

NOTE SUR LES ESSAIS DE VITESSE EN MER.

Par **S. LASTCHENKO**, M.I.N.A.

Ingénieur, Chef de service à la S.A. John Cockerill,
Division Chantier Naval.

1. — INTRODUCTION.

Les essais des navires sur les bases jalonnées, permettent au constructeur de vérifier expérimentalement les notions souvent empiriques qui le guident dans l'élaboration de ses projets. Le tracé des formes, les caractéristiques des hélices, et tant d'autres données primordiales, peuvent être influencés par les diverses interprétations que le constructeur prête aux résultats de ces essais.

Je ne saurais examiner ici les innombrables aspects d'un problème à la fois aussi vaste et aussi ingrat. Ce problème est vaste car il s'étend à l'entièreté de la construction navale. Je dis aussi qu'il est ingrat, puisque seuls les vrais initiés peuvent se rendre compte que les essais en mer constituent plus qu'un simple critère de qualité, mais apportent surtout — outre le soulagement légitime que ressent l'ingénieur devant la satisfaction du client — une expérience qui portera ses fruits lors de la construction de nouvelles unités.

Je me limiterai à vous faire part de quelques considérations sur les mesures de vitesse et j'espère réussir à préciser certaines notions qui vous sont devenues fort familières.

Avant d'aborder le cœur du sujet, je tiens à remercier bien sincèrement M. Serge Eustaze, Ingénieur des Constructions Navales, attaché au Chantier Cockerill, de la précieuse collaboration qu'il a bien voulu m'apporter dans la rédaction de ce mémoire.

* * *

La vitesse d'un navire ne se différencie pas en théorie de la vitesse de tout autre corps en mouvement et se mesure par le rapport entre une distance donnée et le temps nécessaire pour la parcourir. Vu la précision et la clarté de cette définition mathématique de la vitesse, l'on peut, à juste titre, s'étonner que la vitesse d'un navire soit un élément si difficile à déterminer.

Comme le navire se caractérise avant tout par sa vitesse, il est regrettable que la notion de vitesse soit si peu précise en pratique, alors que la théorie pure nous en donne une définition aussi limpide.

C'est ainsi que le constructeur naval, loin de posséder une définition unique qui ne se prêterait à aucune controverse, peut en toute liberté parler d'au moins sept vitesses du navire, que je désire d'abord préciser en guise d'introduction.

1) **La vitesse de projet** (ou vitesse de construction) : V_p , servant de base aux calculs du constructeur.

2) **La vitesse au bassin de carène** : V_b , déterminée par les essais sur modèle réduit au bassin de carène.

3) **La vitesse prédite aux essais en mer** : V_m , exprimant la vitesse que le navire devrait réaliser en mer suivant les indications recueillies lors des essais au bassin de carène.

4) **La vitesse effectivement réalisée** aux essais en mer : V_r , mesurée sur une base jalonnée.

5) **La vitesse de service** : V_s , c'est-à-dire la vitesse moyenne que le navire réalise entre deux ports donnés. Cette vitesse dépend essentiellement du service auquel le navire est affecté. Elle se détermine par statistiques uniquement et intéresse principalement l'armateur.

6) **La vitesse contractuelle** : V_c , que le constructeur s'engage à réaliser aux essais en mer, sans dépasser une puissance déterminée.

7) **La vitesse économique** : V_e , pouvant se concevoir sous deux aspects très différents :

a) la vitesse à partir de laquelle la courbe de puissance augmente fort brusquement, ou

b) la vitesse pour laquelle le prix de revient d'exploitation atteint un minimum.

Chacune des vitesses que je viens de citer peut être définie d'une manière assez précise. Il n'en est malheureusement pas de même des relations qui existent entre elles. Ces relations sont définies assez empiriquement et dépendent de certains facteurs qui peuvent être variables dans le temps.

Quelques exemples illustreront ma pensée.

Si le constructeur est absolument rassuré sur l'exactitude de ses calculs, il pourra prendre $V_c = V_p$ (c'est-à-dire vitesse contractuelle égale à la vitesse de projet).

En général, la vitesse au bassin V_b est supérieure à la vitesse de projet V_p de quelques dixièmes de nœud.

La vitesse prédite aux essais V_m est généralement calculée en admettant que la puissance des machines aux essais sera égale à 1,15 à 1,2 fois la puissance directement déduite des essais au bassin. Ce coefficient dépend du type de navire, de ses caractéristiques principales et peut aussi différer selon les méthodes appliquées par le bassin d'essai (coefficient de friction, dispositifs de turbulence, etc.).

La vitesse effectivement réalisée V_r , sera généralement supérieure de quelques dixièmes à la vitesse prédite V_m .

La vitesse de service V_s , mériterait à elle seule de faire l'objet d'une étude étendue. Disons qu'il n'existe pas de critère absolu permettant de la déterminer à partir de la vitesse aux essais. Elle est d'ailleurs essentiellement variable suivant les conditions locales du service, la saison et même l'âge du navire.

Quant à la vitesse économique, l'on peut dire qu'elle ne sera pas nécessairement — on pourrait même dire presque jamais — égale à la vitesse de service, car d'autres considérations, autres que les conditions purement économiques, peuvent encore intervenir. Ces conditions économiques sont du reste fort variables dans le temps et peuvent subir des modifications radicales au cours de la vie du navire, si bien qu'un navire qui paraissait fort économique au début de sa carrière, peut l'être devenu beaucoup moins ou pas du tout, quelques années à peine après sa construction.

Nous en retenons que la détermination des vitesses économiques relève plutôt des sciences conjecturales que des sciences appliquées.

Il serait pourtant très utile que les relations entre les diverses vitesses puissent être définies plus nettement. Le constructeur aimerait en effet savoir quelle marge de sécurité lui réservent ses calculs ou les essais qu'il effectue au bassin de carène.

De son côté, l'armateur a un intérêt capital à savoir quelle vitesse aux essais il doit imposer au constructeur pour pouvoir atteindre une vitesse donnée en service.

En compulsant les articles ou revues techniques — sans parler des autres qui paraissent dans la presse quotidienne — nous constatons que dans 95 % des cas, les auteurs ont soin de ne pas préciser à quelle catégorie il faut rattacher la vitesse mentionnée.

Nous pourrions conclure cette introduction sur une note

imprévue, à savoir qu'il est bien rare, lorsqu'on parle de la vitesse d'un navire, que l'on sache exactement de quoi il s'agit ou à quoi s'en tenir. Faut-il dès lors s'étonner des discussions qui s'engagent parfois entre armateur et constructeur à l'issue du voyage d'essai en mer.

Nous nous bornerons, dans la présente étude, à examiner la manière et le degré d'exactitude avec lequel on peut déterminer la vitesse aux sesais en mer et contrôler la vitesse contractuelle du navire.

2. — METHODES DES ESSAIS DE VITESSE.

Si nous parcourons les diverses méthodes admises, nous constatons que la plus simple est celle qui consiste à faire courir le navire le long d'une base bien repérée et bien mesurée.

