

Lab. v. Scheepsbouwkunde

Technische Hogeschool

Delft

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA CORRÉLATION MER-BASSIN

par M. JOURDAIN,

Ingénieur en chef du Génie Maritime (C. R.)

Ingénieur à l'Institut de Recherches de la Construction Navale

SOMMAIRE

La corrélation mer-bassin peut être définie empiriquement par un ensemble de coefficients permettant la transposition des résultats du modèle au réel.

On examine d'abord les conditions de fidélité des résultats, tant du modèle que du réel, nécessaires pour qu'ils puissent concourir utilement à la détermination de ces coefficients.

On propose ensuite une méthode de corrélation et de prévision fondée sur la remarque que, sans aucune hypothèse, la mise en parallèle des résultats d'un modèle et d'un réel met en évidence une variation de sillage, qui apparaît comme le premier et le moins discutable des coefficients de corrélation. Moyennant des hypothèses simples, la corrélation complète vitesse-puissance-nombre de tours peut être assurée avec un second coefficient assimilable à une variation de résistance. S'il existe des mesures de poussée, un troisième coefficient indépendant des deux précédents et assimilable à une variation de rendement de l'hélice derrière carène peut compléter la corrélation.

I. — POSITION DU PROBLÈME

On sait que, l'écoulement d'un fluide dépendant à la fois de la pesanteur et de la viscosité, il est impossible de réaliser la similitude mécanique complète entre deux écoulements non identiques [1].

Cependant, il est indiscutable que les essais de modèles, exécutés en similitude partielle suivant la loi de Reech-Froude, peuvent fournir des prévisions de grande valeur pratique pour le réel.

Les lois de transposition en similitude partielle n'étant pas évidentes, il s'agit de déterminer les règles qui fourniront la meilleure approximation des résultats à prévoir pour le réel en fonction de ceux mesurés sur le modèle.

Deux voies, qui peuvent d'ailleurs se combiner, s'offrent pour résoudre ce problème :

a) Voie rationnelle : si l'on était capable d'explicitier complètement les lois de la résistance d'une carène et du fonctionnement d'une hélice derrière carène, il n'y aurait aucune difficulté théorique à définir la variation des paramètres utiles en fonction de l'échelle et, par conséquent, les règles de passage d'une échelle à l'autre; bien que des résultats partiels contribuent de façon continue au progrès de cette étude, il ne semble pas que la solution complète soit proche.

b) Voie empirique : comparer les résultats de modèles et de réels géométriquement semblables en vue d'en tirer un ou plusieurs coefficients permettant de les relier de façon simple et avec une approximation comparable à celle des mesures; cette méthode, poursuivie depuis l'origine, a fourni des résultats partiels, généralement acceptables, mais certainement perfectibles; c'est la seule qui sera étudiée dans la suite.

La solution empirique est viable, car il est certain que l'effet d'échelle ne dépend que d'un nombre assez restreint de paramètres : dimensions (longueur du navire, diamètre de l'hélice, rugosité), proportions (coefficients relatifs à la carène, pas réduit de l'hélice, peut-être jeux de l'hélice à la coque), degrés de vitesse (nombres de Reech-Froude et de Reynolds pour la carène et l'hélice), dont certains sont peut-être négligeables; il suffirait de disposer d'un nombre suffisant d'exemples fournissant des données indiscutables pour séparer et définir l'influence de chacun de ces paramètres.

La présente note a pour objet de préciser la situation actuelle à cet égard en examinant successivement :

- la nature du problème,
- les données relatives aux modèles,
- les données relatives aux navires réels,
- les méthodes utilisables pour leur mise en parallèle.

II. — NATURE DU PROBLÈME

Pour que la recherche de relations entre les deux valeurs d'une même variable (la puissance, par exemple) relatives l'une au modèle et l'autre au réel ait un sens, il faut que ces valeurs soient bien définies. Cela signifie que,

toutes les conditions d'essais caractérisables par un ou plusieurs paramètres mesurables étant fixes à l'approximation de ces mesures, les variables en cause sont elles-mêmes constantes à l'approximation de leur propre mesure, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de causes échappant à toute évaluation quantitative exerçant sur les variables mesurées une influence appréciable.

Si tel est le cas, les variables en cause sont bien aléatoires en raison de la précision limitée des mesures, ce qui justifie l'expression « coefficients de corrélation », mais leur dispersion est assez faible pour que, dans l'utilisation pratique où il ne saurait être question de rechercher une précision supérieure à celle des mesures, ces coefficients puissent être assimilés à de véritables coefficients de dépendance.

Nous allons maintenant examiner sous cet angle les résultats du modèle et ceux du réel; dans ce qui suit, pour alléger l'expression, la réserve « à l'approximation des mesures » sera toujours sous-entendue lorsque nous qualifierons des quantités « constantes » ou « fixes ».

