

ARCHIVÉ

Association Technique Maritime et Aéronautique.
47, rue de Monceau, PARIS

Lab. v. Scheepsbouwkunde
Session 1958.

Technische Hogeschool
Delft

INFLUENCE DES CONDITIONS DE SERVICE SUR LA PROPULSION DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE SUR LE CARGO CANIGOU

par M. JOURDAIN,

Ingénieur en Chef du Génie Maritime (C. R.)
Ingénieur à l'Institut de Recherches de la Construction Navale,

et P. FABRE,

Ingénieur en Chef du Génie Maritime (C. R.)
Ingénieur en Chef de la Compagnie de Navigation Mixte.

SOMMAIRE

Des conditions favorables ont permis d'effectuer en service des relevés de nombre de tours, de puissance et de vitesse commerciale sur le cargo Canigou.

Une méthode d'analyse directe a été conçue pour étudier ces résultats et a permis de séparer et d'évaluer les influences des principaux facteurs : salissure, déplacement, conditions météorologiques.

L'influence de la barre sur le coefficient de puissance a aussi été déterminée expérimentalement.

I. — PRÉAMBULE

Le *Canigou* est un petit cargo à moteur qui appartient à la classe immédiatement supérieure à celle des caboteurs de 500 tx, mais dont la jauge reste inférieure à 1.600 tx. Il a été construit par les Chantiers de Gravelle des Forges

et Chantiers de la Méditerranée et est propulsé par un moteur Diesel type Sulzer 6 SD 60 construit par les Ateliers Mazeline de la même Société.

Ses dimensions principales sont les suivantes :

| | |
|--|----------------|
| Longueur hors tout..... | 89,50 mètres |
| Longueur entre pp Véritas..... | 81,66 — |
| Largeur hors tout..... | 13,42 — |
| Creux sur quille au livet du pont supérieur..... | 7,80 — |
| Tirant d'eau moyen en charge..... | 5,25 — |
| Jauge brute..... | 1.533 tonneaux |

Ce navire a été livré le 4 janvier 1957 à la Compagnie de Navigation Mixte qui l'a mis en service sur la ligne Marseille/Oran, avec escales à Mostaganem et Port-Vendres, selon les besoins de son exploitation.

La coque du *Canigou* a été étudiée par le Chantier de Graville et l'hélice par les Ateliers Mazeline; les formes initiales ont été modifiées à la suite d'essais en remorquage et en autopropulsion au Bassin d'Essais des Carènes de Paris.

Le moteur a fait l'objet d'essais au banc sur la plateforme des Ateliers Mazeline; au cours de ces essais, le couple a été mesuré au frein Froude et la correspondance entre puissance et consommation a été établie pour diverses puissances du moteur.

Les essais de recette de ce navire ont eu lieu en Manche les 2 et 3 janvier 1957 par conditions météorologiques peu favorables. Il n'a pas été possible de procéder à des mesures sur les bases de Cherbourg en raison du mauvais temps qui y régnait.

En prévision des difficultés qui pouvaient être rencontrées du fait des circonstances de temps en cette période de l'année, il avait été installé à bord un radionavigateur Decca. Les mesures d'avance par tour et de giration ont été effectuées au moyen de cet appareil par les soins de l'Institut de Recherches de la Construction Navale; la puissance développée par le moteur au cours des essais a été mesurée au moyen d'une bouteille de consommation.

Malgré les conditions météorologiques peu favorables, la précision des mesures a été suffisante pour donner des résultats permettant la recette du navire; malgré des circonstances limites, mer 3 à 4 et vent 3 à 4, les performances du navire ont été un peu supérieures aux conditions de recette très sévères imposées par l'Armateur, à savoir : vitesse supérieure à 15 nœuds pour une puissance effective du moteur de 2.400 chevaux et un déplacement de 2.873 t.

Profitant du fait que la bouteille de consommation, ayant servi à ces essais restait placée à demeure à bord, il a paru intéressant de continuer à procéder à des mesures en cours d'exploitation.

II. — EXÉCUTION DES MESURES EN SERVICE

1. Procédés de mesure :

Les mesures effectuées ont consisté à relever *simultanément* :

- le temps nécessaire pour vider la bouteille de consommation de 50 l;
- le temps nécessaire pour que l'hélice effectue mille tours.

Ces mesures étaient faites avec des chronographes. Compte tenu des consommations horaires du moteur aux allures normales de route, les durées de ces mesures étaient du même ordre : soit autour de 400 secondes. Ces mesures étaient répétées trois ou quatre fois; pendant que les Officiers mécaniciens y procédaient, l'Officier de quart sur la passerelle notait le cap, la direction et la force du vent, et celles de la mer.

Ces mesures permettent de connaître :

- directement le nombre de tours N par minute,
- indirectement la puissance F du moteur.

Cette dernière est obtenue à partir de la consommation mesurée en utilisant la courbe établie aux essais en usine représentant le couple F/N en fonction de la consommation par tour C/N; on corrige ensuite pour tenir compte de la densité et du pouvoir calorifique du combustible utilisé.

Pour connaître la valeur de ces caractéristiques, il a été procédé systématiquement à des mesures sur le combustible épuré, tel qu'il est envoyé dans le moteur; elles ont été confiées à la Faculté des Sciences de Marseille; des contrôles ont été effectués par le Conservatoire National des Arts et Métiers.

2. Précision des mesures :

La précision sur les mesures du temps nécessaire pour 1.000 tours est certainement supérieure à 0,5 seconde, c'est-à-dire en valeur relative à 1/800. Si l'on tient compte du fait que l'on prend pour définir le nombre de tours une moyenne de 3 ou 4 mesures et que la dispersion de celles-ci est faible, sa précision relative doit être d'au moins 1/1.000 et probablement supérieure.

Quant au volume de la bouteille de consommation, il est connu avec une précision relative de 1/5.000; la mesure de la consommation a donc pratiquement la même précision que la mesure de son temps, l'entrée et la sortie de la bouteille se faisant par des tubes étroits dans lesquels le niveau varie très vite devant le repère de volume. Cette précision est donc du même ordre que celle du nombre de tours, c'est-à-dire environ 1/1.000 en valeur relative. La valeur C/N de la consommation par tour a donc une précision de l'ordre de 2/1.000.

La précision des résultats ultérieurs est fonction, d'une part, de la pré-

cision de la courbe reliant C/N et F/N , d'autre part, de la précision de la mesure des caractéristiques du combustible; la précision des mesures en atelier doit être supérieure à celles des mesures faites à bord; cette dernière étant supérieure à $2/1.000$, peut admettre que F/N est connu avec une précision certainement supérieure à $2 \times 2/1.000$ et probablement de l'ordre de $3/1.000$ pour un combustible identique à celui des essais en usine.

Quant aux caractéristiques du combustible, le Conservatoire National des Arts et Métiers estime qu'elles sont connues :

— la densité avec une précision de l'ordre de $+ 0,002$ pour $0,860$, c'est-à-dire avec une précision relative supérieure à $1/400$;

— le pouvoir calorifique à ± 60 calories pour une valeur de l'ordre de 10.000 , c'est-à-dire avec une précision relative supérieure à $6/1.000$.

De fait, lors des mesures de contrôle, les valeurs données par les deux Laboratoires de mesure se sont pratiquement trouvées concordantes avec cette précision. On peut en déduire que F/N est connu avec une précision supérieure à 2% et F/N^3 avec une précision au moins égale à 2% .

Il s'agit là de valeurs absolues; en fait la précision en valeur relative est naturellement meilleure; on verra plus loin que la dispersion des mesures est souvent très faible.

3. Mesures torsiométriques.

Pour vérifier la correspondance entre les puissances mesurées par la consommation et les puissances sur l'arbre, il a été monté au cours de l'arrêt de garantie des « strain gauges » sur un tronçon de l'arbre porte-hélice.

Ce tronçon a été taré au banc dans les Ateliers de La Seyne de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée. Un pont de mesure appartenant à l'Institut de Recherches a été monté sur le navire et-il a été procédé à des mesures au cours des traversées Marseille/Oran le 19 juin 1957 et Oran/Marseille le 23 juin 1957. Les mesures effectuées ont permis d'établir :

— la correspondance entre puissance et nombre de tours N ;

— la correspondance entre puissance mesurée par la bouteille de consommation et puissance torsiométrique.

Les résultats ont montré qu'il y avait un très bon accord entre les mesures de puissance d'après les consommations et les mesures d'après les relevés torsiométriques; l'écart relatif entre les mesures de couple reste pratiquement constant et de l'ordre de $1,5\%$.

De toute façon d'ailleurs, la connaissance des valeurs exactes des puissances n'est indispensable que pour les comparaisons en valeur absolue, telles que la mise en parallèle avec le Bassin. Pour toutes les études d'influence en valeur

TABEAU I — Cargo. CANIGOU
Relevés en cours d'exploitation.

Première période : Sortie du Bassin le 13 décembre 1956.