Nous pouvons encore, dans ce cas, procéder de trois manières distinctes.

1) Faire une série de courses aller et retour à la vitesse maximum, soit au régime maximum de l'appareil propulsif.

2) Faire des essais progressifs en effectuant plusieurs séries de courses, chaque série étant faite à un régime donné. Nous obtenons ainsi une courbe continue de la vitesse en fonction du nombre de tour des hélices.

3) Faire un grand nombre de courses à régime croissant, avec intervalles de tours par minute uniformes entre courses, ainsi que le préconise Taylor.

Cette méthode — dont je vous ai fait entrevoir trois variantes — présente le grand avantage de nécessiter pour tout appareillage quelques bons chronomètres, qu'il ne faut évidemment pas négliger d'étalonner périodiquement si l'on veut obtenir une précision satisfaisante.

Cette méthode présente toutefois comme inconvénient que les bonnes bases, dignes de ce nom, sont rares et souvent fort éloignées du chantier de construction. Il suffit dès lors du mauvais temps ou du brouillard pour rendre inutiles les frais élevés encourus pour se rendre à la base.

Pour cette raison, il a été fait appel ces derniers temps à d'autres méthodes, utilisant les nouveaux procédés de navigation, tels que le Decca Navigator, par exemple, que je me plais à vous rappeler brièvement.

Ainsi que vous le savez, trois stations émettrices tracent

dans l'espace des lignes hyperboliques qui se croisent. Chaque passage de ligne est enregistré automatiquement par les appareils Decca transportés à bord.

Chaque essai comportera deux courses perpendiculaires à l'une des ligne Decca, ainsi qu'il est montré à la fig. 1 où AB et ab représentent la course du navire, sans effet du courant. L'effet du courant, dont il y a lieu de tenir compte, est représenté sur la même figure par BC , bc .

D'autre part, AD (c'est-à-dire la projection de AC sur AB), indique le nombre de lignes Decca traversées au cours de chaque course.

Si nous construisons la fig. 2, nous voyons que le nombre de lignes Decca traversées durant chaque essai, est égal à la somme des longueurs de course. Nous en déduirons aisément la vitesse vraie du navire.

Ce raisonnement n'est toutefois exact que si le courant ne varie pas d'une course à l'autre.

D'autre part, la précision des mesures sera évidemment d'autant plus grande que la course est plus longue. Nous devons donc choisir une course aussi longue que possible tout en veillant à ce que l'effet du courant reste à peu près le même dans les deux sens. En général, une course de 2 à 3 milles s'avérera satisfaisante.

Pratiquement l'essai consistera à relever de quinze en quinze secondes les lignes traversées et de porter les observations en graphique en fonction du temps.

Si l'influence du courant demeure constante, les points trouvés devront se trouver sur deux droites (une droite pour chaque course).

La précision des mesures dépendra encore de la forme des lignes hyperboliques au lieu des essais. Vu sous cet angle, la côte belge semble favorable.

Un dernier point mérite encore de retenir notre attention. Les essais au Decca doivent être effectués dans l'espace de temps s'étendant de deux heures après le lever du soleil à deux heures avant le coucher. En dehors de cette période, et ce par suite de perturbations que nous ne chercherons pas à élucider, il peut se produire quelques variations dans la position des lignes. Ces variations sont sans importance pour la navigation, mais peuvent influencer les résultats des essais de vitesse.

Le Decca Navigator présente au constructeur des avantages

incontestés et son utilisation permettra d'effectuer ou de poursuivre les essais de vitesse par temps opaque, alors que les bases jalonnées ne sont même pas visibles.

J'estime en outre que la précision des mesures faites à l'aide du Decca est au moins équivalente à celle que nous donnent les méthodes orthodoxes. Pourquoi, me demanderez-vous, cette méthode ne s'est-elle pas généralisée. Je crois répondre à cette question en vous rappelant que le Decca est un appareil relativement jeune, dont les performances sont encore discutées par certains et qui, de ce fait, n'a su gagner la confiance de l'ensemble des armateurs et constructeurs.

Je suis persuadé toutefois que, d'ici quelques années, le Decca Navigator deviendra un outil essentiel de ceux qui sont chargé de la conduite des essais de vitesse, à moins évidemment qu'une technique plus ingénieuse encore ne fasse son apparition.

3. — METHODE DE CALCULS.

Examinons de plus près les diverses méthodes de calculs suscitées par les essais sur bases mesurées et analysons les facteurs susceptibles d'influencer les résultats.

Nous avons vu que les essais sur bases mesurées pouvaient se concevoir de trois manières.

a) Série de courses à la vitesse maximum :

Dans le cas des séries de courses à régime maximum, nous utiliserons la formule bien connue des moyennes de moyennes.

Pour que cette formule donne un résultat exact, il faut :

- 1) que les intervalles entre les courses soient égaux;
- 2) que le courant varie d'une façon continue suivant une loi parabolique de degré $(n-2)$, n étant le nombre de courses.

La vitesse du courant, v , sera alors donnée par l'expression:)

$$V = a_1 + a_2t + a_3t^2 + a_4t^3 + \dots + a_{n-1}t^{n-2} \quad (1)$$

Signalons que M. Rösingh a indiqué une méthode permettant de calculer la vitesse vraie même si les intervalles entre les courses ne sont pas égaux. Les calculs sont naturellement beaucoup plus longs car on est amené à devoir résoudre un système de n équations simultanées du 1^{er} degré.

Les n inconnues du système sont précisément les $(n-1)$ coefficients a_1, a_2, \dots de la loi parabolique du courant et la vitesse v cherchée.

On obtient ainsi en même temps la variation du courant en fonction du temps, que l'on peut contrôler d'après les tables nautiques.

b) Essais progressifs :

Nous pouvons appliquer la méthode décrite ci-dessus à chacune des séries de courses.

Le nombre de tours moyen devra également être calculé en prenant la moyenne des moyennes des nombres de tours aux différentes courses.

D'après ce que nous avons vu, si nous multiplions les courses d'une même série, nous augmentons la précision des essais, car le degré de la parabole supposée de la variation du courant, augmentera également, et nous pourrons, de ce fait, nous rapprocher davantage de la réalité.

Toutefois, une autre considération peut intervenir, ainsi que je l'illustrerai par un exemple.

Si nous prenons une série de six courses, nous appliquerons la formule :

$$V = \frac{V_1 + 5V_2 + 10V_3 + 10V_4 + 5V_5 + V_6}{32} \quad (2)$$

Ceci reviendra à accorder aux courses nos 3 et 4 une importance trop grande. Toute erreur accidentelle sur ces courses aura une influence plus pondérante qu'une erreur sur les courses 1 et 6.

C'est pourquoi, et ceci est en opposition à ce que j'ai dit plus haut, il est souvent recommandé de diviser la série de 6 courses en deux séries de 3 courses. On appliquera le calcul des moyennes à chacune de ces deux sous-séries et on calculera la moyenne arithmétique des deux résultats obtenus.