III. — DONNÉES RELATIVES AUX MODÈLES

En ce qui concerne le modèle, il faut et il suffit que les caractéristiques d'hélice derrière carène soient invariables et que le point de propulsion à vitesse donnée du modèle (ou celui du réel calculé suivant une loi uniforme, I. T. T. C. 57 par exemple) soit fixe sur ces caractéristiques.

Il faut également, au moins dans les problèmes où intervient explicitement la résistance, que celle-ci soit une fonction définie de la vitesse.

S'il s'agit de définir des coefficients de corrélation valables pour un bassin déterminé, il suffit que ces conditions soient satisfaites par les essais effectués dans cet unique bassin, étant entendu que le modèle est le même aux différents essais.

Mais si l'on prétend définir des coefficients de corrélation valables internationalement, il faut satisfaire les conditions quel que soit le bassin et la taille du modèle qui y est essayé.

a) *Résistance.*

La variabilité de la résistance d'un modèle donné dans un bassin donné, toutes corrections connues étant faites, a été mise en évidence à Haslar [2] et les essais de durée réduite effectués dans d'autres bassins semblent confirmer que cette situation est générale.

Pour fixer les ordres de grandeur, au bassin n° 1 de Haslar, la résistance moyenne du modèle Iris est de 1 à 6 % inférieure à sa résistance de comparaison, sa variation ayant une période de l'ordre de 8 ans, mais à certaines

époques exceptionnelles dites « storms », le déficit par rapport à la résistance de comparaison a atteint jusqu'à 14,5 %. Cette différence, dénommée « correction Iris », est systématiquement utilisée pour corriger les essais de tous les modèles, mais laisse subsister pour certains, entre deux essais effectués à des époques différentes, des écarts moyens de l'ordre de 2 %, atteignant 3 % aux degrés de vitesse nettement plus faibles que ceux auxquels est essayé l'Iris. Rien ne prouve que ces chiffres ne puissent être dépassés, en particulier pour les navires marchands aux formes beaucoup moins fines que celles de l'Iris utilisés à des degrés de vitesse plus faibles.

En outre, les causes de l'effet Iris étant inconnues, on ne peut affirmer qu'il soit du même ordre de grandeur dans tous les bassins. En ce qui concerne la corrélation pour un seul bassin, il est donc nécessaire d'étudier l'effet Iris, non seulement sur le modèle standard, mais simultanément sur d'autres modèles de caractéristiques très différentes, pour déterminer, d'une part, si la correction Iris réduit toujours la dispersion et, d'autre part, dans l'affirmative, quel résidu elle laisse subsister, ce résidu affectant obligatoirement la dispersion du coefficient de corrélation rapporté à la résistance.

Enfin, la correction Iris n'étant pas en usage ailleurs qu'à Haslar, au moins jusqu'à une époque très récente, tous les résultats actuellement connus risquent d'être affectés de l'effet Iris.

Si l'on passe maintenant à des bassins différents, les résistances, même corrigées de l'effet Iris propre à chaque bassin, peuvent être différentes, au moins pour les grands modèles dans les petits bassins en raison de l'effet de parois. Diverses méthodes ont été proposées pour calculer cet effet, mais il semble qu'aucune n'ait été soumise à l'épreuve décisive montrant que la correction ainsi calculée ramène à la même valeur les résistances du même modèle essayé dans différents bassins quel que soit le modèle et les bassins. De toute façon, cette correction n'a pas été couramment utilisée dans le passé et peut affecter les résultats connus.

Il en est de même des diverses erreurs qui peuvent affecter les essais de modèles, parmi lesquelles l'effet de courant dans le bassin, qui n'est pas toujours corrigé.

On ne peut assigner une limite supérieure à la somme de ces écarts, mais il semble raisonnable d'estimer qu'elle a pu parfois être de l'ordre de 10 %.

La première condition à réaliser pour obtenir une corrélation précise entre réel et modèle est d'assurer la fidélité des résultats relatifs au modèle et elle est du ressort des Bassins.

b) *Propulsion.*

D'après des essais particuliers, on peut penser que les courbes caractéristiques varient assez peu à l'approximation des mesures et que par consé-

quent, la variation de résistance se répercute presque intégralement sur le point de fonctionnement, ce qui justifierait l'intérêt de la définition d'une résistance normale.

Nous montrerons au paragraphe V que, si cette propriété était rigoureuse et générale, elle constituerait un élément favorable à la détermination empirique de certains des coefficients de corrélation.

Pour obtenir des vues plus précises sur ce sujet, il pourrait être utile d'associer aux essais de résistance des modèles standards des essais de propulsion de ces mêmes modèles avec hélices standards.

IV. — DONNÉES RELATIVES AUX NAVIRES RÉELS

On considère généralement que les navires réels sont exempts d'effet Iris, quoiqu'il soit difficile de l'affirmer dans l'ignorance de la nature de cet effet..

Ils seraient également exempts d'effet de parois si leurs essais étaient exécutés en profondeur suffisante, ce qui ne semble pas être toujours le cas pour les grands navires en Manche et en mer du Nord.