| Repère de la mesure | Traversée | | Date | Heures des relevés | Déplacement moyen (estimé) en tonnes | Assiette en mètres | Mer | Vent | Cap | Directions relatives au navire | | Indice de charge du moteur | Temps pour mille tours (en secondes) | | Temps de vidange de la bouteille (en secondes) | | Nombre de tours/minute du moteur N | Consommation du moteur (en litres/heure) C | C/N | F ₀ /N | Puissance mesurée par la consommation F (en ch) | F N ³ × 10 ⁶ | Vitesse moyenne de la traversée en nœuds | Nombre de tours moyen de la traversée en 1/min | Allures pendant la traversée | Mer et vent pendant la traversée | |
|---------------------|------------|--------------|---------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|-----|--------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------|--|----------------------------------|------------------------------------|--|-------|-------------------|---|------------------------------------|--|--|------------------------------|----------------------------------|----------------|
| | de | à | | | | | | | | Mer | Vent | | Mesures | Moyenne | Mesures | Moyenne | | | | | | | | | | Vent | Mer |
| A | Marseille | Oran | 20/2/57 | 8 h 30 à 9 h 30 | 2 630 | 1,13 | Mer du vent 2 | SW 3 | 220 | AV | Debout | 6,4 | 435,5 435 434,5 | 435,0 | 426,0 | 426,5 425,5 426 | 137,93 | 422,5 | 3,063 | 14,95 | 2 074 | 790 | 14,8 | 136,57 | Constante IC = 6,4 | Vent 3/4 | Agitée |
| B | " | " | " | 15 h 30 à 16 h 30 | 2 626 | 1,09 | Peu agitée 2 | W 3 | 197 | — | 1/4 AV du travers | 6,4 | 437 437 437 | 437,0 | 433,67 | 433,5 434 433,5 | 137,30 | 415,0 | 3,022 | 14,75 | 2 025 | 786 | 14,6 | 136,38 | Variable | 3 | peuhoul. |
| C | " | " | " | 21 h 30 à 22 h 30 | 2 622 | 1,05 | Agitée du vent 3 | SW 4 | 197 | 3/4 AV | 3/4 AV | 6,4 | 442 443 442,5 | 442,5 | 433,5 | 433,5 434 433,5 | 135,59 | 415,0 | 3,061 | 14,95 | 2 027 | 818 | 14,8 | 136,57 | Constante IC = 6,4 | Vent 3/4 | Agitée |
| G | Mostaganem | Port-Vendres | 16/3/57 | 8 h 30 à 9 h 30 | 2 786 | 0,89 | Légère houle ENE | Nul | 10 | 3/4 AV | 0 | 6,5 | 430 430,4 430,2 430,4 | 430,25 | 410,65 | 411 410,5 410,5 410,6 | 139,45 | 438,3 | 3,143 | 15,32 | 2 148 | 792 | 14,6 | 136,38 | Variable | 3 | peuhoul. |
| h | " | " | " | 16 h 30 à 17 h 30 | 2 782 | 0,85 | Légère houle d'Est | SSW 2 | 40 | 4/4 AV | 2/4 AR | 6,5 | 428,5 428,5 428,5 428,5 | 428,5 | 409,0 | 409 409 409 409 | 140,02 | 440,1 | 3,143 | 15,32 | 1 157 | 785 | 14,8 | 136,38 | Variable | 3 | peuhoul. |
| H | Marseille | Oran | 20/3/57 | 8 h 30 à 9 h 30 | 3 090 | 0,90 | Belle | Nul | 212 | 0 | — | 6,7 | 424,5 424,7 424,5 425 | 424,7 | 892,6 | 393 392,4 392,4 392,5 | 141,28 | 458,5 | 3,245 | 15,79 | 2 261 | 802 | 14,8 | 140,96 | Constante IC = 6,7 | Faible | Belle |
| I | " | " | " | 16 h 00 à 16 h 45 | 3 084 | 0,90 | Peu agitée | S 2 | 216 | — | 3/4 AV | 6,7 | 428 428 428 427 | 427,75 | 395,05 | 395,4 395,2 395,4 394,2 | 140,27 | 455,6 | 3,248 | 15,80 | 2 247 | 814 | 14,8 | 140,96 | Constante IC = 6,7 | Faible | Belle |
| O | Oran | Marseille | 4/5/57 | 8 h 30 à 9 h 15 | 2 401 | 1,18 | Belle | NNE 1 | 18 | 0 | 3/4 AV | 6,7 | 422 422 422 422 | 422,0 | 385,0 | 385 385 385 385 | 142,18 | 467,5 | 3,288 | 15,97 | 2 303 | 801 | 15,2 | 142,13 | Constante IC = 6,7 | 2 à 3 | Belle à agitée |
| p | " | " | " | 20 h 30 à 20 h 15 | 2 302 | 1,16 | Belle | Nul | 81 | 0 | 0 | 6,7 | 419,5 419,5 419,5 420 | 419,63 | 382,0 | 382 382 382 382 | 142,99 | 471,2 | 2,295 | 16,03 | 2 324 | 795 | 15,2 | 142,13 | Constante IC = 6,7 | 2 à 3 | Belle à agitée |

relative, il suffit d'être assuré que les mesures sont suffisamment fidèles et précises.

4. Mesures de vitesse :

La Méditerranée Occidentale n'est pas couverte par une chaîne Decca à usage maritime, aussi n'est-il pas possible de procéder en service à des mesures de vitesse sur le fond, utiles pour suivre la variation de l'avance par tour en cours d'exploitation. On a tenté de mesurer la vitesse dans certains cas au moyen de points effectués en vue de terre; ces mesures sont très imprécises et il n'a pas été possible d'en tirer de conclusion. Une chaîne Decca mobile a été mise en fonction en octobre 1957 pour la pose du câble téléphonique Marseille/Alger; malheureusement les routes suivies par le *Canigou* ne se présentaient pas sous des angles favorables par rapport aux hyperboles Decca et les tentatives d'utilisation de celles-ci pour mesure de la vitesse se sont révélées trop imprécises pour qu'on puisse en tirer des résultats intéressants.

Les seules mesures permettant une corrélation entre les avances par tour et les puissances ont donc été les mesures de vitesse moyenné sur les traversées. On pourrait croire au premier abord que ces mesures n'ont aucune signification, mais les conditions d'exploitation du *Canigou* leur sont au contraire assez favorables : les traversées sont souvent effectuées à réglage constant; les circonstances météorologiques sont parfois peu variables au cours d'une traversée.

5. Présentation des résultats :

Nous avons pensé qu'il n'était pas nécessaire de charger le texte de ce compte rendu en publiant en détail toutes les mesures effectuées. Nous donnons toutefois ci-joint, à titre d'exemple, une série de relevés (tableau I).

L'ensemble des relevés peut se diviser :

- en une première période s'écoulant des essais de recette au carénage effectué pendant les visites de garantie;
- en une deuxième période s'écoulant entre ce carénage et le suivant.

Pendant la première, on a procédé à 44 séries de mesures simultanées; pendant la deuxième, on a procédé à 42 séries de mesures simultanées, soit un total de 86 séries de mesures.

En outre, on a exécuté une série de mesures systématiques de l'influence de la barre sur le nombre de tours et la puissance à réglage constant. Ces mesures constituant, en fait, une étude particulière, hors du cadre du présent travail, sont relatées en annexe.

III. — ANALYSE DES MESURES

1. *Limites de l'analyse.*

L'ensemble des relevés mentionnés ci-dessus a été étudié, mais nous avons préféré limiter le présent compte rendu à l'analyse détaillée de ceux de la première période, en vue de souligner les particularités de la méthode utilisée, plutôt que de traiter plus sommairement l'ensemble.

En ce qui concerne la seconde période, nous nous bornerons donc à mentionner les points essentiels qui la différencient de la première.

2. *Principe de l'analyse.*

A. — *Généralités.*

Cette analyse étant la première de l'espèce que nous entreprenions, nous avons cru bon de rechercher une méthode aussi élémentaire que possible; permettant à toutes les étapes de conserver le contact avec la réalité; nous avons donc éliminé les méthodes statistiques fournissant automatiquement des moyennes à partir d'ensembles de chiffres traités sans discrimination et avons préféré délibérément perdre sur la précision apparente, afin de déterminer avec certitude si l'influence de chaque paramètre apparaissait nettement dans tout relevé et avec un ordre de grandeur peu variable.

A priori, les paramètres sont nombreux : nombre de tours, puissance et vitesse pour la propulsion, déplacement, assiette et salissure pour la carène, température, cap, vent et mer pour les conditions extérieures.

Nous avons simplifié le problème comme suit :

La mesure la plus sûre est indiscutablement celle du nombre de tours (Cf. II-2); les pseudo-invariants $a = \frac{V}{N}$ et $\gamma = \frac{F}{N^3}$ sont donc pratiquement aussi bien déterminés que les variables primaires V et F ; leur variation en fonction de N est connue par les essais de recette : on peut donc attribuer leur résidu aux autres facteurs.

Cela admis, on peut encore scinder le problème en deux parties indépendantes : l'étude de γ en fonction de ces facteurs, puis celle de a ; l'avantage de ce procédé est que, en l'espèce, la mesure de F se rapportant à des conditions mieux définies que celle de V , on doit obtenir, dans la première partie, des résultats cohérents, non influencés par les erreurs sur V , tandis que la seconde partie et, plus encore, le rapprochement des deux parties (corrélation entre a et γ) montrera si les mesures de vitesse sont utilisables.

1. Pour la définition et l'usage de ces quantités, cf. [1].

Les deux parties étant calquées l'une sur l'autre, nous exposerons en détail le mécanisme de la première (étude de γ).

B. — *Première approximation.*

Les nombres de tours étant peu variables, la première opération consiste à corriger les γ pour les ramener à un nombre de tours uniforme.

L'examen des tableaux de résultats nous a montré qu'un nombre assez important de ceux-ci correspondaient à des conditions de déplacement et d'assiette peu variables. On peut alors espérer, au hasard des circonstances météorologiques, obtenir une approximation de l'effet combiné de la salissure et de la variation de température de l'eau de mer, en se limitant à ces résultats et en portant graphiquement les γ en fonction du temps passé depuis le dernier carénage.

Cette première estimation obtenue, on peut corriger tous les γ de l'effet approximatif de la salissure pour obtenir des valeurs ne dépendant plus que des autres facteurs. Il faut alors rechercher le facteur prédominant : dans le cas du *Canigou* (première période) l'examen des tableaux de résultats a montré que le déplacement variait entre des limites très écartées (de 2.392 à 3.187 t. métriques); le même examen montrait que l'assiette était beaucoup moins variable et présentait d'ailleurs une certaine corrélation avec le déplacement. On pouvait donc, en portant graphiquement les γ en fonction du déplacement, espérer obtenir une estimation de l'effet de cette variable.

Cette deuxième estimation obtenue, on peut corriger tous les γ de l'effet approximatif du déplacement en les ramenant à un déplacement uniforme. L'influence de l'assiette ayant été considérée comme négligeable, les valeurs de γ obtenues ne dépendent plus que des circonstances météorologiques. L'influence du vent paraissant prépondérante par rapport à celle de la mer — au moins dans le cas des vents devant et des mers de force modérée — on peut porter graphiquement les γ en fonction de la force du vent (dans l'échelle Beaufort). On peut ainsi espérer obtenir une estimation de l'effet de cette variable.

C. — *Deuxième approximation.*

L'influence de la salissure ayant été estimée en premier lieu sur des mesures sélectionnées, mais non corrigées des autres influences, donc affectées d'une forte dispersion, doit pouvoir être précisée en reprenant la même opération, cette fois sur l'ensemble des mesures après avoir corrigé celles-ci, non seulement du nombre de tours, mais aussi des influences déterminées en première approximation pour les autres facteurs (déplacement, vent). On obtient alors une estimation plus exacte de l'effet combiné de la salissure et de la température.

Cette deuxième estimation permet de poursuivre l'étude de l'influence

des autres facteurs par le même processus que celui de la première approximation.