Dans ce cas, la formule deviendra :

$$V = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3 + V_4 + 2V_5 + V_6}{8} \quad (3)$$

et on aura remplacé la parabole de courant de quatrième degré par deux droites.

Il n'est vraiment pas possible de dire laquelle des deux formules sera la meilleure. Ceci dépendra en ordre principal de la forme même de la variation du courant qui est souvent erratique.

Cependant, quelle que soit la méthode utilisée, il est tou-

jours recommandable de porter en graphique la valeur de l'avance par tour, soit $\frac{V}{N}$ en fonction du temps.

Si l'influence du courant est nulle, tous les points du graphique se mettrons sur une ligne unique. Si, par contre, l'influence du courant est sensible, les points représentatifs viendront se placer sur deux lignes plus ou moins continue, soit une ligne pour la direction Nord, par exemple, et une ligne pour la direction Sud.

Le point de croisement de ces deux lignes indiquera le moment où le courant aura changé de sens.

Dans des essais bien conduits, les deux lignes doivent être continues. Toute discontinuité brusque indique une anomalie dans la mesure ou, encore, une variation très brusque du courant.

Dans ce cas, il est préférable de ne pas prendre en considération la zone où cette variation s'est brusquement produite.

Le rapport V/N varie d'autre part d'une façon continue en fonction de N . Les séries de courses doivent donc être effectuées à des N régulièrement croissants (ou décroissants), si l'on veut que la courbe V/N , tracée en fonction du temps, varie régulièrement.

Voyons maintenant comment ces courbes nous permettent de calculer la vitesse du courant.

Traçons la courbe moyenne de $a = \frac{V}{N}$ (fig. 3).

Pour la course 1, nous trouvons que a moyen est égal à a_{01} ; de ce fait, la vitesse vraie (c'est-à-dire sans influence du courant) au moment t_1 est égale à $a_{01} \times N_1$, N_1 étant le nombre de tours de l'hélice au cours de l'essai 1.

En répétant ce même calcul pour chaque course mesurée, nous trouvons finalement la vitesse V en fonction de N pour l'ensemble des courses.

Cette méthode est assez simple et ne demande que peu de calculs. De plus, il n'est pas nécessaire que les intervalles entre les courses soient absolument égaux.

Appliquons cette méthode à l'exemple cité dans « Resistance, Propulsion and Steering of Ships » par M. van Lammeren (p. 353) et repris par M. Rosingh dans son article « Scheepssnelheid op de gemeten mijl » paru dans « Schip en Werf » du 22 décembre 1950.

Dans cet exemple, les nombres de tours ne sont pas pris en considération et nous admettrons donc qu'ils restent égaux pour toutes les courses. Au lieu de porter le rapport V/N en graphique, nous pourrions ainsi nous limiter à indiquer la vitesse (voir fig. 4 et annexe 1).

La courbe moyenne peut être tracée avec assez de certitude entre les points 2 et 5; entre 1 et 2, d'une part, et 5 et 6, d'autre part, il faudra par contre extrapoler et il en résultera une certaine imprécision.

L'exemple considéré est tel que la vitesse vraie est constante et que le courant varie suivant une courbe qui se rapproche d'une parabole du quatrième degré. Les courbes tracées en trait plein sur la fig. 4 sont donc exactes. Toutefois, s'il s'agissait de points relevés en pratique, on pourrait être tenté de dessiner les courbes reproduites en pointillé. On en déduirait que la vitesse a baissé aux derniers essais et on attribuerait ce fait à une force extérieure perturbatrice, par exemple, le vent.

Si nous prenons la moyenne de la courbe V , en ne considérant que la partie située entre 2 et 4, nous trouvons exactement 15 nœuds.

Nous constatons donc que les mesures extrêmes V_1 et V_6 donnent réellement une indication moins précise que les autres points.

Il y a donc un certain sens physique à ce que dans la formule de la moyenne des moyennes, les coefficients des vitesses V_2 , V_3 , V_4 et V_5 , soient plus élevés que ceux des vitesses V_1 et V_6 .

Si nous avons groupé la série de 6 courses en deux séries de 3 courses, nous aurions trouvé, dans le même exemple, $V = 14,987$.

Résumons les résultats obtenus par les différentes méthodes mentionnées jusqu'à présent :

- 1) moyenne des moyennes (1 série de 6 courses) (formule 2) : 15,048;
- 2) moyenne des moyennes (2 séries de 3 courses) (formule 3) : 14,987;
- 3) méthode Rösingh : 14,9958;
- 4) méthode graphique (en considérant les points 1 à 6) : 14,95;
- 5) méthode graphique (en considérant les points 2 à 5) : 15,00.

Le résultat relativement assez inexact du calcul des moyennes de moyennes, doit être attribué au fait que les intervalles sont inégaux. Avec des intervalles égaux, nous aurions trouvé 14,998.

c) Essais à régime croissant, avec intervalles uniformes entre courses (méthode dite de Taylor) :

Dans cette troisième méthode, il n'est plus possible d'appliquer la formule des moyennes de moyennes. On portera donc encore en graphique les valeurs de V/N en fonction du temps, ainsi que nous l'avons déjà indiqué.

Je n'ai pas d'expérience personnelle de cette méthode, mais je pense qu'elle est au moins aussi exacte que les autres et qu'elle possède les avantages suivants :

- les intervalles entre les courses ne doivent pas être égaux;
- on ne fait pas d'hypothèse sur la loi de variation du courant;
- si, pour une raison ou l'autre, une course est manquée, on ne perd que cette course uniquement.

Dans le calcul des moyennes de moyennes, par contre, si la troisième course d'une série est manquée, par exemple, les deux premières courses sont également perdues;

- cette méthode donne finalement une courbe de V en fonction de N , dont les points sont étagés régulièrement tout le long de la courbe, au lieu d'être rassemblés en 3 ou 4 points particuliers, comme c'est le cas pour les moyennes de moyennes.

Cette remarque s'applique également aux mesures de puissance et nous pourrions tracer des courbes beaucoup plus exactes des puissances P et des coefficients P/N^3 en fonction du nombre de tours N .

* * *

La méthode des moyennes de moyennes émet comme hypothèse que le courant varie d'une façon régulière. Si le courant est en réalité irrégulier, on pourra obtenir une courbe assez irrégulière des V en fonction de N .

La méthode de Taylor, au contraire, émet comme hypothèse de base que la vitesse du navire varie régulièrement en fonction de N . A chaque valeur de N et du courant, devrait donc correspondre une valeur de V/N . Il en résulte que l'on pourra

trouver une courbe de courant assez irrégulière, sans que l'on puisse affirmer en toute certitude que le courant a réellement cette forme, car des causes perturbatrices peuvent se manifester.

4. — INFLUENCES PERTURBATRICES.

Nous n'avons tenu compte, jusqu'à présent, que de l'influence de la vitesse du courant. Il existe malheureusement d'autres facteurs qui viennent fausser les résultats obtenus. Je vous propose de les analyser successivement.