La correction de viscosité due à la température peut être faite, mais il semble que l'on néglige celle due à la densité, qui peut varier sensiblement suivant les régions.

La rugosité de la carène présente divers aspects :

— rugosité structurale dont la proportion rivetage-soudage ne fournit qu'une appréciation très grossière;

— microrugosité telle qu'elle peut être mesurée par un rugosimètre, mesure rarement faite;

— salissure et détérioration de la surface; pour cet effet, Newton [3] a donné une formule moyenne¹, mais bien des points seraient à préciser (influence saisonnière, influence ou non d'un séjour en eau douce pour les navires achevés à flot en rivière).

On peut encore rattacher à la rugosité l'effet d'appendices, positifs ou négatifs, dont l'importance peut varier sensiblement d'un navire à l'autre sans permettre une estimation rigoureuse.

1. Cette formule est la suivante : $\frac{\Delta C_F}{C_F} = \frac{a}{500} + \frac{b}{2.500}$

$\frac{\Delta C_F}{C_F}$ étant l'augmentation relative du coefficient de frottement

a le nombre de jours à flot depuis le dernier carénage

b le nombre de jours depuis la dernière peinture complète.

La rugosité de l'hélice présente des aspects analogues à ceux de la carène :

- fini de la surface neuve,
- salissure et détérioration de cette surface.

Pour inconnues qu'elles soient, les diverses influences précédentes doivent être stables et leur détermination n'apparaît pas inaccessible.

Mais les essais de navires réels sont encore affectés de deux autres importantes sources d'erreur : les conditions météorologiques et les mesures elles-mêmes.

Parfois l'influence météorologique est négligée, admettant implicitement que la moyenne des résultats de parcours dans les deux sens réalise son élimination, hypothèse certainement très optimiste; dans d'autres cas, on calcule la résistance due au vent pour en tenir compte, mais on ignore celle due à l'agitation de la mer; dans d'autres cas encore, on admet que, vent AR, les actions opposées du vent et de la mer se compensent, ce qui ne peut être exact pour tous les types de temps.

En fait, la mer ne demeure jamais plate par vent appréciable et son action est complexe : chocs directs des lames, déformation continue de la carène par mouvements de plate-forme, variation d'immersion de l'hélice, tenue de route exigeant une action accrue du gouvernail, surtout mer de l'AR. Il paraît difficile d'atteindre une précision acceptable dans l'estimation de l'influence globale.

Il a été implicitement admis pour le modèle que les erreurs de mesure étaient faibles parce que les instruments peuvent être fréquemment étalonnés, les mesures répétées et aussi parce que le balancement de nombreux points élimine pratiquement les erreurs accidentelles, toute erreur systématique étant supposée exclue par une technique opératoire convenable.

On ne peut accorder sans examen le même crédit aux mesures sur navires réels [4] et, en s'en tenant aux principaux paramètres, on peut rappeler les causes d'erreur suivantes :

— pour la vitesse, la non-variation du courant suivant la loi admise pour son élimination et, sur certaines bases où les traversiers ne sont pas parallèles (Hyères par exemple), la variabilité de la distance parcourue avec la dérive, inévitable en présence d'un courant ou d'un vent traversiers;

— pour la puissance, les causes propres à la méthode utilisée (erreurs de zéro ou défaut d'étalonnage des torsiomètres, caractéristiques des combustibles et variation de réglage des moteurs, imprécision des diagrammes d'indicateurs, etc...);

— pour la poussée, l'infidélité habituelle des indicateurs.

Seul, le nombre de tours n'est pas suspect, moyennant des précautions élémentaires, mais ce nombre de tours lui-même, en même temps que les

variables précédentes, est systématiquement faussé si l'essai n'est pas exécuté en régime stationnaire, c'est-à-dire s'il y a des embardées ou des coups de barre importants, ou encore si le parcours d'approche est insuffisant pour que le régime soit parfaitement stabilisé.

Outre l'estimation directe de la qualité de chaque mesure, on peut apprécier leur cohérence par l'examen des relations qui doivent exister entre elles (diagramme (a, γ) par exemple [4]) et, lorsqu'il existe plusieurs navires identiques, par la comparaison de leurs performances, car il est vain de chercher entre modèle et réel une corrélation plus étroite que celle qui existe entre deux réels réputés identiques.

Si l'on examine de nombreux résultats d'essais de navires suivant ces critères, on constate qu'une faible proportion seulement d'entre eux mérite d'être retenue pour établir une corrélation empirique avec le modèle.

V. — MÉTHODES DE MISE EN PARALLÈLE

A. — *Pratique actuelle de la méthode empirique.*

a) *Résistance.*

Depuis Froude, on considère que la résistance totale est la somme de deux termes indépendants, frottement et vagues, dont le premier est calculé par des formules diverses tant pour le réel que pour le modèle, tandis que le second obéit à la similitude de Reech-Froude.

De la résistance totale mesurée du modèle, on déduit par différence sa résistance résiduaire que l'on extrapole avant de lui ajouter la résistance de frottement du réel pour obtenir la résistance totale de celui-ci.