D. — *Résidus des approximations.*

Une telle méthode d'approximations successives présente un caractère général et peut être poussée au delà de la deuxième; en pratique, la limite

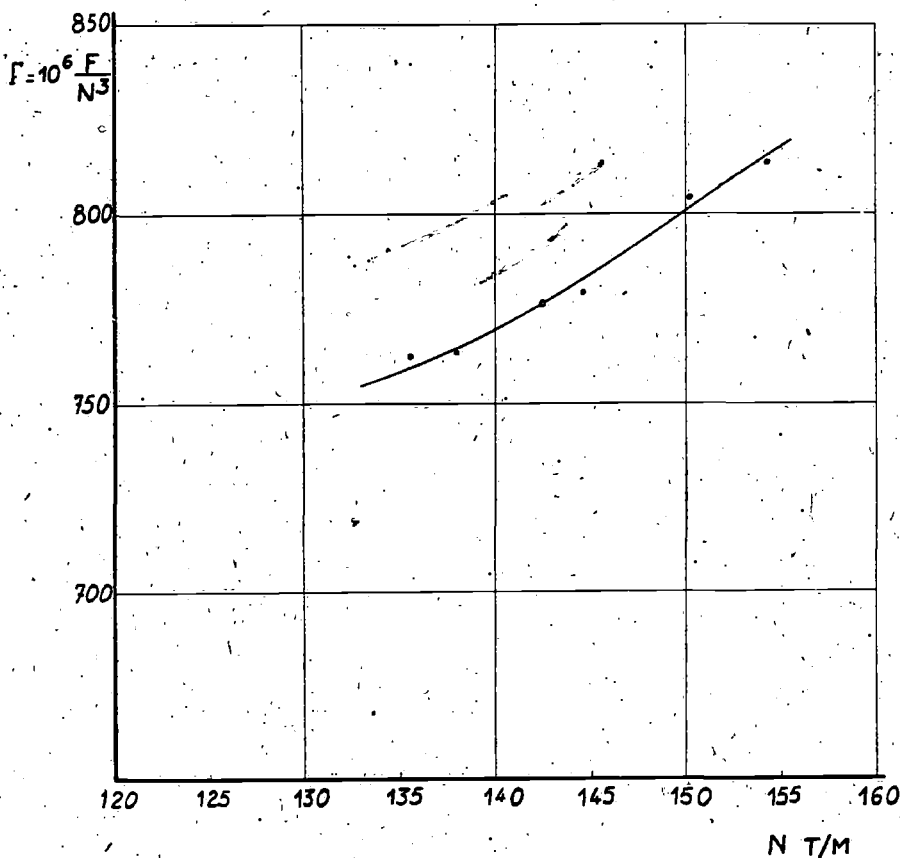


FIG. 1. — *Canigou.*
Variation de Γ en fonction de N . Mesures du 19 juin 1957.

utile est atteinte lorsque les résidus de ces approximations n'ont plus de relation apparente avec les facteurs étudiés. On pourrait espérer mettre en évidence dans ces résidus l'influence des facteurs négligés jusque-là : assiette et mer, mais cet espoir peut être illusoire si l'ordre de grandeur des résidus est inférieur à la précision des mesures.

E. — *Adaptation à l'étude de l'avance par tour.*

L'étude de l'avance par tour se traite de la même façon en substituant a à γ , mais il faut prendre garde que les a correspondant à des traversées où

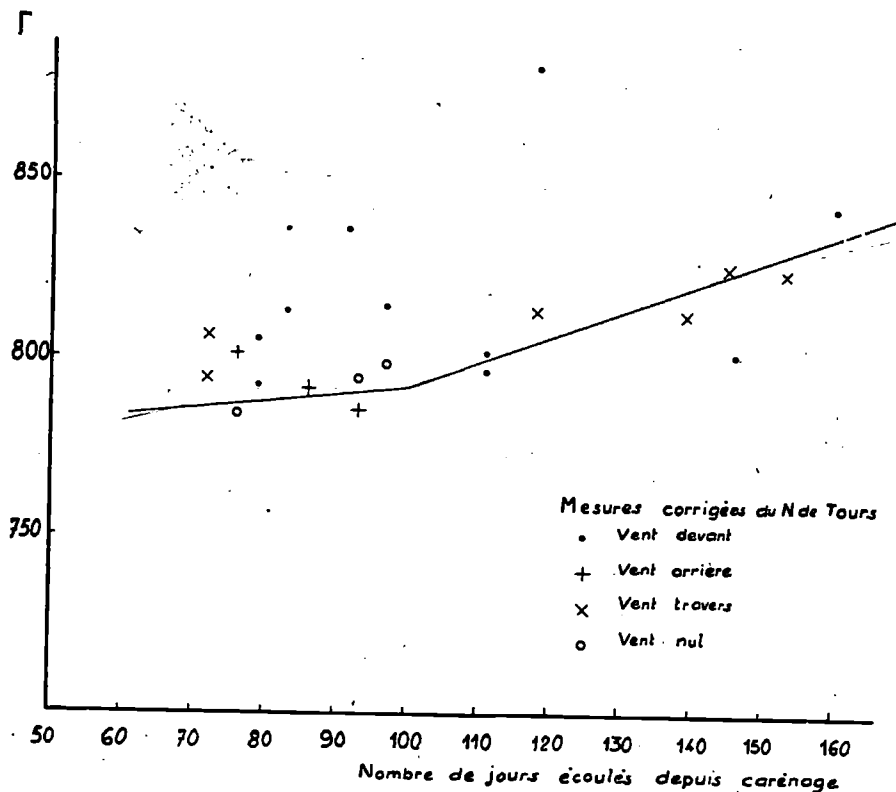


FIG. 2. — *Canigou.*
Déplacements voisins de 3000 tonnes
Influence de la salissure (1^{re} Approximation).

l'allure a été constante et le temps peu variable sont beaucoup plus sûrs que les autres.

F. — *Corrélation (a, γ).*

Enfin, une dernière partie consiste à établir graphiquement la corrélation (a, γ) dans les diverses circonstances en vue de déterminer quelles sont celle qui influent sur la caractéristique (a, γ), c'est-à-dire sur le sillage.

3. Résultats obtenus sur le Canigou.

A. — Étude du coefficient de puissance.

Pour simplifier l'écriture, nous avons posé :

$$\Gamma = 10^6 \cdot \gamma = 10^6 \times \frac{F \text{ (chevaux)}}{N^3 \text{ (tours/minute)}}$$

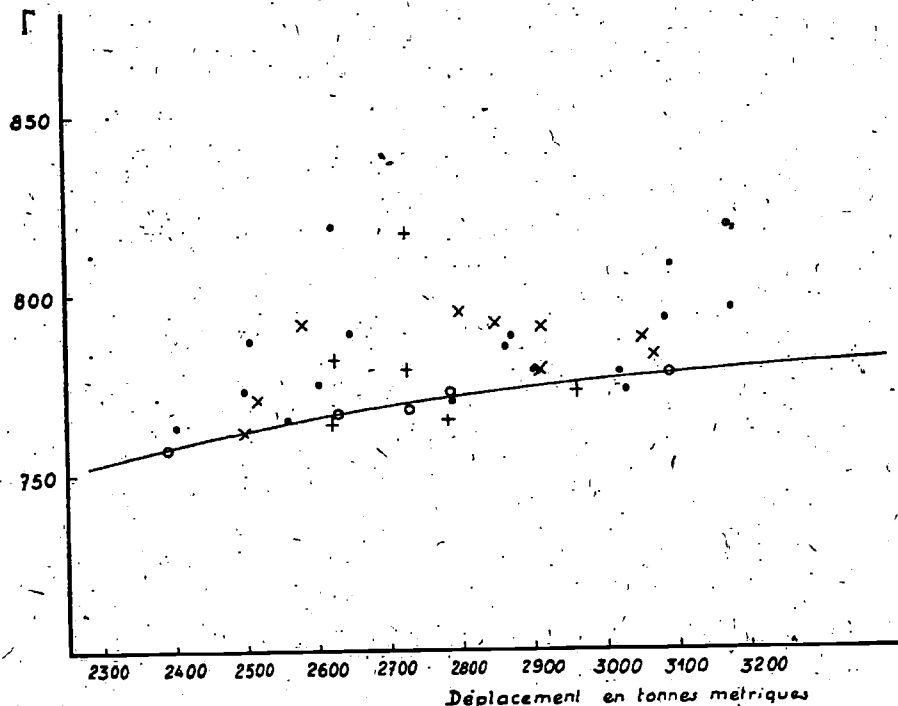


FIG. 3. — Canigou.
Mesures corrigées du nombre de tours et de la salissure.
Influence du déplacement (1^{re} Approximation).

a) Première approximation.

Les coefficients de puissance ont été corrigés pour les ramener à un nombre de tours constant ($N_0 = 140$ t/mn) : pour cela nous avons utilisé la courbe de la figure 1 relevée expérimentalement le 19 juin; cette courbe représente la variation de Γ en fonction de N , toutes autres variables restant constantes. Nous avons admis que la variation relative $\Delta\Gamma$ à partir de 140 T/mn était la même quelle que soit la valeur initiale de Γ .

La figure 2 donne les valeurs de Γ en fonction du temps passé depuis le carénage pour des déplacements compris entre 2791 et 3187 t, ainsi que

la loi de première approximation qui en a été déduite pour la salissure. Il y a lieu de préciser que, sur les graphiques d'étude, chaque point était assorti :

- du repère littéral de la mesure,
- d'un signe caractéristique de la direction du vent,
- d'un indice donnant la force Beaufort de celui-ci,
- d'un signe caractéristique de l'état de la mer.

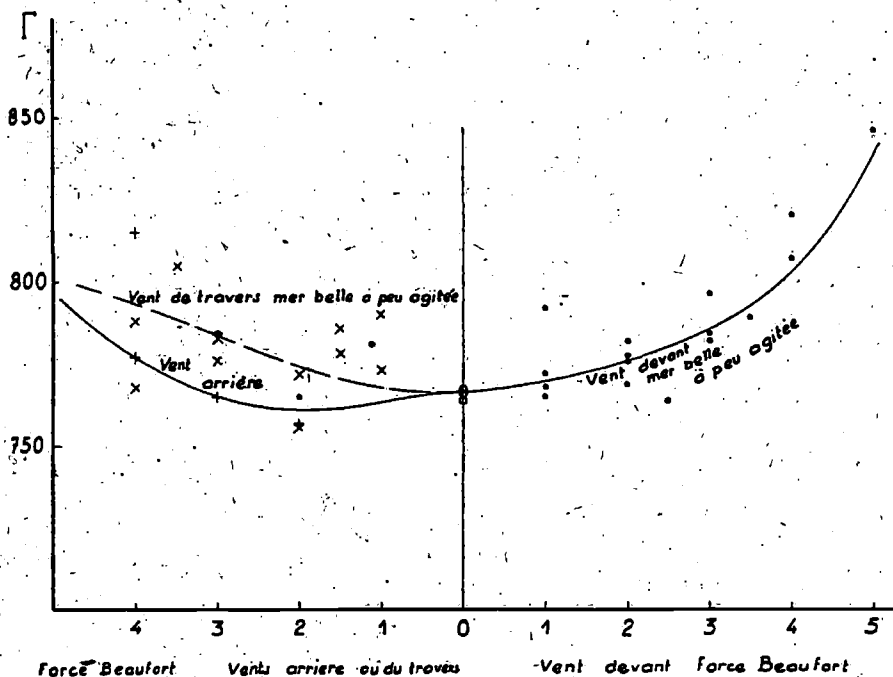


FIG. 4. — Canigou.

