur les devis des bâtiments pour l'état lège et l'état en charge.

**Influence du moment résistant.** — Nous n'avons pas tenu compte, dans ce qui précède, des effets des pressions hydrodynamiques, c'est-à-dire du moment résistant de la carène ; ces effets sont les suivants :

1° Lorsque le roulis en eau calme est causé par un couple accélérateur périodique, il impose une limite maximum à l'amplitude des oscillations ; il est clair en effet que, lorsque le travail du moment des résistances passives dans une oscillation devient égal au travail du couple accélérateur, les oscillations cessent de croître.

2° Dans le roulis en eau calme du navire abandonné à lui-même, ce moment absorbe la force vive, diminue la rapidité des oscillations et leur amplitude ; le mouvement s'arrête d'autant plus vite que les résistances passives du liquide sont plus intenses.

3° Si, sur un navire donné, on augmente les résistances passives, la période d'oscillation devient un peu plus grande ; et l'amplitude extrême sous l'influence d'un couple accélé-

retrancher les moments d'inertie des poids ajoutés et des poids retranchés relativement à l'axe passant par G′ ; or, le moment d'inertie d'un poids $p$ relativement à cet axe est égal au moment d'inertie $i$ de ce poids par rapport à une parallèle passant par son centre de gravité $g$, augmenté du produit de sa masse $m$ par le carré de la distance $gG'$ des deux axes ; on aura donc,

$$I' = I + M \cdot \overline{GG'}^2 + \Sigma i + \Sigma m \cdot \overline{gG'}^2;$$

les quantités $i$ et $m$ sont prises positivement pour les poids ajoutés et négativement pour les poids retranchés ; on n'évalue les $i$ que pour les masses importantes.

rateur constant est moindre. (Expériences de Froude et de MM. Bertin, de Benazé, Risbec.)

A la mer, lorsque le navire rencontre une houle synchrone avec lui, il se trouve soumis à un couple accélérateur périodique produisant un effet analogue à celui du mouvement périodique des hommes dans l'expérience de roulis en eau calme; lorsque le moment résistant est faible, le navire atteint des roulis très amples, mais lorsqu'il est intense, l'amplitude extrême est modérée. M. Froude, expérimentant sur de petits modèles ayant des formes peu résistantes, les a fait chavirer en les soumettant à des houles synchrones; ce danger n'est assurément pas à craindre pour les navires, mais, sans aller jusqu'à chavirer, ils peuvent prendre des roulis très amples nuisibles à tous les points de vue. Ces roulis engendrent des accélérations qui fatiguent la carène, la mâture et le personnel embarqué, qui rendent le service de l'artillerie presque impossible, nuisent à la marche, émergent les parties non cuirassées de la coque, présentent les ponts aux projectiles de l'ennemi, etc...

**Quilles latérales.** — Il y a donc avantage à accroître les résistances passives; on obtiendrait ce résultat en donnant aux navires des varangues acculées et de hautes quilles; mais ces formes étant impossibles à d'autres points de vue; on a commencé depuis quelques années l'essai de quilles latérales.

Dans l'origine, les quilles adoptées étaient très petites et leurs effets étaient si peu sensibles qu'on y avait d'abord renoncé; d'après M. Bertin, pour que des quilles latérales soient efficaces, il faut que la somme de leurs sections longitudinales soit égale au $^1/_{10}$ de la flottaison. Malheureusement, des quilles de cette étendue sont toujours très nuisibles à la marche à la mer; on comprend en effet que, lorsque le navire, dans un coup de tangage, se présente l'avant un peu relevé, il présente aux filets d'eau, tout le long de sa carène, deux angles rentrants qui offrent une résistance énorme. Sur les petits navires dont les mouvements de tangage sont vifs



et amples quand la mer est debout, les extrémités avant des quilles latérales émergent, et, au moment où la lame arrive, les angles rentrants formés par les quilles sont violemment fouettés par la mer; nous avons constaté maintes fois cet effet sur le *Crocodile*.

Sur les grands navires, ces inconvénients sont moins sensibles, parce que les tangages sont moindres.

---