Dans le mode de corrélation le plus simple, on corrige encore ce résultat suivant des règles empiriques avant de l'utiliser à la prévision.

Notons incidemment que si la résistance de frottement du modèle est mal estimée, il en est de même de la résistance résiduaire du modèle et du réel et que, pour ce dernier, cette erreur s'ajoute à celle qui peut être commise sur sa résistance de frottement.

b) *Propulsion.*

La pratique exposée est celle du Bassin de Paris, mais il ne semble pas que les modalités différentes d'autres Bassins puissent modifier les conclusions.

À Paris, on exécute une série d'essais à vitesse constante celle-ci étant obtenue à chaque essai par une répartition différente de la poussée totale appliquée au modèle entre son hélice et la plate-forme de traction, la part

due à cette dernière variant de part et d'autre de la correction de frottement correspondant à l'autopropulsion du réel. Souvent, plusieurs séries à vitesse différente sont ainsi exécutées.

Chaque série fournit, pour la vitesse en cause, autant de valeurs simultanées des quatre coefficients sans dimensions J , K_T , K_Q et K_V qu'elle comporte d'essais¹. Les trois K sont portés graphiquement en fonction de J et chaque ensemble de points est ligné pour tracer les trois caractéristiques K_T , K_Q et K_V de l'hélice derrière carène dans la région utile encadrant le point de fonctionnement (fig. 1).

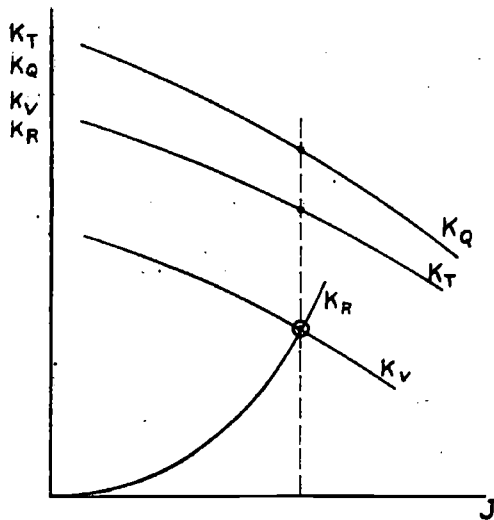


FIG. 1. — Prévission sans correction.

Pour effectuer la prévission sans correction à la vitesse V , on trace la parabole :

$$K_R = \frac{R}{\rho D^2 V^2} J^2$$

R étant la résistance calculée du réel à la vitesse V , qui coupe K_V au point où la résistance vaincue par l'hélice est égale à la résistance estimée du réel. Le rappel de ce point sur l'axe des abscisses et les courbes K_T et K_Q fournit

1. Rappelons les définitions de ces coefficients :

Coefficient d'avance $J = \frac{V}{ND}$	avec D diamètre de l'hélice	} en unités cohérentes.
— de poussée $K_T = \frac{T}{\rho N^2 D^4}$	N nombre de tours	
— de couple $K_Q = \frac{Q}{\rho N^2 D^5}$	V vitesse	
— de résistance vaincue $K_V = \frac{R - \Delta}{\rho N^2 D^5}$	T poussée	
	Q couple	
	R résistance	
	Δ traction de la plate-forme	
	ρ masse spécifique	

les valeurs de ces paramètres, c'est-à-dire encore de N, T et Q ou F (puissance).

La pratique utilisée par d'autres Bassins sous le nom de méthode britannique s'inspire du même principe, mais ne comporte souvent qu'un seul essai effectué dans les conditions estimées d'autopropulsion du réel ou un nombre restreint d'essais au voisinage de ces conditions.

Dans le cas général, si l'on fait l'essai du réel, on constate que (K_V et K_R n'étant pas mesurables) J, K_T , et K_Q diffèrent plus ou moins de la prévision sans correction.

On peut demander à l'expérience l'ordre de grandeur de ces écarts dans différents cas et en corriger *a priori* la prévision : c'est ce que font couramment les Bassins et leurs clients.

On peut aussi tenter de modifier la méthode de prévision pour qu'elle fournisse directement les résultats corrects : c'est ce problème qui sera maintenant examiné.

B. — Méthode de la correction de résistance.

En 1957, la 8^e Conférence Internationale des Directeurs de Bassins d'Essais de Carènes, réunie à Madrid, a recommandé l'emploi de la formule suivante, dite I. T. T. C. 57, pour calculer le coefficient de frottement C_F du modèle et du réel :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} \mathcal{R}_n - 2)^2}, \quad \mathcal{R}_n \text{ étant le nombre de Reynolds.}$$

Elle a ensuite posé à ses membres le problème suivant : la résistance étant calculée suivant la formule I. T. T. C. 57, de combien faut-il la majorer pour que la prévision de puissance soit exacte ?