Mesures corrigées du nombre de tours, de la salissure et du déplacement.
Influence du vent (1^{re} Approximation).

La figure 3 donne les valeurs de F corrigées suivant cette loi et portées en fonction du déplacement; les points sur les graphiques d'étude étaient repérés comme précédemment, ce qui permettait d'étudier les ensembles correspondant aux mêmes conditions météorologiques; la courbe tracée sur le graphique balance les points correspondant au vent nul et à la mer belle ou peu agitée.

La figure 4 donne les valeurs de F après correction de nombre de tours, salissure et déplacement; ces valeurs sont portées en fonction de la force Beaufort du vent, vers la droite du graphique pour les vents devant, vers la gauche pour les vents arrière ou du travers. Nous avons admis pour la direction du vent trois catégories :

— *vent devant* pour les vents soufflant jusqu'à 5 quarts de l'avant, c'est-à-dire sur un secteur de $112^{\circ}30'$ de part et d'autre du plan de symétrie du navire;

— *vent de travers* pour les vents soufflant entre 5 quarts de l'avant et 5 quarts de l'arrière, soit sur un secteur de $67^{\circ}30'$ de chaque bord;

— *vent arrière* pour les vents soufflant jusqu'à 5 quarts de l'arrière c'est-à-dire sur un secteur de $112^{\circ}30'$ de part et d'autre du plan de symétrie du navire.

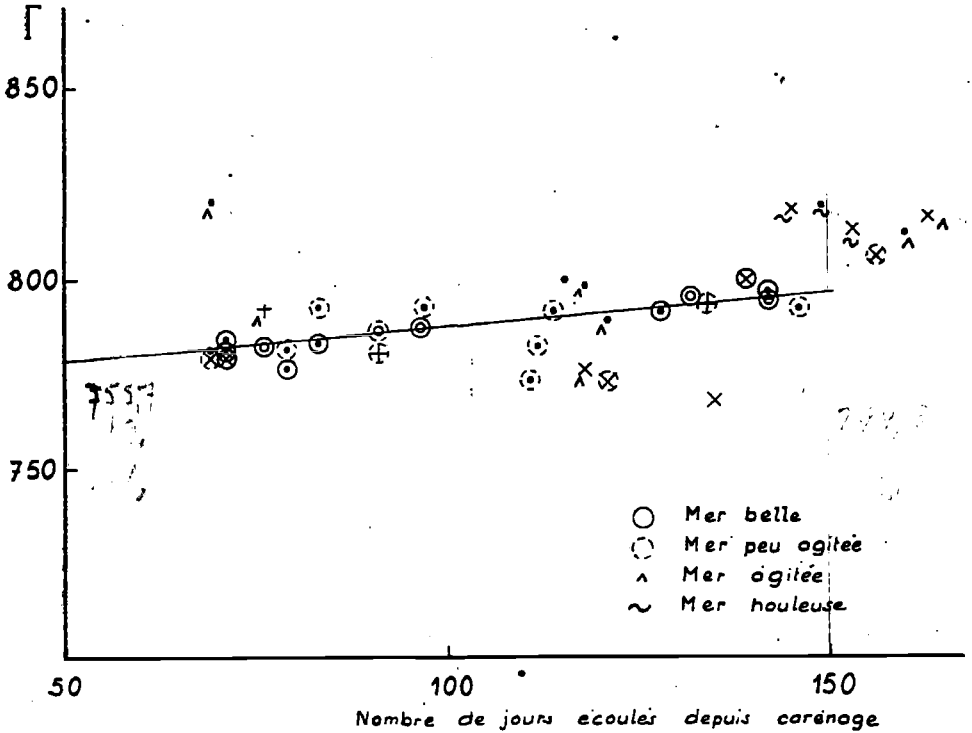


FIG. 5. — *Canigou*.
Mesures corrigées du nombre de tours, du déplacement, et du vent.
(Influence de la salissure. 2^e Approximation.)

Ces conventions sont sensiblement les mêmes que celles admises par Clements [2].

Pour les vents devant, la loi de correction approximative déduite du graphique donne une allure satisfaisante; par contre, les résultats par vent arrière ou du travers présentent une forte dispersion et les corrections estimées sont très incertaines.

b) *Deuxième approximation.*

Sur la figure 5 ont été portés en fonction du temps écoulé depuis carénage tous les Γ : ramenés à un nombre de tours constant (140) et corrigés du déplacement et du vent d'après les estimations obtenues par la première approximation.

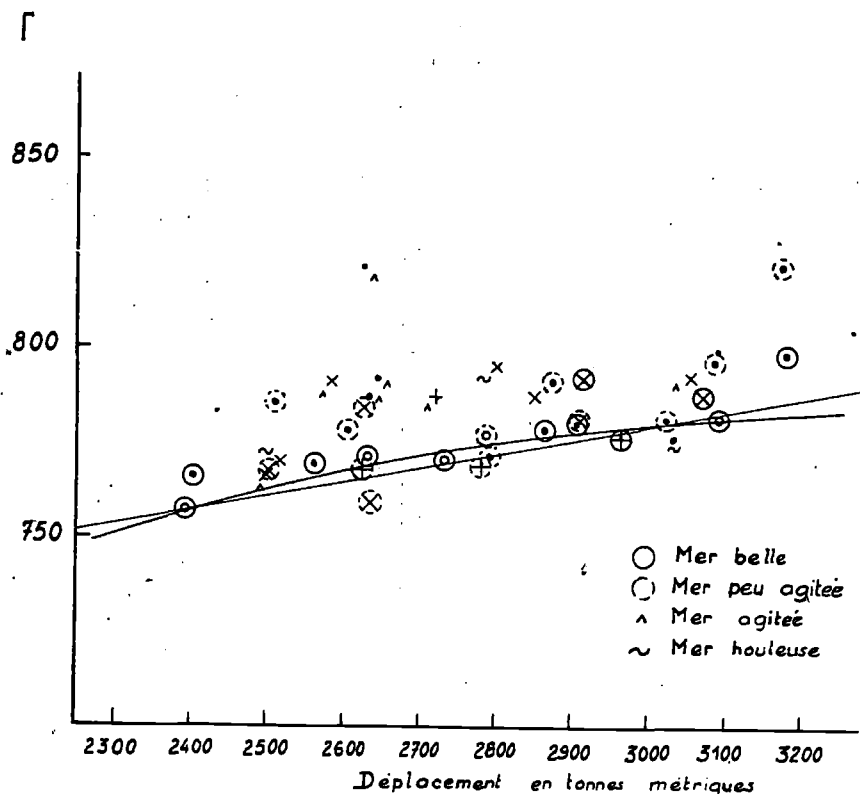


FIG. 6. — *Canigou.*
Mesures corrigées du nombre de tours et de la salissure.
(Influence du déplacement.
2^e Approximation.)

On en déduit que l'effet combiné de la salissure et de la température de l'eau de mer sur le *Canigou* pendant l'hiver et le printemps 1957 est bien représenté par une loi linéaire jusqu'au début mai, c'est-à-dire jusque vers le 140^e jour après la sortie du bassin.

Pendant cette période de croissance linéaire, l'accroissement est de :

$$\delta\Gamma = 0,18 \text{ par jour.}$$

A partir du 140^e jour, la croissance de la salissure paraît beaucoup plus rapide. Il est difficile de préciser sa valeur qui paraît être plusieurs fois la

précédente tout en demeurant très inférieure à celle mesurée par Šilović et Fancev [3] : pour la correction des quelques mesures se trouvant dans cette zone, nous avons admis

$$\delta T = 0,88 \text{ par jour.}$$

Sur la figure 6 ont été portés, en fonction du déplacement, tous les T ramenés à un nombre de tours constant (140) et corrigés de la loi de salissure déduite de la deuxième approximation : la courbe tracée sur le graphique

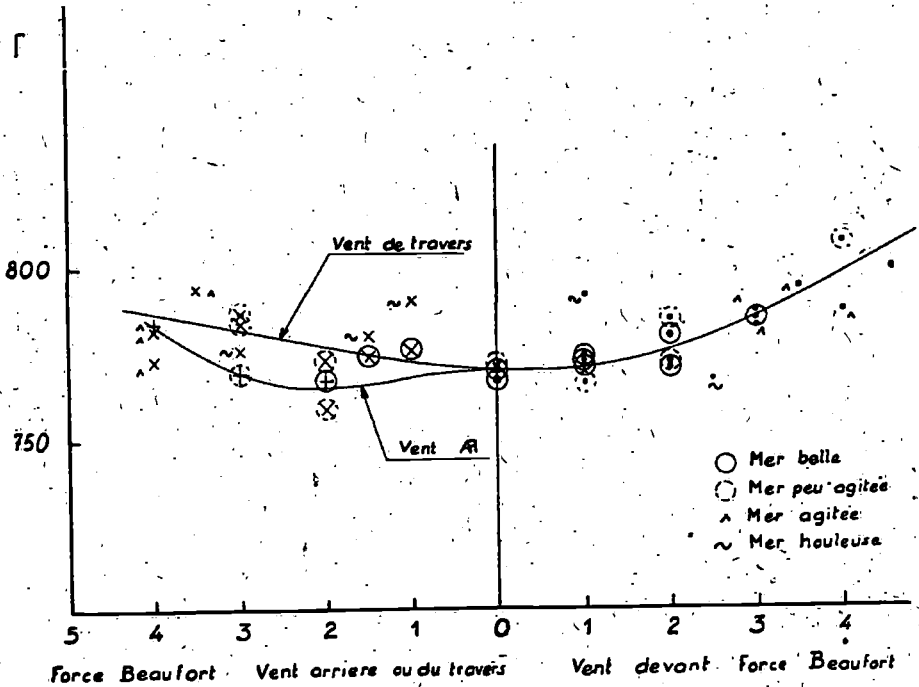


FIG. 7. — Canigou.

Mesures corrigées du nombre de tours, de la salissure, du déplacement.
(Influence du vent.
2^e Approximation.)

balance les points correspondant au vent nul et à la mer belle ou peu agitée; on voit sur cette courbe que l'influence du déplacement est plus sensible pour les petits déplacements et s'atténue vers les grands déplacements; ces résultats sont confirmés par l'examen des ensembles de points correspondant aux mêmes circonstances météorologiques: La droite moyenne balançant les points par vent nul et mer belle donne un accroissement

$$\delta T = 1,8 \text{ pour } 100 \text{ t.}$$

Sur la figure 7 ont été portés en fonction de la force Beaufort du vent, vers la droite pour les vents devant, vers la gauche pour les vents arrière ou du

travers, tous les Γ ramenés à un nombre de tours constant (140), corrigés de la salissure, et ramenés à un déplacement uniforme (2.650 t).