1. — Influence du vent :

La force exercée par le vent sur le navire s'exprime par

la loi : $P_v = \alpha k \Omega v^2$ où

P_v est la résistance du vent;

Ω est la surface transversale exposée au vent;

v est la vitesse relative du vent par rapport au navire;

k est une constante dépendant du type du navire;

α est un coefficient dépendant de la direction du vent par rapport à l'axe du navire ($\alpha = 1$ quand le vent est un vent debout, c'est-à-dire quand l'angle d'incidence est nul).

Il est aisé de montrer que l'on ne peut pas compenser l'action du vent en se bornant uniquement à prendre la moyenne entre deux courses opposées. En effet, lorsque le navire aura le vent avec lui, la vitesse relative du vent par rapport au navire sera faible et le gain de puissance apportée par l'action du vent sera peu importante. Par contre, lorsque le navire a le vent contre lui, la vitesse relative du vent devient grande et la puissance absorbée pour vaincre le vent devient une fraction importante de la puissance développée par les machines.

Plusieurs méthodes, consacrées à l'influence du vent ont été publiées et appliquées. Nous n'en verrons cependant pas les détails.

a) **Méthode de Taylor** (The Speed and Power of Ships, 1943).

Cette méthode peut s'appliquer au cas des essais progressifs; elle ne nécessite que la connaissance de la vitesse relative et la direction du vent.

b) **Méthode de Schoenherr** (Principles of Naval Architecture, New-York, 1939, vol. II).

Cette méthode s'applique bien dans le cas d'essais limités et dans le cas d'essais progressifs. Elle nécessite cependant la connaissance des courbes caractéristiques des hélices ainsi que celle des coefficients h et Ω , qui sont généralement mal définis.

c) **Méthode de Jammy** (La construction du vaisseau de guerre, Paris, 1921).

Cette méthode peut s'appliquer avec le même succès dans tous les cas. Elle ne nécessite, comme celle de Taylor, que la connaissance de la vitesse relative et de la direction du vent.

La formule est établie pour le cas où les puissances aux machines restent égales dans les deux sens de courses, et suppose que le vent est parallèle à l'axe du navire et que le courant est nul.

Cette méthode peut facilement se généraliser au cas où les puissances et courants sont inégaux.

La formule donne une démonstration mathématique de la non compensation de l'influence du vent par un simple calcul de moyennes (v. annexe II).

Remarquons que toutes les méthodes énumérées, exigent la connaissance des puissances aux machines.

Si nous tracions les puissances en fonction de N , nous devrions trouver tous les points figuratifs (direction Nord ou Sud) sur une même ligne, quel que soit le courant. Ceci n'est toutefois vrai que si l'action du vent est nulle.

Il en résulte que les corrections dues au vent ne pourront se faire qu'à la condition que les mesures de puissance soient suffisamment précises pour déceler l'influence du vent. En d'autres mots, il faut que la courbe des puissances en fonction de N , se sépare en deux courbes bien distinctes pour les deux directions de course.

Pour des vents qui ne sont pas trop excessifs, la différence entre ces deux courbes n'est généralement pas fort éloignée de l'ordre de grandeur des précisions des mesures de puissance, c'est-à-dire 3 à 4 %.

La séparation entre les deux courbes sera donc fort souvent difficile, ce qui exclut la possibilité d'une correction rigoureuse de l'effet du vent.

2. — Influence de la température de l'eau :

L'influence de la température de l'eau de mer n'est nulle-

ment négligeable. M. van Lammeren estime que la résistance de frottement augmente de 0,43 % pour une diminution de température d'un degré centigrade. Une communication de la « Hamburg Schiffbau Verschanstalt » avance le chiffre de 0,37 %. Nous pourrions donc admettre une valeur moyenne de 0,40 %.

Pour les navires de commerce ordinaires, la résistance de frottement représente environ 75 % de la résistance totale. Nous voyons donc qu'une différence de température d'eau de mer de 10° centigrades, suffit pour provoquer une différence de 3 % sur la résistance globale.

Les essais au bassin sont généralement ramenés à la température de 15° centigrades. Il sied donc de prendre cette température comme référence pour les essais en mer.

3. — Influence de la houle :

Kent et Kempf ont réussi à établir un diagramme montrant la diminution de vitesse en fonction de la hauteur des vagues et du coefficient de finesse du navire.

La hauteur des vagues est fort difficile à déterminer, vu que toute mesure de celle-ci doit nécessairement se faire par des moyens peu perfectionnés et peu précis.

Signalons enfin que l'action défavorable de la houle ne pourra pas se compenser par le calcul de la moyenne de deux courses opposées.

4. — Influence de la profondeur d'eau :

L'influence de la profondeur d'eau se calcule ordinairement d'après la méthode de Schlichting, qui permet d'apprécier, en outre, si la profondeur de la base est suffisante dans le cas d'un navire et d'une vitesse donnés.

Cette méthode donne une bonne indication sur les corrections éventuelles à apporter. Il est toutefois bien évident que l'on ne pourra obtenir des résultats précis aussi longtemps que l'on effectue les essais sur fond trop faible.

5. — Influence de l'état de propreté de la coque.

Quoique cette influence puisse se manifester, nous n'en parlerons pas, car nous supposons que les essais se font sur une coque nouvellement peinte. A vrai dire, l'état de propreté n'intervient que dans le cas d'un navire ancien dont on aurait modifié les machines de propulsion.

5. — PRECISION DES MESURES DE VITESSE.

Après l'examen des méthodes et un bref aperçu des facteurs pouvant se manifester, il est intéressant de s'arrêter quelque peu sur la précision que l'on peut espérer atteindre au cours des essais de vitesse.

De nombreuses erreurs, dues à des causes essentiellement variables et locales, peuvent intervenir. Nous en citerons celles qui sont les plus apparentes.

a) Erreur sur la longueur de la base :

Cette erreur n'est jamais connue mais peu généralement être négligée. Par contre, l'erreur sur le trajet effectivement accompli par le navire peut être nettement plus grande. Elle dépend, en particulier, de l'état de la mer et du soin apporté dans la tenue de l'alignement.

b) Erreur sur le temps :

Les mesures du temps se font au chronomètre. Nous avons pu constater, après de nombreux essais que, pour une course qui durait 200 secondes environ, il était très rare que la différence de lecture entre deux observateurs différents dépasse 0,5 seconde. L'erreur est donc en pratique limitée à 0,25 %.

c) Erreur provoquée par la présence du courant :

Nous avons déjà pu constater que sur une bonne base, par temps favorable et avec un courant modéré, l'erreur provoquée par l'application de la formule de la moyenne des moyennes, était, en général, pour une vitesse de 15 nœuds environ, inférieure à 0,05 nœud soit 0,35 % environ.

Ceci peut se vérifier en considérant les moyennes intermédiaires faites sur une série de 4 courses ou plus.

On constate, d'autre part, que les moyennes prises sur trois courses, ne diffèrent que d'une valeur inférieure à 0,05 nœuds, ainsi que le montre l'exemple cité précédemment.