Notons d'abord que l'obligation d'utiliser la formule I. T. T. C. 57 ne restreint pas le problème : il faut employer une formule uniforme pour pouvoir rattacher les résultats les uns aux autres, mais une autre formule changerait simplement les valeurs numériques.

Connaissant les résultats d'essais d'un navire, le problème peut être résolu par une méthode graphique analogue à celle utilisée pour la prévision : le point de fonctionnement sur K_Q (fig. 2) est à l'intersection de cette caractéristique et de la parabole cubique :

$K_F = \frac{F}{\rho \sqrt{3} D^2} J^3$ dont le paramètre est défini par la puissance F mesurée sur le réel puisque, en ce point :

$$K_F = \frac{F}{\rho N^3 D^5} = \frac{Q}{\rho N^2 D^5} = K_Q$$

car $F = QN$ en choisissant convenablement les unités.

Ce point, rappelé sur K_V et K_R , fournit des ordonnées dont le rapport $\frac{K_V}{K_R} = 1 + Z$, Z étant le coefficient de majoration cherché puisque, pour obtenir une prévision de puissance exacte il aurait fallu substituer à K_R une parabole d'ordonnées $(1 + Z) K_R$ qui aurait alors coupé la caractéristique K_V sur la ligne de rappel tracée.

$$\frac{OB}{OA} = 1 + Z$$

⊙ Point de fonctionnement du réel.

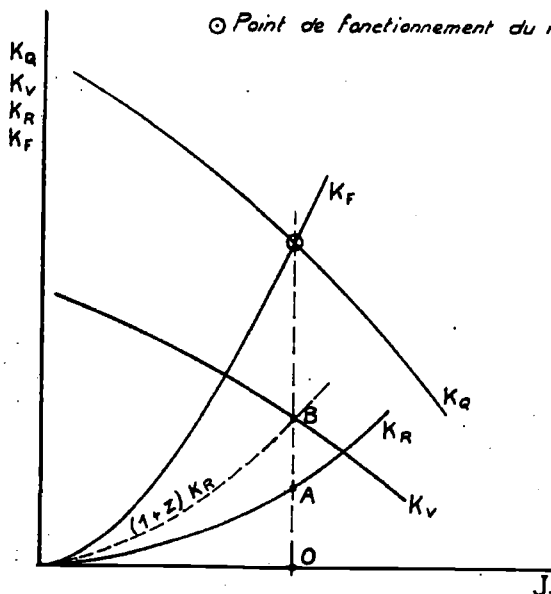


FIG. 2. — Détermination du coefficient Z .

Si le coefficient Z ainsi défini était connu pour un navire en projet, il fournirait une prévision exacte de la puissance, mais non obligatoirement du nombre de tours et de la poussée : cela tient à ce que l'effet d'échelle en propulsion n'est pas réductible à une simple majoration de résistance.

Autrement dit, à supposer que Z soit connu, il remplira son rôle pratique (prévision de la puissance) mais sera dépourvu de signification théorique; si l'on veut faire des prévisions exactes complètes, il faudra déterminer deux coefficients complémentaires pour le nombre de tours et la poussée et les trois variables corrigées n'apparaîtront pas de façon cohérente sur le graphique.

C. — Variante de la méthode précédente.

La poussée étant la variable mesurable la plus directement liée à la résistance (proportionnelle si l'effet d'échelle sur la succion était négligeable), il serait logique de déterminer le coefficient Z pour une prévision correcte de la poussée. Cette méthode est impraticable parce que les mesures de poussée sont rares et douteuses. En outre, comme dans la précédente, le choix d'un unique coefficient de corrélation définirait en même temps que la poussée le nombre de tours et le couple et ces deux derniers seraient généralement inexacts.

D. — Méthode proposée.

Partant de l'idée que l'on ne peut assurer la corrélation complète à moins de trois coefficients, on peut imaginer des procédés moins artificiels.

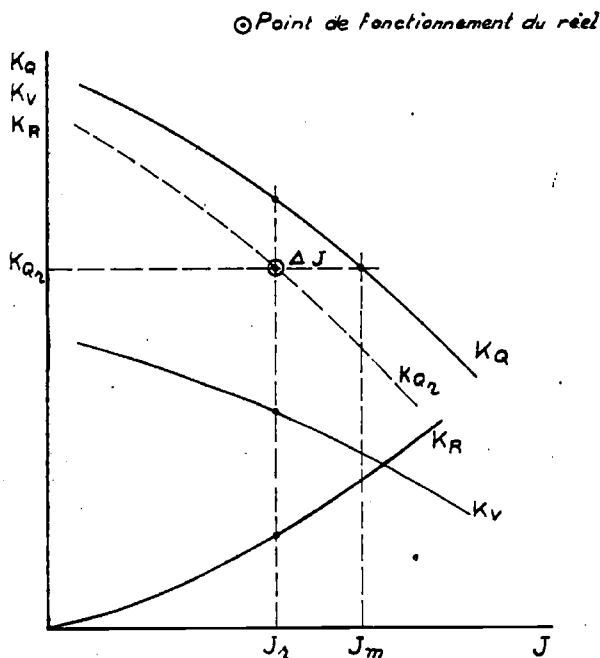


FIG. 3. — Détermination du coefficient ΔJ (essai unique).