L'influence des vents devant est très bien balancée par une courbe à allure parabolique : l'influence du vent force 1 est pratiquement négligeable : celle du vent force 2 reste très faible : l'influence ne devient notable qu'à partir de la force 3.

La mer peu agitée n'a pas d'influence sensible; la mer agitée ne semble pas avoir d'influence notable pour les allures vent devant; la mer houleuse a une influence défavorable même par vent faible. Pour les vents forts, les influences de la mer et du vent paraissent difficilement séparables.

L'influence des vents arrière paraît d'abord favorable, au moins pour la force 2; elle devient certainement défavorable pour la force 4. Ces résultats sont analogues à ceux obtenus par Aertssen [4].

L'influence des vents de travers est beaucoup moins bien définie : l'influence de la mer paraît alors prépondérante.

c) Étude des résidus.

Le tableau II donne la récapitulation des résultats des mesures et des corrections apportées. Les colonnes 1 à 6, 9, 12, 13, 16, 17 et 18 se comprennent d'elles-mêmes : la colonne 7 est la correction $\delta\Gamma$ suivant figure 1; la colonne 8 donne Γ_N , ramené à un nombre de tours constant (140); la colonne 10 donne la correction de salissure suivant figure 5; la colonne 11 donne Γ corrigé de la salissure; la colonne 14 donne la correction de déplacement déduite de la figure 6; la colonne 15 donne Γ corrigé du déplacement; la colonne 19 donne la correction de vent déduite de la figure 7.

La colonne 20 donne les Γ complètement corrigés : les écarts entre ces Γ et la valeur moyenne correspondant au vent nul et à la mer belle, soit :

$$\Gamma = 770$$

sont donnés dans la colonne 21 « Résidus ». Ainsi qu'il a été expliqué plus haut, ces résidus comprennent :

- la dispersion propre des mesures,
- la dispersion complémentaire apportée par les corrections,
- l'influence éventuelle des facteurs négligés : mer et assiette.

La plupart des résidus sont inférieurs à 8, soit 1 %, ce qui est inférieur à la dispersion escomptée; deux égaux à 9 et un à 13 peuvent encore être imputés à la dispersion; un égal à 14 et deux à 18 sont relatifs au vent de travers dont l'action est particulièrement erratique; un seul résidu de 21 (~ 3 %) par vent debout force 1 et mer légèrement houleuse paraît dû à une erreur de mesure exceptionnelle; enfin, l'unique mesure par vent debout force 5/6 n'a pas permis de tracer la courbe jusqu'à cette force de vent, mais la comparaison avec l'ensemble permet de penser que le vent a été sous-estimé; il en est probablement de même pour le résidu de 24 par vent debout force 4 et mer agitée.

TABLEAU II
Mesures en exploitation.

| Repère de la mesure | Traversée | | Date 1957 | Nombre de tours N | Γ | $\delta\Gamma$ N | Γ N ₀ | Nombre de jours écoulés depuis carénage | $\delta\Gamma$ S | Γ N ₀ , S |
|---------------------------|------------|--------------|--------------|----------------------------|----------|---------------------|----------------------------|---|---------------------|--------------------------------|
| | de | à | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| A | Marseille | Oran | 20/2 | 137,93 | 790 | + 8 | 798 | 69 | — 12 | 686 |
| B | " | " | " | 137,30 | 786 | + 10 | 796 | 69 | — 12 | 784 |
| C | " | " | " | 135,59 | 818 | + 15 | 833 | 69 | — 12 | 821 |
| a | Mostaganem | Port-Vendres | 23/2 | 138,82 | 799 | + 6 | 805 | 72 | — 13 | 792 |
| b | " | " | " | 139,54 | 791 | + 3 | 794 | 72 | — 13 | 781 |
| c | " | " | " | 139,31 | 790 | + 3 | 793 | 72 | — 13 | 780 |
| D | Marseille | Oran | 27/2 | 139,94 | 784 | 0 | 784 | 76 | — 14 | 770 |
| E | " | " | " | 138,97 | 795 | + 6 | 801 | 76 | — 14 | 787 |
| d | Mostaganem | Port-Vendres | 2/3 | 138,93 | 799 | + 6 | 805 | 79 | — 14 | 791 |
| e | " | " | " | 135,24 | 775 | + 17 | 792 | 79 | — 14 | 778 |
| F | Marseille | Oran | 6/3 | 138,29 | 806 | + 7 | 813 | 83 | — 15 | 798 |
| G | " | " | " | 136,79 | 824 | + 12 | 836 | 83 | — 15 | 821 |
| f | Mostaganem | Port-Vendres | 9/3 | 139,62 | 789 | + 2 | 791 | 86 | — 15 | 776 |
| g | " | " | 16/3 | 139,45 | 792 | + 2 | 794 | 93 | — 17 | 777 |
| h | " | " | " | 140,02 | 785 | 0 | 785 | 93 | — 17 | 768 |
| H | Marseille | Oran | 20/3 | 141,28 | 802 | — 4 | 798 | 97 | — 17 | 781 |
| I | " | " | " | 140,27 | 814 | — 1 | 813 | 97 | — 17 | 796 |
| J | " | " | 3/4 | 143,80 | 810 | — 14 | 796 | 111 | — 20 | 776 |
| K | " | " | " | 143,54 | 814 | — 13 | 801 | 111 | — 20 | 781 |
| i | Mostaganem | Port-Vendres | 6/4 | 141,43 | 804 | — 5 | 799 | 114 | — 21 | 778 |
| L | Marseille | Oran | 10/4 | 142,43 | 822 | — 9 | 813 | 118 | — 21 | 792 |
| M | " | " | " | 138,57 | 875 | + 6 | 881 | 118 | — 21 | 860 |
| R | Mostaganem | Port-Vendres | 13/4 | 140,43 | 816 | — 2 | 814 | 121 | — 22 | 792 |
| l | " | " | " | 144,93 | 799 | — 18 | 781 | 121 | — 22 | 759 |
| m | " | " | 20/4 | 141,89 | 798 | — 6 | 792 | 128 | — 23 | 769 |
| N | Marseille | Oran | 23/4 | 144,10 | 810 | — 15 | 795 | 132 | — 24 | 771 |
| O | " | " | 25/4 | 144,27 | 808 | — 16 | 792 | 133 | — 24 | 768 |
| n | Mostaganem | Port-Vendres | 27/4 | 142,10 | 798 | — 8 | 790 | 135 | — 24 | 766 |
| P | Marseille | Oran | 1/5 | 142,18 | 816 | — 4 | 812 | 139 | — 25 | 787 |
| o | Oran | Marseille | 4/5 | 142,18 | 801 | — 8 | 793 | 142 | — 27 | 766 |
| p | " | " | " | 141,99 | 795 | — 11 | 784 | 142 | — 27 | 757 |
| Q | Marseille | Oran | 7/5 | 139,90 | 825 | 0 | 825 | 145 | — 30 | 795 |
| R | " | " | 8/5 | 141,51 | 867 | — 6 | 801 | 146 | — 30 | 771 |
| q | Oran | Marseille | 10/5 | 141,64 | 809 | — 7 | 802 | 148 | — 32 | 770 |
| r | " | " | 11/5 | 140,31 | 819 | — 1 | 818 | 149 | — 33 | 785 |
| S | Marseille | Oran | 15/5 | 140,27 | 825 | — 1 | 824 | 153 | — 37 | 787 |
| s | Oran | Marseille | 18/5 | 141,32 | 811 | — 5 | 806 | 156 | — 39 | 767 |
| T | Marseille | Oran | 22/5 | 138,81 | 836 | + 6 | 842 | 160 | — 43 | 799 |
| t | Oran | Marseille | 25/5 | 138,93 | 831 | + 5 | 836 | 163 | — 45 | 791 |

Cargo *CANIGOU*

Coefficient de puissance. (2^e Approximation)

| Déplacement en tonnes métriques | Assiette | $\delta \Gamma$ D | Γ N ₀ , S, D | Vent | | Mer | $\delta \Gamma$ Vent | Γ N ₀ S D, Vent | Résidu |
|--|----------|----------------------|-----------------------------------|-----------|-------|--------------------------|-------------------------|---|--------|
| | | | | Direction | Force | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 2 630 | 1,13 | + 1 | 787 | Debout | 3 | Agitée | -15 | 772 | + 2 |
| 2 626 | 1,09 | + 1 | 787 | Travers | 3 | peu agitée | -12 | 775 | + 5 |
| 2 622 | 1,05 | + 1 | 822 | Avant | 4 | Agitée | -28 | 794 | + 24 |
| 2 914 | 0,93 | - 8 | 784 | Travers | 3 | Belle | -12 | 772 | + 2 |
| 2 909 | 0,96 | - 8 | 773 | Travers | 2 | légère houle | - 7 | 766 | - 4 |
| 2 906 | 0,97 | - 8 | 772 | Avant | 1 | Belle | - 1 | 771 | + 1 |
| 2 732 | 1,13 | - 3 | 767 | Nul | 0 | Belle | 0 | 767 | - 3 |
| 2 725 | 1,07 | - 3 | 784 | Arrière | 4 | Agitée-Tangage | -14 | 770 | 0 |
| 2 873 | 1,25 | - 7 | 784 | Debout | 3 | peu agitée | -15 | 769 | - 1 |
| 2 865 | 1,25 | - 7 | 771 | Avant | 2 | Belle | - 6 | 765 | - 5 |
| 3 177 | 0,98 | -13 | 785 | Avant | 3 | Belle | -15 | 770 | 0 |
| 3 173 | 0,89 | -13 | 807 | Debout | 4 | Agitée | -28 | 779 | + 9 |
| 2 963 | 0,93 | - 9 | 767 | Arrière | 2 | Belle | + 5 | 772 | + 2 |
| 2 786 | 0,89 | - 5 | 772 | Nul | 0 | légère houle travers | 0 | 772 | + 2 |
| 2 782 | 0,85 | - 4 | 764 | Arrière | 2 | légère houle | + 5 | 769 | - 1 |
| 3 090 | 0,90 | -11 | 770 | Nul | 0 | Belle | 0 | 770 | 0 |
| 3 084 | 0,90 | -11 | 785 | Avant | 2 | peu agitée | - 6 | 779 | + 9 |
| 3 029 | 0,96 | - 9 | 767 | Avant | 2/3 | houleuse | -10 | 757 | -13 |
| 3 021 | 0,93 | - 9 | 772 | Debout | 2 | peu agitée | - 6 | 766 | - 4 |
| 2 609 | 1,29 | + 2 | 780 | Debout | 2 | peu agitée | - 6 | 774 | + 4 |
| 3 052 | 1,18 | -10 | 782 | Travers | 4 | Agitée | -17 | 765 | - 5 |
| 3 045 | 1,14 | -10 | 850 | Debout | 5/6 | Agitée-Tangage | - | - | - |
| 2 643 | 1,58 | 0 | 792 | Debout | 3/4 | Agitée-Tangage | -22 | 770 | 0 |
| 2 635 | 1,57 | + 1 | 759 | Travers | 2 | peu agitée | - 7 | 752 | -18 |
| 2 561 | 1,28 | + 4 | 774 | Avant | 1 | Belle | - 1 | 773 | + 3 |
| 2 630 | 1,18 | + 1 | 772 | Nul | 0 | Belle | 0 | 772 | + 2 |
| 2 622 | 1,16 | + 1 | 769 | Arrière | 3 | peu agitée | + 1 | 770 | 0 |
| 2 499 | 1,24 | + 7 | 773 | Travers | 4 | Agitée | -17 | 756 | -14 |
| 3 068 | 1,43 | -11 | 776 | Travers | 1 | Belle | - 2 | 774 | + 4 |
| 2 401 | 1,18 | +13 | 773 | Avant | 1 | Belle | - 1 | 772 | + 2 |
| 2 392 | 1,16 | +13 | 770 | Nul | 0 | Belle | 0 | 770 | 0 |
| 2 800 | 1,19 | - 5 | 790 | Travers | 1 | Houle traversière | - 2 | 788 | +18 |
| 3 791 | 1,16 | - 5 | 766 | Avant | 1 | peu agitée | - 1 | 765 | - 5 |
| 2 517 | 1,19 | + 6 | 776 | Travers | 3 | houleuse | -12 | 764 | - 6 |
| 2 509 | 1,16 | + 7 | 792 | Debout | 1 | légère houle | - 1 | 791 | +21 |
| 2 850 | 1,30 | - 7 | 780 | Travers | 1/2 | légère houle traversière | - 4 | 776 | + 6 |
| 2 500 | 1,25 | + 7 | 774 | Travers | 1/2 | peu agitée | - 4 | 770 | 0 |
| 3 187 | 0,81 | -13 | 783 | Debout | 3 | Agitée | -15 | 768 | - 2 |
| 2 581 | 1,08 | + 3 | 794 | Travers | 3/4 | Agitée | -15 | 779 | + 9 |