Au total, compte tenu du temps et du courant, nous obtenons une précision de 0,60 % environ. Toutefois, par vent fort, l'erreur globale pourra atteindre 1 % si l'on ne fait pas de correction spéciale pour le vent. Ce chiffre n'est d'ailleurs valable que pour des conditions normales d'essais. Dans des

conditions particulièrement favorables, cette erreur pourra être inférieur, alors qu'elle sera probablement plus importante si les conditions ne sont pas appropriées.

Quoi qu'il en soit, la précision de 1 % reste de loin supérieure à celle des mesures de puissance.

Pour un navire filant à 15 nœuds, cette erreur représente néanmoins 0,15 nœuds. Au cours d'un voyage d'essais, il peut évidemment y avoir un monde de différence — et pour l'armateur et pour le constructeur entre le résultat de 14,9 et 15,05 nœuds.

Nous en concluons que nous ne pourrions jamais nous entourer d'assez de précautions pour mener à bien les essais de vitesse. A cet effet, je me permets de dire qu'il serait hautement souhaitable que les contrats de construction mentionnent toujours la marge de tolérance admise.

Pour bien apprécier la précision des mesures faites dans des conditions favorables, examinons le diagramme 5 où nous avons groupé les résultats obtenus sur cinq navires du même type, possédant des hélices différentes. Les navires n^{os} 1 et 2 de l'exemple, ont une hélice *a*, tandis que les navires 3, 4 et 5, sont équipés d'une hélice *b*. Nous voyons que la précision est bonne et que l'écart ne dépasse pas 0,7 %, bien que ces essais aient été effectués à des dates très variées et dans des conditions de vent et de courant parfois fort dissemblables. Il semble en résulter que les facteurs vent et courant — une fois les corrections effectuées — ne gardent que peu d'influence sur la courbe vitesse-nombre de tours. Je vous fais remarquer en particulier, que les courbes du diagramme 5 n'ont pas été corrigées pour tenir compte de la vitesse du vent.

6. — CONCLUSIONS.

Que faut-il conclure de cette énumération de méthodes de calcul ?

Les conclusions que j'ai à tirer des quelques considérations que nous venons de développer, n'ont rien d'absolu, mais résument, je crois, les aspects principaux du problème posé.

1) Il n'existe pas de méthode à laquelle on pourrait attribuer plus de mérite ou plus de crédit. En pratique, les méthodes citées se valent et leur degré de précision est équivalent. S'il est vrai d'une part que certaines méthodes sont plus faciles à appliquer et imposent moins de complexité aux calculs, il

n'en demeure pas moins vrai, d'autre part, que toutes restent conditionnées — à un degré plus ou moins élevé — par des facteurs locaux, pouvant varier dans le temps.

2) Des phénomènes perturbateurs se manifesteront, quelle que soit la méthode appliquée. Ces phénomènes revêtent une importance plus ou moins grande, suivant les cas particuliers

qui se présentent, et peuvent, en général, être compensés ou corrigés. N'oublions pas toutefois que toutes les méthodes de correction sont empiriques et se basent sur des hypothèses qu'il n'est pas toujours possible de vérifier. Il est donc exclu d'atteindre la précision absolue. Dès lors, vu la présence inévitable d'une certaine erreur résiduelle, l'on est en droit de se demander jusqu'à quel point il convient de pousser le degré de précision des essais. Pour ma part, compte tenu des résultats obtenus dans la pratique et de leur importance relative vis-à-vis de l'ensemble du problème naval, je ne crois pas qu'il est sage de se laisser impressionner par ce mirage qu'est la précision. Effectuons nos essais avec toute la probité voulue, ne négligeons aucun détail, choisissons les conditions avec soin, appliquons les corrections possibles et estimons-nous heureux d'obtenir un degré de précision compatible à l'esprit dans lequel nous avons conçu notre projet et nos études.

3) Il serait hautement souhaitable que les essais de vitesse soient standardisés afin de permettre toute comparaison entre les performances réalisées. La standardisation totale est toutefois impossible car les conditions locales prévalent et nous ne pouvons songer à choisir une base unique qui serait commune à tous les constructeurs du monde. Cependant, une certaine unité peut et doit être atteinte dans la technique des essais, l'interprétation des mesures, les méthodes de correction appliquées et les tolérances admises. Des codes nationaux existent déjà, mais il serait souhaitable qu'une certaine standardisation soit réalisée à l'échelle internationale. Cette unité — qui ne peut être réalisée que par une Commission Internationale — donnera à tous les constructeurs la possibilité de parler le même langage.

J'ai limité cet exposé à quelques considérations se rapportant aux essais de vitesse sur bases jalonnées. Je vous ai cependant signalé dès le début que les essais en mer poursuivaient d'autres buts encore, notamment la mesure des

puissances, la vérification des caractéristiques des hélices et le tracé des formes.

C'est ainsi que j'en arrive à une considération générale par laquelle je désire conclure :

Il existe une relation capitale entre les essais d'autopropulsion dans le bassin et les essais en mer. Beaucoup de constructeurs et d'armateurs sont tentés de mettre en doute la valeur absolue des chiffres calculés, pour les bâtiments réels à partir des résultats d'essais au bassin.

Il est évident que dans ce cas, comme dans d'autres cas analogues, le passage du modèle au réel peut nécessiter des coefficients correcteurs. La détermination de ceux-ci nécessiterait des comparaisons fréquentes entre les essais en mer et les essais sur modèle. Or ce travail de comparaison n'est effectivement accompli que bien rarement, vu les difficultés auquel il peut donner lieu. Avouons, d'autre part, qu'il est bien rare aussi que le constructeur ait le temps de se mettre aux calculs une fois que son navire est livré, car déjà d'autres problèmes plus urgents l'attendent.

Cette méfiance vis-à-vis des résultats des essais au bassin n'est donc pas de mise car il ne faut pas que, par suite d'une expérimentation insuffisante, on perde une partie du bénéfice que peuvent apporter les essais d'autopropulsion sur modèle réduit.

Annexe I.

**ESTIMATION DES VITESSES
SUIVANT
LE CALCUL DE MOYENNE DES MOYENNES.**

L'exemple, repris par M. Ing. W.H.C.E. Rösingh, est tiré de « Resistance, Propulsion and Steering of Ships » de M. van Lammeren, p. 353.

Dans cet exemple, la vitesse vraie est égale à 15 noeuds et le courant a une variation à peu près parabolique, les intervalles entre les courses sont irréguliers.

Course	Heure d'entrée sur la base	V vraie	V courant noeuds	V _s
1	9'30"	15,00	3,00	12,00
2	10'00"	15,00	2,93	17,93
3	10'40"	15,00	2,60	12,40
4	11'05"	15,00	2,20	17,20
5	11'45"	15,00	1,18	13,82
6	12'22"	15,00	0,20	14,80

V_s — Vitesse par rapport à la base.