Par exemple, on peut déterminer Z pour une prévision exacte du nombre de tours : cette variante présente l'avantage que le nombre de tours est généralement la mesure la plus sûre sur le réel et l'inconvénient qu'il est plus sensible que la puissance à un défaut de similitude géométrique de l'hélice (cet incon-

vénient pourrait être surmonté en corrigeant d'abord le nombre de tours en fonction des différences géométriques connues entre les hélices réelle et modèle, ce qui doit être relativement simple).

Suivant cette nouvelle définition, c'est J qui est le même pour le réel et le modèle et (fig. 3) la ligne de rappel du J mesuré sur le réel coupe K_V et K_R en deux points dont le rapport des ordonnées $\frac{K_V}{K_R} = 1 + Z$ comme dans la méthode initiale.

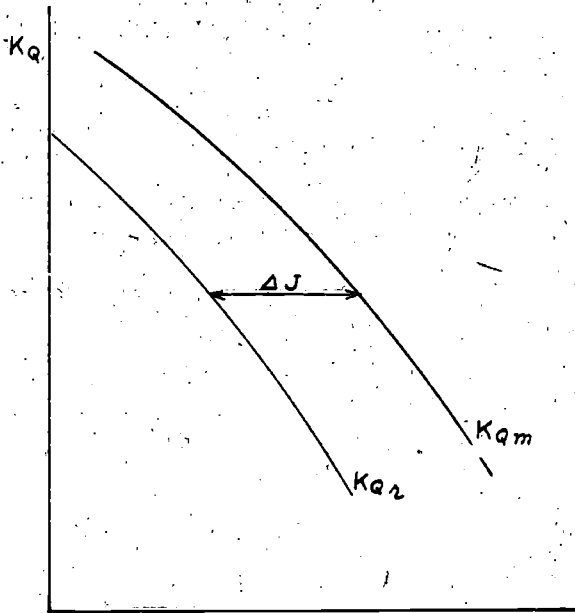


FIG. 4. — Détermination des coefficients ΔJ (série d'essais).

Si l'on prolonge la ligne de rappel jusqu'à la caractéristique K_Q , l'ordonnée correspondante ne sera généralement pas égale au K_Q mesuré du réel, situation analogue à celle rencontrée dans les méthodes précédentes. Mais cette fois, on peut assurer simultanément l'accord des puissances par l'introduction rationnelle d'un second coefficient de corrélation. En effet, le K_Q mesuré sur le réel se trouve sur la caractéristique K_Q du modèle à une abscisse J_m et l'on peut le ramener sur son abscisse J_r par une translation horizontale

$$\Delta J = J_r - J_m,$$

qui constitue le deuxième coefficient, assimilable à une variation de sillage, et permettrait de tracer la courbe K_{Qr} du réel à partir de la courbe K_{Qm} du modèle.

L'exposé qui précède a été fait dans l'hypothèse d'un essai unique et en partant de Z pour montrer l'analogie avec les procédés précédents, mais il

présente avec eux une différence fondamentale qui apparaîtra mieux si l'on suppose qu'il y a eu pour le réel plusieurs essais ayant permis de tracer sa courbe K_Q .

Si l'on juxtapose sur un même graphique (fig. 4) les deux courbes K_Q relatives respectivement au réel et au modèle, ce graphique met en évidence pour chaque J la quantité ΔJ , qui apparaît ainsi définie indépendamment de toute hypothèse sur Z . Un autre avantage du procédé tient à ce que la courbe K_Q est beaucoup moins sensible que les variables dimensionnelles aux variations des conditions d'essai : il devrait donc permettre d'obtenir une bonne approximation de ΔJ , même avec des essais exécutés relativement loin des conditions idéales, ces derniers demeurant indispensables pour déterminer le coefficient Z nécessaire à la prévision, opération qui viendrait en dernier lieu et serait alors faite en affectant d'abord la caractéristique K_V de la translation ΔJ .

Remarques.

a) L'exposé de la méthode proposée n'a pas fait mention de la poussée en raison du doute qui affecte les mesures actuelles de cette grandeur. Mais

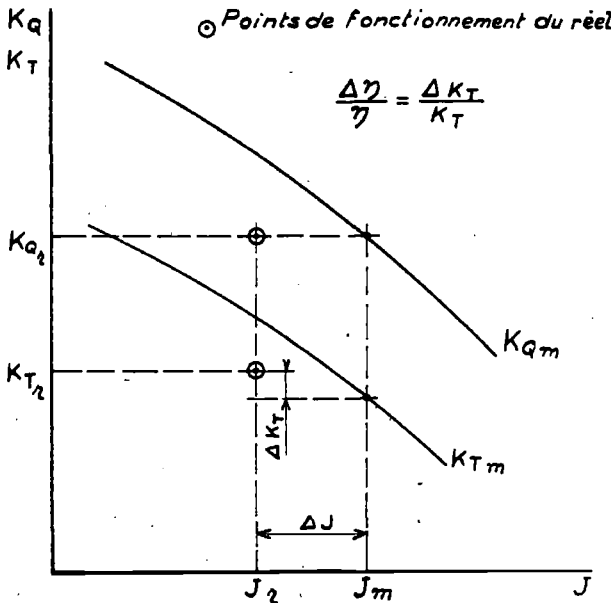


FIG. 5. — Détermination de $\Delta \eta$.

il est permis d'espérer que la situation évoluera favorablement et, dans cette hypothèse, la méthode pourrait être complétée comme suit.