L'examen des résidus ne met en évidence aucune influence de l'assiette dans les limites entre lesquelles elle a varié.

B. — *Étude de l'avance par tour.*

a) *Particularités de l'étude.*

L'étude de l'avance par tour est compliquée par l'existence d'une erreur systématique sur la vitesse, due au courant inconnu.

En outre, les conditions météorologiques moyennes de chaque traversée sont mal définies lorsque le temps a été variable.

Compte tenu de ces particularités, nous avons adapté comme suit la méthode appliquée ci-dessus au coefficient de puissance :

— nous avons renoncé à toute correction de courant *a priori*, espérant qu'une compensation suffisante serait obtenue entre les avances par tour apparentes des traversées aller et retour;

— nous avons renoncé à la détermination de l'influence météorologique, espérant que la dispersion ainsi introduite serait assez faible pour ne pas masquer les influences majeures du déplacement et de la salissure (si l'on désirait connaître un ordre de grandeur de l'influence du vent sur a , on pourrait le déduire de l'influence sur Γ précédemment évaluée en admettant que le sillage ne dépend pas du vent, hypothèse plausible);

— nous n'avons retenu que les traversées pour lesquelles l'allure a été peu variable et voisine de celle à laquelle a été mesurée la puissance et avons adopté pour le calcul de l'avance par tour le nombre de tours moyen mesuré entre les mêmes instants que la vitesse commerciale.

b) *Résultats de l'analyse.*

Il nous a paru illusoire de procéder à plusieurs approximations successives.

Pour simplifier l'écriture, nous avons posé :

$$A = 10^4 a = 10^4 \frac{V \text{ (tours/minute)}}{N \text{ (nœuds)}}$$

Les avances par tour apparentes ont été corrigées pour les ramener à un nombre de tours constant ($N_0 = 140 \text{ t/mn}$); pour cela, nous avons admis que, toutes choses égales d'ailleurs, les variations de A et Γ lorsque N varie seul sont proportionnelles dans le rapport défini par la caractéristique (α, γ) établie aux essais de recette; au voisinage de 140 t/mn , ce rapport est :

$$\frac{\delta A}{\delta \Gamma} = 1,25$$

et les corrections sur A ont été obtenues en multipliant par ce facteur les corrections sur Γ tirées de la figure 1.

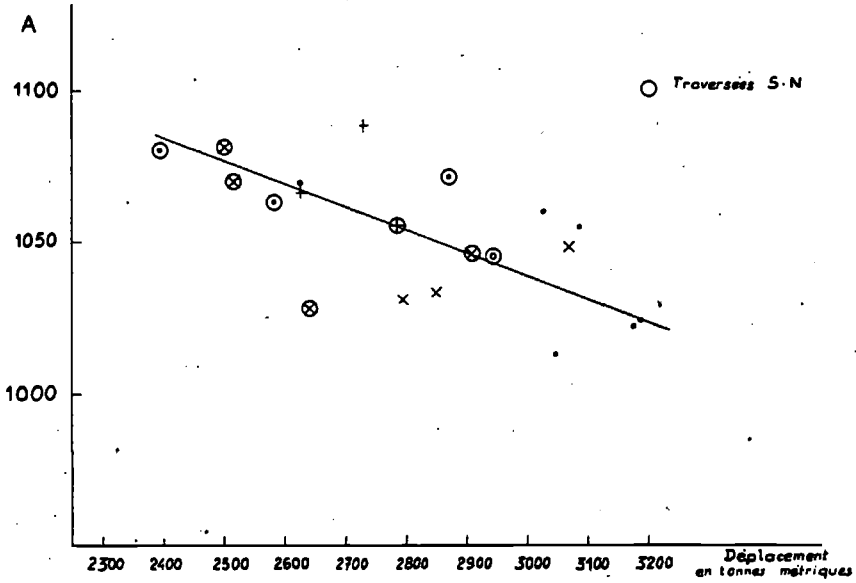


FIG. 8. — Canigou.
Mesures corrigées du nombre de tours.
Influence du déplacement.

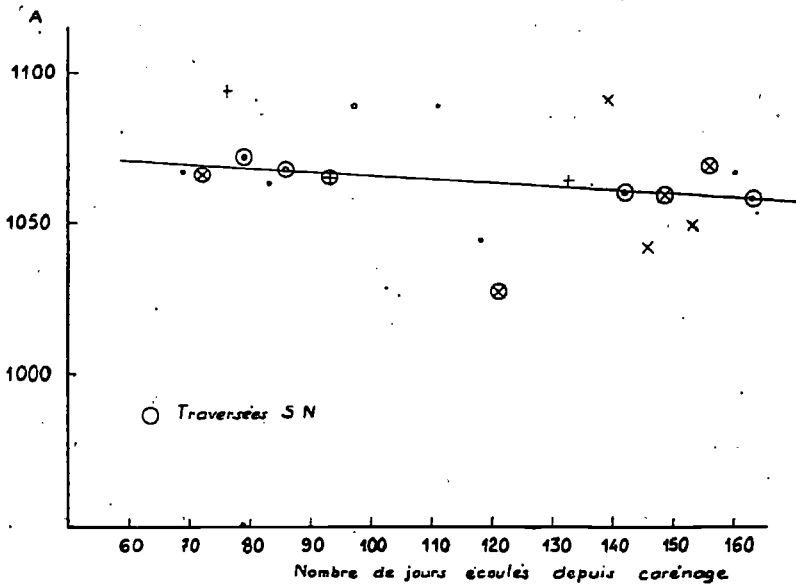


FIG. 9. — Canigou.
Mesures corrigées du nombre de tours et du déplacement.
Influence de la salissure.

Sur la figure 8, les A ainsi ramenés à un nombre de tours constant (140) ont été portés en fonction du déplacement; la droite tracée représente bien la tendance générale, soit une décroissance :

$$\delta A = - 7,6 \text{ par } 100 \text{ t d'augmentation de déplacement.}$$

La figure 9 représente les A ramenés à un nombre de tours constant et à un déplacement uniforme de 2.650 t suivant la loi linéaire qui vient d'être établie en fonction du nombre de jours écoulés depuis le carénage; malgré une dispersion importante, la droite tracée balance bien la plupart des points relatifs aux traversées Sud-Nord et indique une décroissance :

$$\delta A = - 0,13 \text{ par jour.}$$

sans qu'aucune tendance à la variation de ce taux apparaisse à la fin de la période.

Le tableau III résume cette analyse; les colonnes 1 à 5, 8 et 11 n'exigent aucun commentaire, la colonne 6 indique la correction de nombre de tours et la colonne 7 les A ramenés au nombre de tours constant de 140, la colonne 9 indique la correction de déplacement et la colonne 10 les A ramenés à 140 t/mn et au déplacement uniforme de 2.650 t.

C. — Corrélation (a , γ).

Cette corrélation consiste à étudier la position du point représentatif dans le diagramme (a , γ) dans une situation déterminée.

Les seuls paramètres en cause sont le déplacement et la salissure puisque, faute de mesures assez exactes de la vitesse, nous avons admis que le sillage était indépendant des conditions météorologiques.

En ce qui concerne le déplacement, nous avons trouvé que la loi linéarisée représenterait une variation $\delta \Gamma = 3,6$ pour 100 t; d'après la relation déjà utilisée plus haut, il en résulterait à sillage constant une variation :

$$\delta A = - 1,25 \delta \Gamma = - 4,5 \text{ pour } 100 \text{ t,}$$

alors que nous avons trouvé $\delta A = - 7,6$: cet écart signifie que le sillage diminue, lorsque le déplacement augmente, comme il est normal [5].

En ce qui concerne la salissure, nous nous limiterons à la période antérieure au mois de mai pour laquelle l'influence est bien définie; nous l'avons trouvée égale à $\delta \Gamma = 0,18$ par jour, ce qui entraînerait, à sillage constant, $\delta A = - 0,22$ par jour, alors que nous avons trouvé $A = - 0,13$: cet accord signifie que le sillage augmente avec la salissure, résultat déjà obtenu par Bonebakker [6].