Course	Temps (en heures)		Temps du milieu de chaque course (en heures)
	début	fin	
1	0,00000	0,08333	0,04167
2	0,50000	0,55577	0,52789
3	1,16667	1,24732	1,20700
4	1,58333	1,64147	1,61240
5	2,25000	2,32236	2,28618
6	3,86667	2,93424	2,90046

Dans la fig. 3 nous avons porté en ordonnée la vitesse V_s en fonction du temps du milieu de chaque course (dernière colonne du tableau ci-dessus).

Annexe II.

INFLUENCE DU VENT.

Correction par la méthode de Jammy (généralisée)

Au cours des essais, on relève les courbes suivantes :

- 1) Vitesse sur la base en fonction du nombre de tours;
- 2) Puissance sur la base en fonction du nombre de tours.

Nous avons vu comment, en éliminant l'effet du courant, on obtient la vitesse par rapport à l'eau (vitesse vraie) en fonction du nombre de tours par minute.

Nous pourrions donc finalement tracer la courbe des puissances en fonction de la vitesse vraie.

Si les puissances relevées dans les deux sens de courses se situent sur une courbe unique, c'est que l'influence du vent est nulle ou bien que la précision des mesures des puissances est trop faible pour pouvoir la déceler.

Supposons que nous obtenions deux courbes bien distinctes (fig. 4). Nous voyons donc que, à la puissance P , le navire aurait atteint une vitesse V_1 dans le sens Nord et une vitesse V_2 dans le sens Sud, par suite de l'effet du vent.

Nous pouvons écrire, en supposant que les puissances varient proportionnellement aux cubes des vitesses dans les fractions de courbes considérées :

$$P = V_1^3 + \alpha_1 k \Omega v_1^2 V_1 \quad (5)$$

$$P = V_2^3 + \alpha_2 k \Omega v_2^2 V_2 \quad (6)$$

Les termes $\alpha k \Omega v^2 V$ représentent la puissance dépensée pour vaincre le vent de vitesse relative v (v. équation 4 précédente).

α est positif si le vent relatif est contre le navire; α est négatif si le vent aide le navire.

Nous aurons également :

$$P = K V^3 + k \Omega V^3 \quad (7)$$

car si l'air est immobile, sa vitesse relative par rapport au navire est précisément la vitesse V cherchée et $\alpha = 1$.

Les équations (5), (6) et (7) peuvent s'écrire :

$$\frac{P}{V_1^3} = K + \alpha_1 k \Omega \lambda^2 \quad (8)$$

$$\frac{P}{V_2^3} = K + \alpha_2 k \Omega \mu^2 \quad (9)$$

$$\frac{P}{V^3} = K + k \Omega \quad (10)$$

en posant $\lambda = \frac{v_1}{V_1}$ et $\mu = \frac{v_2}{V_2}$

En éliminant k et $k\Omega$ entre les équations (8), (9) et (10), on trouve :

$$\frac{1}{V^3} = \frac{1}{V_1^3} \frac{1 - \alpha_2 \mu^2}{\alpha_1 \lambda^2 - \alpha_2 \mu^2} - \frac{1}{V_2^3} \frac{1 - \alpha_1 \lambda^2}{\alpha_1 \lambda^2 - \alpha_2 \mu^2} \quad (11)$$

Cette dernière relation permet de calculer V .

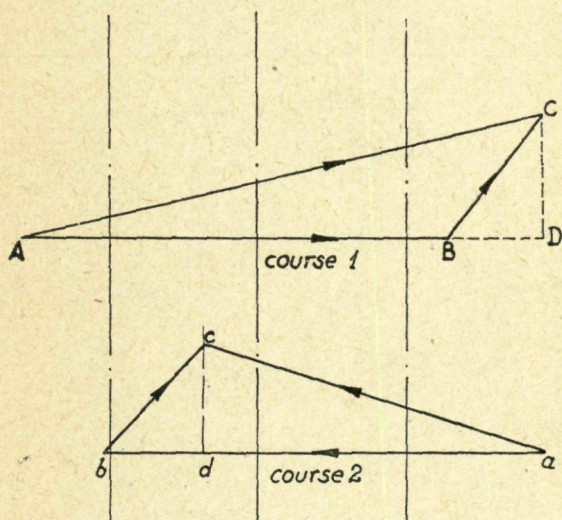
En effet, V_1 et V_2 sont mesurés sur la base. Les termes λ et μ sont connus vu qu'il suffit de mesurer sur la base les vitesses relatives du vent, v_1 et v_2 , à l'aide d'un anémomètre par exemple.

Quant aux termes α_1 et α_2 qui mesurent l'influence de la direction du vent, ils sont donnés en fonction de cette direction dans l'ouvrage de Taylor : « Speed and Power of Ships ».

Notons également que, si l'on ne connaissait que V_1 et V_3 , correspondant aux puissances P_1 et P_3 , on obtiendrait :

$$\frac{1}{V^3} = \frac{1}{V_1^3} \frac{1 - \alpha_3 \mu^2}{\alpha_1 \lambda^2 - \alpha_2 \mu^2} - \frac{P_3}{P_1} \frac{1}{V_3^3} \frac{1 - \alpha_1 \lambda^2}{\alpha_1 \lambda^2 - \alpha_3 \mu^2} \quad (12)$$

Les équations (11) et (12) démontrent mathématiquement que l'on ne peut compenser l'effet du vent en prenant simplement la moyenne des vitesses correspondant à une puissance donnée.



- $A-B$
 $a-b$: Direction perpendiculaire avec ligne Decca.
 $B-C$: Influence du courant
 $b-c$
 $A-C$: Chemin parcouru par le navire.
 $a-c$