On pourrait d'abord, considérant le ΔJ qui vient d'être défini comme une variation de sillage de puissance, définir de la même façon avec les caracté-

ristiques K_T un second ΔJ qui serait une variation de sillage *de poussée* et constituerait le troisième facteur de corrélation; cependant, il nous paraît peu satisfaisant de traduire par deux chiffres différents, suivant les besoins de la cause, un phénomène physique unique et nous préférons réserver au seul ΔJ défini à l'aide des K_Q la signification d'une variation de sillage et l'appliquer d'abord en tant que tel à la caractéristique K_T aussi bien qu'à K_Q ; cette translation horizontale du K_T ne suffisant pas à assurer la concordance des poussées, celle-ci serait obtenue par une translation *verticale* complémentaire équivalente à une variation $\Delta\eta$ du rendement de l'hélice derrière carène (fig. 5).

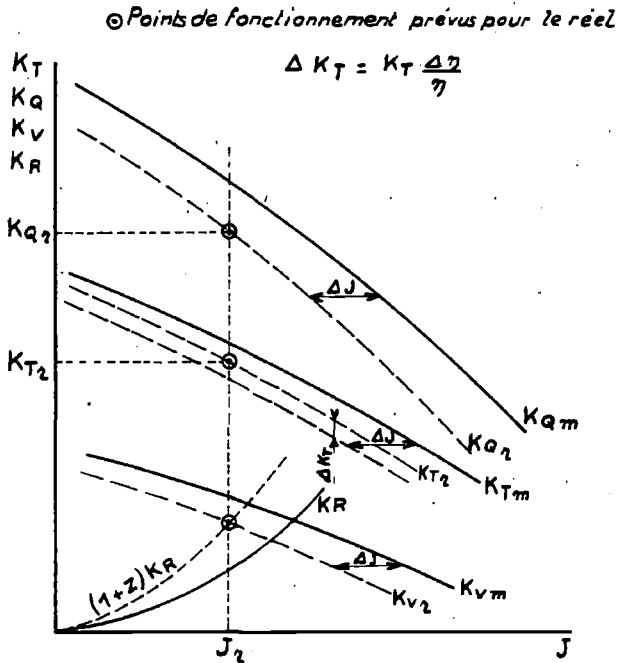


FIG. 6. — Graphique de prévision.

b) Les trois coefficients ΔJ , Z et $\Delta\eta$ étant supposés déterminés en fonction des paramètres dont dépend chacun d'eux grâce à un nombre suffisant de corrélations, devraient alors fournir des prévisions entièrement correctes et cohérentes par la méthode exposée au § A b); et schématisée par la figure 6, les courbes représentant les essais du modèle étant corrigées

- de Z pour K_R ,
- de ΔJ pour K_Q et K_V ,
- de ΔJ et $\Delta\eta$ pour K_T .

On ne saurait cependant en conclure que ces facteurs correctifs représentent obligatoirement la variation du phénomène physique auquel ils empruntent leur nom; en particulier, il n'est pas inutile de rappeler qu'aucune mesure sur réel propulsé par l'hélice ne pouvant atteindre la résistance, ni par conséquent séparer les variations de résistance de celles de succion, le coefficient Z englobe les unes et les autres. Cette remarque est sans importance pour la prévision pratique, mais ne devrait pas être perdue de vue si l'on comparait les coefficients empiriques à ceux de même nom qui pourraient être théoriquement calculés.

c) Si la voie rationnelle évoquée au paragraphe I fournissait des solutions partielles : effet d'échelle sur le sillage ou sur les caractéristiques d'hélice par exemple, il n'y aurait aucune difficulté à tracer les diagrammes en tenant compte de ces indications et à déterminer de la même façon les nouveaux coefficients Z , ΔJ et $\Delta \eta$ qui ne rendraient plus compte que du résidu encore théoriquement indéterminé.

d) Dans une contribution écrite à la 9^e Conférence Internationale des Directeurs de Bassins d'Essais des Carènes, Lindgren et Johnsson [5] ont défini et discuté diverses méthodes de corrélation. Celle que nous proposons présente une grande analogie avec celle qu'ils ont appelée « Method 2 »; en particulier, leur premier coefficient de corrélation suivant cette méthode est identique à notre ΔJ ; en revanche, leur évaluation de Z repose non sur la résistance vaincue, mais sur la détermination du K_T suivant les hypothèses que les sillages (et non les variations de sillage) de poussée et de couple sont égaux pour le réel et que les succions sont égales pour le réel et le modèle.