En raison de ces variations de sillage, les diverses caractéristiques à déplacement constant ou à salissure constante ne sont pas confondues avec la droite (a , γ) tirée des essais de recette, et, même si l'on disposait de mesures simultanées de a et γ (ce qui n'est pas le cas), les points bruts ne s'aligneraient pas

TABLEAU III — Cargo CANIGOU
Mesures en exploitation (avance par tour)

| Repère de la mesure | Date 1957 | Vitesse commerciale | Nombre de tours moyen | A | δA N | A N ₀ | Déplacement (tonnes métriques) | δA D | A N ₀ D | Nombre de jours écoulés depuis carénage |
|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|------|------|------------------|--------------------------------|------|--------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| I | 20/2 | 14,8 | 136,57 | 1084 | - 15 | 1089 | 2626 | - 2 | 1067 | 69 |
| 1 | 23/2 | 14,6 | 138,89 | 1051 | - 5 | 1046 | 2910 | + 20 | 1066 | 72 |
| II | 27/2 | 15,2 | 139,01 | 1093 | - 5 | 1088 | 2728 | + 6 | 1094 | 76 |
| 2 | 2/3 | 14,6 | 136,34 | 1071 | - 16 | 1055 | 2869 | + 17 | 1072 | 79 |
| III | 6/3 | 14,2 | 137,07 | 1036 | - 14 | 1022 | 3175 | + 41 | 1063 | 83 |
| 3 | 9/3 | 14,6 | 139,34 | 1048 | - 3 | 1045 | 2943 | + 23 | 1068 | 86 |
| 4 | 16/3 | 14,6 | 136,38 | 1071 | - 16 | 1055 | 2784 | + 10 | 1065 | 93 |
| IV | 20/3 | 14,8 | 140,96 | 1050 | + 5 | 1055 | 3087 | + 34 | 1089 | 97 |
| V | 3/4 | 14,9 | 141,69 | 1051 | + 9 | 1060 | 3025 | + 29 | 1089 | 111 |
| VI | 10/4 | 14,2 | 140,75 | 1009 | + 4 | 1013 | 3048 | + 31 | 1044 | 118 |
| 6 | 19/4 | 14,4 | 140,50 | 1025 | + 3 | 1028 | 2639 | - 1 | 1027 | 121 |
| VII | 24/25/4 | 15,2 | 143,85 | 1057 | + 9 | 1066 | 2626 | - 2 | 1064 | 132/133 |
| VIII | 1/5 | 14,7 | 140,35 | 1047 | + 1 | 1048 | 3068 | + 33 | 1081 | 139 |
| 9 | 4/5 | 15,2 | 142,13 | 1069 | + 11 | 1080 | 2396 | - 20 | 1060 | 142 |
| IX | 7/8/5 | 14,4 | 139,03 | 1036 | - 5 | 1031 | 2795 | + 11 | 1042 | 145/146 |
| 10 | 10/11/5 | 15,0 | 140,52 | 1067 | + 3 | 1070 | 2513 | - 11 | 1059 | 148/149 |
| X | 15/5 | 14,5 | 141,14 | 1027 | + 6 | 1033 | 2850 | + 16 | 1049 | 153 |
| 11 | 18/5 | 15,14 | 140,51 | 1078 | + 3 | 1081 | 2500 | - 12 | 1069 | 156 |
| XI | 22/5 | 14,37 | 139,90 | 1024 | 0 | 1024 | 3187 | + 43 | 1067 | 160 |
| 12 | 25/5 | 14,87 | 139,50 | 1066 | - 3 | 1063 | 2581 | - 5 | 1058 | 163 |

dans la représentation (a, γ) et il nous a paru sans intérêt de les reporter sur ce diagramme.

4. Aperçu des résultats de la deuxième période.

A. — Particularités des relevés.

Sur les 42 séries de relevés mentionnées ci-dessus (§ I,5), 21 ont été exécutées au voisinage de 140 t/mn comme ceux de la première période, 11 au voisinage de 134 t/mn, les autres à des allures diverses.

L'assiette a varié dans de très larges limites (entre 0,88 et 2,73 m); les conditions météorologiques ont été assez mauvaises dans l'ensemble (un seul relevé par vent nul et mer belle) et très variables : dans de nombreux cas, il a été impossible de définir la force moyenne du vent, ni même sa direction dominante pour une traversée; enfin, cette période couvrant l'été et le début de l'automne, la température de l'eau de mer a varié fortement et assez irrégulièrement.

Ces circonstances, toutes défavorables, ont entraîné des difficultés qui seront mentionnées plus loin (§ 5) et l'analyse des relevés n'a pu être conduite avec la même rigueur que pour la première période. Les résultats sont donc moins sûrs, mais, au moins qualitativement, on peut retenir les suivants :

B. — Résultats qualitatifs.

a) Influence de la température.

Pendant la deuxième période, la température était, en moyenne, plus élevée d'environ 10° et il apparaît nettement que les γ sont plus faibles que ceux de la première période.

b) Influence de la salissure.

Il est certain que le taux d'accroissement de la salissure pendant la deuxième période a été plus élevé, de l'ordre du triple, de celui constaté au début de la première, tout en demeurant nettement plus faible que celui estimé à la fin de celle-ci.

Il semble donc exister, même avec une peinture fraîche, une influence saisonnière extrêmement marquée sur la salissure.

c) Influence de l'assiette.

Les résultats sont assez incertains, mais il semble bien que l'influence de l'assiette diffère suivant l'allure par rapport au vent : faible et plutôt défavorable par vent arrière, insensible par vent de travers, elle serait favorable par vent devant jusqu'à une certaine valeur (de l'ordre de 1,50 m pour le *Canigou*), mais deviendrait défavorable aux très fortes assiettes (cas du relevé à 2,73 m).

5. Difficultés rencontrées dans l'application.

Les difficultés de l'analyse tiennent à plusieurs causes.

a) Les influences des divers facteurs retenus sont d'ordres de grandeur comparables et, si certains d'entre eux présentent une corrélation fortuite (par exemple, si une certaine gamme de déplacements se rencontre surtout à une époque déterminée au lieu d'être régulièrement répartie dans le temps), l'influence apparente de ces facteurs n'est pas la même suivant l'ordre dans lequel on les considère; la nécessité d'une deuxième approximation découle de cette observation.

b) Certains facteurs présentent entre eux une corrélation appréciable : c'est le cas du déplacement et de l'assiette et, s'il est assez simple de définir par cette corrélation l'assiette « normale » correspondant à un déplacement donné, il n'est pas certain qu'un même écart d'assiette par rapport à cette assiette normale ait le même effet quel que soit la valeur du déplacement, considéré comme variable principale.

c) Il semble bien que certains facteurs ne présentant entre eux aucune corrélation ont cependant des influences dépendantes, l'exemple le plus net étant celui de l'assiette, dont l'effet serait différent suivant l'allure par rapport au vent et à la mer.

d) L'absence de mesure de la température de l'eau de mer, qui a obligé à ne retenir qu'un effet combiné de la température et de la salissure, n'est pas heureux, car la variation de la température n'est pas monotone comme celle de la salissure et introduit une dispersion sensible dans l'effet combiné.

e) L'appréciation des circonstances météorologiques est très subjective et leur définition par le vent seul (force absolue dans l'échelle Beaufort et direction relative au navire) constitue une approximation très grossière; malheureusement, l'aspect de la mer est très varié et il semble illusoire de chercher à le chiffrer, d'autant plus qu'il est douteux que l'influence de n'importe quelle mer soit additive avec celle de n'importe quel vent. Cette difficulté d'évaluer avec précision le facteur météorologique conduit à le traiter en dernier, son effet étant identifié au résidu lorsque tous les autres ont été corrigés, mais il est clair que ce résidu cumule aussi toutes les erreurs dont sont affectées les premières influences.

Les points qui viennent d'être énumérés jouent également sur γ et a ; pour ce dernier, une difficulté supplémentaire doit être signalée.

f) Les vitesses sont généralement des vitesses commerciales, mesurées avec une bonne précision en raison de la longue durée sur laquelle elles portent; moyennant quelques précautions, il en est de même du nombre de tours moyen correspondant, mais, si celui-ci a été fortement variable, l'avance par tour

moyenne qui s'en déduit n'est pas égale à l'avance par tour en régime au nombre de tours moyen; en outre, la vitesse est affectée d'un courant généralement mal connu et incomplètement corrigé en considérant l'aller et le retour; enfin il n'est pas rare que, sur la durée d'une traversée, le temps soit si variable qu'il soit impossible de définir les circonstances météorologiques auxquelles se rapporte l'avance par tour moyenne.

IV. — CONCLUSION

Les résultats développés ci-dessus nous paraissent démontrer que, avec des moyens simples mais un effort d'application du personnel chargé des mesures, on peut obtenir par une analyse élémentaire ne nécessitant pas un lourd appareil mathématique, des résultats intéressants sur le fonctionnement d'un navire en exploitation.

Nous souhaitons que l'exemple du *Canigou* incite beaucoup d'Armateurs ainsi que leur personnel navigant à entreprendre des études analogues. Nous pensons que des progrès notables peuvent être accomplis par rapport au premier jalon que nous avons posé.

Les difficultés mentionnées au § III, 5 ne sont pas dues à la méthode employée; elles existeraient au même degré avec la méthode statistique dont l'apparente rigueur mathématique ne doit pas faire illusion. Celle que nous avons adoptée exige de conserver à chaque étape un sens critique en éveil pour discriminer les anomalies résultant d'erreurs banales de celles qui permettent de mieux préciser la loi des phénomènes et n'est pas exempte d'erreurs d'appréciation de ce fait, mais elle n'en commet pas implicitement en noyant dans la masse certains relevés manifestement aberrants lorsqu'on les étudie individuellement.

En outre, alors que la méthode statistique se complique sérieusement dès que l'on suppose des influences non-linéaires ou dépendantes entre certains facteurs, la nôtre peut admettre sans difficulté supplémentaire des lois non susceptibles d'une définition mathématique élémentaire si celles-ci s'inscrivent avec une précision suffisante dans les relevés.

Quoi qu'il en soit, la voie qui nous paraît être celle du progrès et que nous allons esquisser dans le cadre de notre méthode serait également favorable à l'application de toute autre, la méthode statistique en particulier.

La condition essentielle serait de disposer d'un ensemble de mesures numériquement suffisant pour les répartir en groupes dans lesquels un seul paramètre varierait de façon notable. En se souvenant que le facteur météorologique est le plus difficile à définir avec précision, nous considérons comme un minimum un groupe de mesures par calme assez important pour pouvoir être subdivisé lui-même en sous-groupes dans chacun desquels la salissure varierait

seule, le déplacement et l'assiette y étant à peu près constants et un groupe de mesures par vent force 3, celle-ci étant choisie comme la plus facile à apprécier et bien représentative des vents modérés les plus fréquents.

Le premier groupe (calme) définirait avec précision les influences majeures : déplacement et salissure; le second permettrait de vérifier si les lois ainsi trouvées sont bien indépendantes du vent, ce qui est probable au moins en première approximation, et peut-être d'apprécier au moins qualitativement l'effet des modalités accompagnant le vent force 3 (direction et mer concomitantes). Tous les autres relevés étant corrigés suivant ces lois, on pourrait sans doute préciser l'action du vent au-dessous de la force 3, sinon au-dessus, domaine dans lequel il suffirait de savoir que, par les plus mauvais temps rencontrés (dont l'appréciation chiffrée est très subjective), l'influence météorologique a atteint une valeur déterminée.