FIG. 1

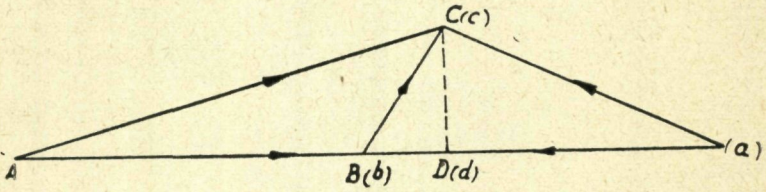


FIG 2

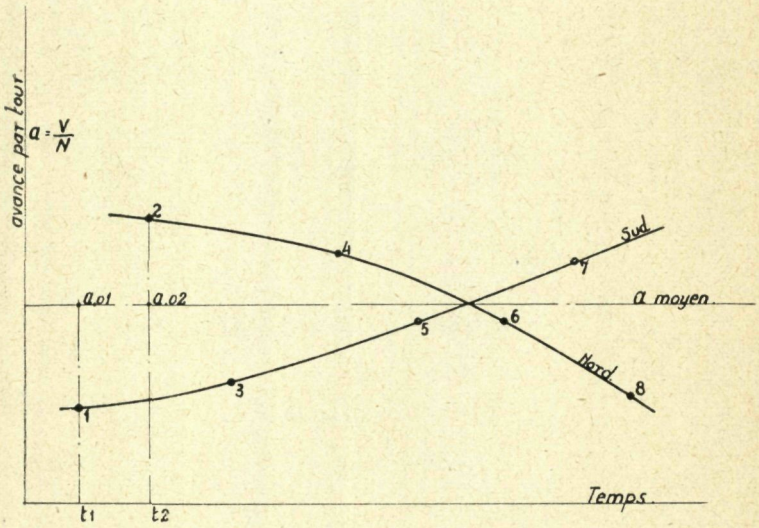


FIG 3

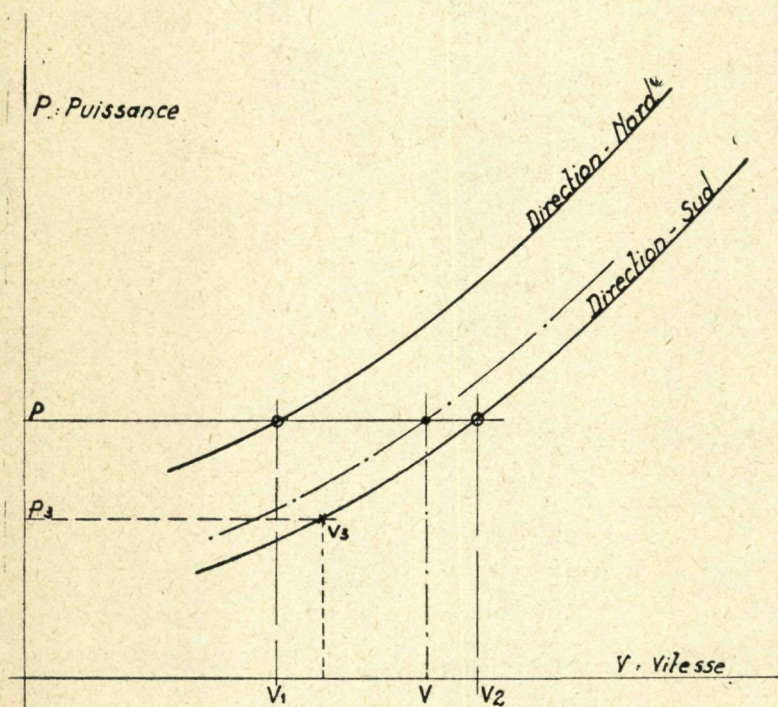
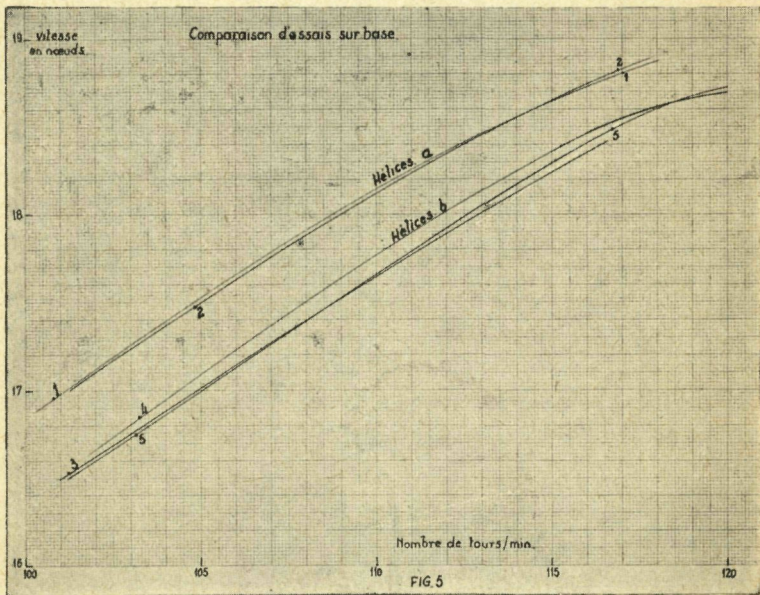
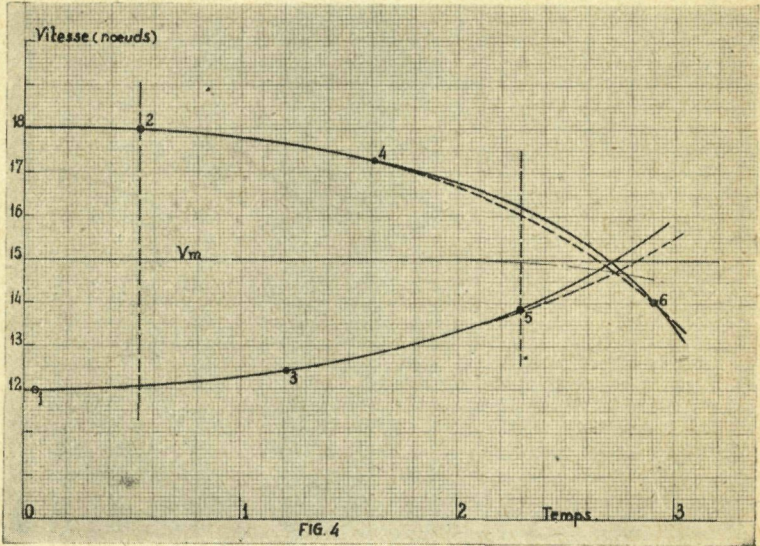


FIG 4



Intervention de M. l'Ing. A. LEDERER,

Généralement on scinde les influences perturbatrices dues à la profondeur de l'eau et au courant.

Cependant, je pense qu'il doit y avoir une relation entre ces deux facteurs du moins lorsqu'il s'agit d'essais en rivière.

Au cours d'essais effectués au Congo avec des remorqueurs ou des cargos dont la vitesse variait de 10 km/h à 18 km/h et dans des eaux d'une profondeur de 3,50 m à 8 m, j'ai constaté les phénomènes suivants :

Lorsqu'un bateau à roue, du type stern-wheeler à machine à vapeur, navigue contre le courant la rotation de la machine est plus rapide que lors des courses avec le courant, alors qu'on conserve la même pression aux chaudières et le même degré d'admission aux machines. Pour fixer les idées, si la machine tourne à 35 t/m dans le sens montée, elle ne tourne plus qu'à 33 t/m dans le sens descente. Ceci prouve que dans le sens descente l'effort à vaincre est plus grand.

De même, dans les essais de remorquage de barges, on obtient généralement une résistance de 10 à 15 % supérieure en navigant dans le sens descente.

Il me semble que l'augmentation de la résistance dans le sens descente doit être attribuée au fait qu'une carène liquide est entraînée par la coque de l'unité en mouvement dans l'eau.

Lorsqu'il y a peu de profondeur, cette carène liquide donne lieu à un supplément de résistance dû à son frottement contre le fond du lit de la rivière.

Cette remarque n'est probablement valable que pour des essais de bateaux en rivière.

Intervention de M. le Professeur BONEBAKKER.

Le sujet, traité par M. Lastchenko d'une manière lucide, mérite bien l'intérêt des armateurs et des constructeurs.