Le même commentaire pourrait être fait à propos de la nouvelle méthode récemment proposée par le Pr. Prohaska [6] (que nous ignorions lors de la première rédaction de ce texte). Il est intéressant de noter que, partant de considérations différentes, les trois papiers arrivent à la même conclusion : la corrélation des puissances est fournie par celle des sillages, la correction de résistance n'intervenant qu'ensuite pour assurer la correspondance des nombres de tours.

VI. — CONCLUSIONS.

1^o La mise en parallèle des résultats d'essais de modèles et de réels suppose la fidélité des deux termes à mettre en corrélation.

En ce qui concerne le modèle, il existe, au moins pour les résultats anciens, un doute en raison de l'effet Iris, de l'effet de parois et de l'effet de courant; on peut espérer que la somme de ces influences a souvent été faible et se borner à éliminer de la corrélation les essais qui fournissent des coefficients réellement dispersés par rapport à la moyenne des cas analogues. Pour l'avenir,

il convient, en poursuivant les essais de modèles standards ou par tout autre procédé, de rechercher, d'une part, la fidélité des résultats d'un même bassin et, d'autre part, de déterminer la corrélation entre bassins différents.

Pour les navires réels, il est nécessaire de faire un tri sévère des résultats connus. Ce tri devrait éliminer :

- ceux pour lesquels la similitude géométrique n'est pas totale;
- ceux qui sont affectés d'une influence de la profondeur limitée (critères à définir);
- ceux qui sont affectés d'une influence météorologique appréciable (celle-ci peut être estimée grossièrement par l'influence apparente du sens de parcours, mais ce critère est insuffisant si le vent est traversier);
- ceux pour lesquels les mesures sont imprécises, indication qui peut être fournie par le responsable des essais.

Pour les autres, il faudrait préciser toutes les conditions susceptibles d'avoir une influence sur les résultats (température, rugosité, etc...) et l'erreur limite estimée sur chaque mesure.

On pourrait enfin considérer comme particulièrement sûrs les chiffres confirmés par des mesures concordantes sur plusieurs navires identiques ou sur le même navire au cours d'essais différents (cas exceptionnel), comme raisonnablement sûrs ceux fournissant une série de résultats parfaitement cohérents sur un même navire; à l'inverse, les résultats présentant des anomalies apparentes et les résultats isolés invérifiables par recouplements devraient être considérés *a priori* comme suspects et n'être retenus qu'autant qu'ils ne seraient pas en désaccord avec les conclusions tirées des résultats sûrs.

Il est clair que ces principes généraux devraient être traduits en règles précises, mais l'idée fondamentale est simple : avant de chercher à établir une corrélation entre deux termes, assurer une définition précise de chacun d'eux et, malgré la nécessité de disposer d'un grand nombre de cas pour établir des lois empiriques, ne jamais sacrifier la qualité à la quantité.

2° A supposer que l'on dispose d'ensembles de résultats convenables pour la corrélation, nous proposons, rejoignant sur ce point d'autres auteurs, d'en tirer en premier lieu un coefficient ΔJ proportionnel à la variation de sillage entre réel et modèle.

Un deuxième coefficient Z , appliqué à la résistance permettrait d'assurer la corrélation des nombres de tours en utilisant la courbe de résistance vaincue du modèle affectée de la variation de sillage ΔJ .

Un troisième coefficient $\Delta \eta$, représentant la variation du rendement de l'hélice derrière carène permettrait, sans modification des deux premiers, d'assurer la corrélation complète dans les cas où existeraient des mesures de poussée.

Inversement, ces trois coefficients étant supposés connus par l'analyse précédente permettraient la prévision à partir des essais de propulsion d'un modèle.

Enfin, le schéma de la méthode proposée est tel qu'il est possible d'y introduire à n'importe quel stade tout autre coefficient de correction partielle qui pourrait être justifié par d'autres études.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BINDEL. — La détermination par essais sur modèles des qualités hydrodynamiques du navire. *Technicarm* n° 7, avril-mai 1960.
 - [2] NEWTON. — Standard model technique at Admiralty Experiment Works, Haslar. — R. I. N. A. 1960.
 - [3] NEWTON. — Written contribution to the subject « Resistance » 9th I. T. T. C. Paris 1960.
 - [4] BRARD et JOURDAIN. — Critique des essais à la mer. — A. T. M. A. 1953.
 - [5] LINDGREN et JOHNSON. — The correlation of ship power and revolutions with model test results. 9th I. T. T. C. Paris, 1960.
 - [6] PROHASKA. — Analysis of ship model experiments and prediction of ship performance. A new correlation method. — *Ingeniøren, International Ed.*, vol. IV. — 1960, n° 4.
-