A première vue, la thèse exprimée par l'auteur que l'on peut parler d'au moins sept vitesses de navire paraît être plutôt déconcertante. Heureusement, ces vitesses se rangent en deux groupes bien distinguées :

- a) les vitesses réalisées en mer, correspondant aux numéros 4 et 5 du tableau de l'auteur;

b) les vitesses qui marquent les étapes qu'il faut parcourir pour en arriver à une prédiction approximative d'une certaine vitesse de mer, soit les numéros 1, 2, 3 et 6.

Quant à la vitesse économique, c'est encore une vitesse de mer lorsque le prix de revient d'exploitation entre en jeu. La vitesse économique résultant des essais de bassin n'est qu'un attribut de la courbe de puissance que l'on ne doit pas perdre de vue.

Comme le constate M. Lastchenko, la vitesse de service intéresse principalement l'armateur; elle se détermine par des statistiques uniquement. Malheureusement les **bonnes** statistiques font défaut. En conséquence une définition nette de la vitesse de service, et que l'on pourrait accepter comme vitesse contractuelle, ne peut pas être donnée — à part quelques exceptions très rares.

Bien sûr, la vitesse de service mériterait à elle seule d'être l'objet d'une étude étendue. C'est un sujet qui m'occupe depuis longtemps, et je suis bien heureux que le Centre de Recherches hollandais (Studiecentrum T.N.O. voor Scheepsbouw en Navigatie) m'ait chargé d'en continuer l'étude.

Faute de définition nette de la vitesse de service, la vitesse contractuelle est fixée plus ou moins arbitrairement, en se référant à la vitesse contractuelle V_c ou à la vitesse mesurée sur une base jalonnée V_r de certains navires actuellement en service. La marge entre V_c et V_r dépendra en premier lieu des amendes qu'on pourrait encourir dans le cas où V_c ne serait pas réalisée aux essais de mer.

L'Auteur traite à fond les méthodes des essais de vitesse en mer, sur base jalonnée, et examine de plus près les méthodes de calculs et leur précision.

Relevons en particulier les conclusions suivantes de M. Lastchenko :

1. Il serait hautement souhaitable que les contrats de construction mentionnent toujours la marge de tolérance admise.

Pour fixer nettement cette marge de tolérance, il faudra se rendre compte de la superposition des erreurs qui peuvent intervenir. C'est encore un problème de statistique scientifique, comme la vitesse de service, et j'aimerais connaître l'opinion de l'auteur à ce sujet.

2. Les essais de vitesse doivent être standardisés, ultérieurement au niveau international.

Des codes nationaux ont été publiés en Grande-Bretagne (B.S.R.A. 1947 : Code of Procedure for Measured Mile Trials) et aux Etats-Unis (Standard Trials Code 1949). En Hollande, le Studiecentrum a entamé le même sujet; une publication est sous presse. Ces codes devront s'occuper à fond des méthodes et des appareils de mesure pour puissances et nombres de tours des machines propulsives, et la consommation de combustible. Si l'on envisage aussi l'étude de la vitesse de service, les différents types de loch entrent en scène. Aujourd'hui il n'existe aucun loch fonctionnant toujours sans erreurs; mais on ne s'est jamais rendu compte de la fréquence, ni de la grandeur de celles-là. Quelle est l'opinion de l'auteur sur ce point?

Voilà quelques réflexions suggérées par l'étude de M. Lastchenko, qui a si bien élucidé un thème tellement intéressant de l'architecture navale.

Réponses de M. LASTCHENKO.

Je me permets tout d'abord de remercier le Professeur Bonebakker de l'intérêt qu'il a témoigné pour ma communication.

Je me range au classement suggéré par le Professeur Bonebakker pour les sept vitesses auxquelles j'ai fait allusion. Comme lui, j'isole la notion de « vitesse économique » qui, à mon avis, ne revêt qu'un intérêt secondaire pour le constructeur de navires vu qu'elle reste attachée à des principes qui lui sont généralement inconnus.

Le Professeur Bonebakker me pose deux questions auxquelles je pense pouvoir répondre comme suit :

1. La marge de tolérance pour les vitesses aux essais, que je propose de faire figurer dans les contrats, devra en effet, être établie d'après les statistiques.

Une indication peut, me semble-t-il, déjà se déduire de la figure 5 jointe à mon rapport.

en effet, l'examen des essais effectués avec 3 navires identiques, montre que la différence entre les vitesses maximum et minimum atteintes dans les mêmes conditions s'élève à 0,7 %. Ceci ne constitue évidemment qu'une pre-

mière indication qu'il serait intéressant de vérifier à la lumière d'autres exemples.

2. Mon expérience personnelle se limite aux lochs suivants : Trident, Chernikeef et Sal.

Le premier est plutôt un appareil rudimentaire et ne peut, à mon avis, être utilisé pour des essais contractuels.

Les lochs, plus perfectionnés, tels Chernikeef et Sal, demandent une mise au point assez délicate et sont généralement peu précis au début de leur service à bord, c'est-à-dire pendant les essais contractuels. Ils sont d'ailleurs le plus souvent réglés d'après des résultats obtenus aux essais,

Personnellement, je ne pense pas que les lochs mécaniques ou électriques peuvent être de grande utilité pour les essais de vitesse.

Quant à l'utilité des lochs pour la détermination de la vitesse de service du navire, je ne puis en parler en connaissance de cause vu que le navire n'est plus sous la surveillance du constructeur au moment où de telles déterminations peuvent avoir lieu. Je souhaite cependant un contact plus étroit entre armateur et constructeur afin de permettre au constructeur de bénéficier de l'expérience acquise lors de l'exploitation du navire.

M. van Lammeren a bien voulu attirer mon attention sur le fait que la méthode de Schlichting ne peut servir pour l'appréciation de l'influence de la profondeur de la base. Cette remarque m'est très précieuse et j'espère que les études entreprises aux bassins de carène aboutiront prochainement à une méthode moins arbitraire.

J'ai lu avec grand intérêt la note de M. Lederer relative à la résistance de carène pour des essais de bateaux en rivière. Je crois qu'il s'agit là d'un problème particulier car je n'ai pas rencontré de cas analogues dans mon expérience de constructeur de navires de mer.

Le problème soulevé par M. Lederer mérite certainement une étude spéciale dont les conclusions pourront peut-être se répercuter sur les essais des navires de mer.

Ma communication avait pour seul but d'exposer aux gens de science les méthodes que nous, modestes constructeurs, utilisons pour déterminer la vitesse aux essais de navires et les nombreuses difficultés que nous éprouvons.

De nombreuses questions, très simples à première vue, sont encore à étudier ou à préciser.

Je vous rappelle l'excellent exposé que nous fit le Professeur Telfer sur l'influence de la température de l'eau sur la résistance des navires. Nous avons tous écouté cet exposé avec une attention soutenue et attendons de pouvoir en tirer les conclusions pratiques.

Je me réjouis vivement d'apprendre que le Centre de Recherches Hollandais s'occupe depuis longtemps de la standardisation des essais en mer. Le fait qu'un éminent spécialiste comme le Professeur Bonbakker est à la tête de ces études me donne la certitude qu'elles aboutiront à un résultat positif.