Ce qui précède suppose implicitement qu'il n'existe que trois influences majeures : salissure, déplacement et vent. En effet, nous croyons que la multiplication du nombre des paramètres rendrait le problème insoluble et qu'on peut l'éviter en apportant des corrections fonction des paramètres négligés suivant des lois prédéterminées : telle est la correction du nombre de tours, connue avec une bonne approximation par les essais de recette et celle de la température de l'eau de mer dont l'influence sur la résistance de frottement est théoriquement connue. Un procédé analogue, appliqué au paramètre pseudo-constant pour corriger son effet suivant une loi grossièrement estimée, pourrait être utile pour réduire la dispersion dans les sous-groupes.

Là dernière étape de l'analyse consisterait à examiner les résidus les plus forts pour déterminer s'ils ont en commun certains domaines de variation des paramètres retenus ou négligés; dans l'affirmative, une correction supplémentaire s'en déduirait et améliorerait la cohérence d'ensemble.

Une question subsidiaire est celle de l'effectif utile pour chaque sous-groupe. Si la loi est linéaire et la dispersion généralement faible, nous pensons que 4 points bien alignés autorisent à éliminer sans scrupule un cinquième supposé aberrant, mais il ne semble pas qu'une loi plus complexe puisse être définie avec quelque certitude par moins de 10 points.

Pour satisfaire à cette condition, il est nécessaire de ne laisser échapper aucune occasion de mesure, particulièrement par calme et vent force 3, ce qui sous-entend que les mesures doivent être simples et rapides. On peut admettre que les mesures de puissance par la consommation, telles qu'elles ont été exécutées sur le *Canigou*, répondent à cette définition, mais elles introduisent la lourde sujétion de l'analyse de combustible et la dispersion correspondante, sans mentionner celle qui peut être due à une variation du rendement du moteur; une mesure torsiométrique, d'ailleurs seule possible sur un navire à turbines, serait bien préférable dans tous les cas. En ce qui concerne la vitesse, une traversée exécutée d'un bout à l'autre par calme plat ou vent rigoureusement

constant est rarissime et il n'est d'autre solution que d'utiliser un loch pendant les périodes favorables, ce qui présenterait le double avantage de permettre la synchronisation des mesures de puissance, nombre de tours et vitesse et d'éliminer l'effet du-courant. L'exactitude et la précision d'un loch à tube de Pitot étalonné ne sont pas douteuses par calme plat; elles demeurent à vérifier par mauvais temps [7], mais cette vérification serait possible sur le navire lui-même à l'aide de quelques observations convenables.

L'emploi de ces deux appareils, loch et torsiomètre, allègerait sensiblement la tâche du personnel embarqué, qui effectue les mesures en plus de son service normal, et leur prix est insignifiant devant celui du navire.

ANNEXE

INFLUENCE DE LA BARRE

Le *Canigou* a une très grande stabilité de route et de remarquables qualités manœuvrières. Le Commandant du *Canigou* a progressivement formé ses hommes, de telle sorte que, sauf par mauvais temps et embardées importantes, la route du navire soit tenue couramment avec des angles de barre au plus égaux à 2°; au cas même où le navire aurait fait une embardée de plusieurs degrés, il n'est ramené que très progressivement avec l'angle de barre minimum; on peut donc espérer éliminer pratiquement l'influence de la barre sur le nombre de tours et le coefficient de puissance. Il est évidemment très simple d'observer pendant quelques minutes la consigne contraire et de gouverner brutalement avec des angles de barre jamais inférieurs à 5°. Si l'on procède consécutivement à des mesures simultanées de nombre de tours d'hélice et de consommation du moteur principal, d'abord en gouvernant d'une manière aussi correcte que possible pendant une première série, ensuite en gouvernant brutalement pendant la série suivante, on peut espérer mettre en évidence l'influence de la barre.

Nous avons procédé à 6 séries doubles et à 13 séries triples de relevés consécutifs dans les conditions ainsi définies. Nous disposons donc de 32 mesures comparatives; nous en donnons dans le Tableau IV un exemple. Nous avons ainsi mis en évidence la chute relative $\frac{\Delta N}{N}$ du nombre de tours et la chute

relative $\frac{\Delta \Gamma}{\Gamma}$ du coefficient de puissance, en fonction de l'angle de barre. Le fait qu'il s'agit de mesures consécutives et de valeurs relatives a pour conséquence que le procédé de mesure de la puissance peut être quelconque, seule la précision des mesures est en cause.

Le dépouillement des résultats fait apparaître une dispersion assez forte : cette dispersion n'a rien d'étonnant si l'on considère, d'une part, l'incertitude de l'ordre du demi-degré au moins sur la valeur de l'angle de barre, d'autre part, le fait qu'il s'agit de résultats obtenus par différence, dans lesquels les erreurs absolues s'ajoutent. Malgré cette dispersion, les résultats se groupent bien autour des valeurs médianes et les moyennes arithmétiques sont proches de ces dernières.

TABLEAU IV — Cargo CANIGOU.

*Mesures en service.
Influence de la barre.*

| N° DE LA SÉRIE | TRAVERSÉE de à | DATE | MER | VENT | CAP | INDICE DE CHARGE | MESURE AVEC GOUVERNE CORRECTE (angle de barre < 2°) | | MESURES AVEC GOUVERNE INCORRECTE | | | CHUTES RELATIVES | |
|-----------------|-------------------------|---------|----------------|----------|------|------------------|---|---|----------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| | | | | | | | Nombre de tours N ₀ | Coefficient de puissance Γ ₀ | Angle de barre | Nombre de tours N ₁ | Coefficient de puissance Γ ₁ | du nombre de tours $\frac{N_1 - N_0}{N_0}$ | du coefficient de puissance $\frac{\Gamma_1 - \Gamma_0}{\Gamma_0}$ |
| 1 ^{re} | Mostaganem Port-Vendres | 20/4/57 | Belle | NE 1 | 20° | 6,7 | 144,89 | 787 | 7 à 8° | 144,44 | 794 | — 0,0032 | + 0,0100 |
| 5 ^e | Marseille Oran | 3/7/57 | Agitée du vent | ESE 4 | 208° | 6,7 | 143,54 | 769 | 5 à 7° | 143,07 | 775 | — 0,0033 | + 0,0076 |
| 6 ^e | Oran Port-Vendres | 5/7/57 | Belle | NE 1 | 29° | 6,7 | 143,76 | 767 | 5 à 7° | 143,11 | 774 | — 0,0038 | + 0,0076 |
| 7 ^e | Marseille Oran | 10/7/57 | Belle | 0 à SW 2 | 230° | 6,7 | 144,63 | 760 | 5° | 144,12 | 770 | — 0,0035 | + 0,0142 |
| 8 ^e | Oran Port-Vendres | 12/7/57 | Agitée du vent | SSW 2/3 | 15° | 6,2 | 140,85 | 743 | 10° | 142,46 | 781 | — 0,0150 | + 0,0283 |
| | | | | | | | | | 5° | 140,52 | 745 | — 0,0024 | + 0,0026 |
| | | | | | | | | | 10° | 139,05 | 762 | — 0,0128 | + 0,0263 |

Les figures 10 et 11 représentent ces résultats en fonction de l'angle de barre : nous avons supposé en première approximation que l'influence des faibles angles de barre (inférieurs ou au plus égaux à 2°) était négligeable; nous avons donc tracé une courbe tangente à l'origine à l'axe des angles de barre

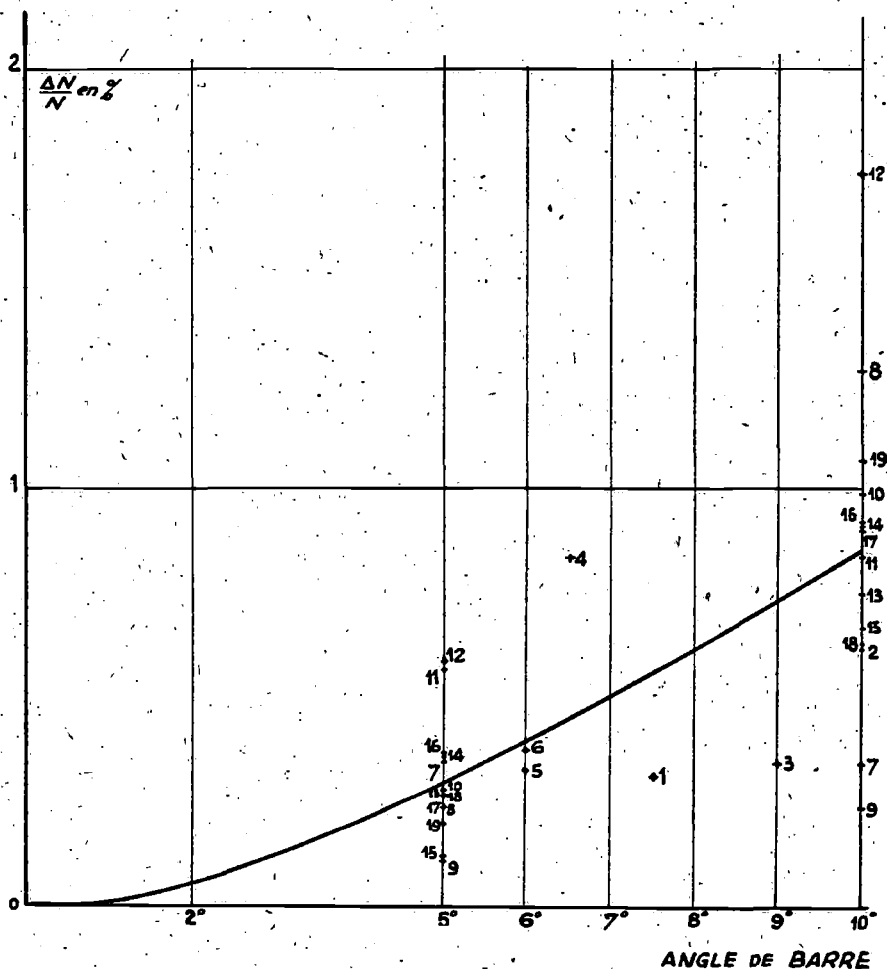


FIG. 10. — Canigou.

Mesures en cours d'exploitation. Influence de l'angle de la barre.
Variation relative du nombre de tours.

et passant par les points moyens. Ces courbes balancent assez bien l'ensemble des résultats.

Une telle façon de faire n'est légitime que dans la mesure où l'influence des faibles angles de barre est réellement négligeable; en interpolant graphiquement et par le calcul, on trouve dans les deux cas des chutes relatives qui

sont inférieures à 0,6 pour mille pour le nombre de tours et à 1,4 pour mille pour le coefficient de puissance, pour un angle de barre de 2°, ce qui confirme la validité de l'approximation faite.

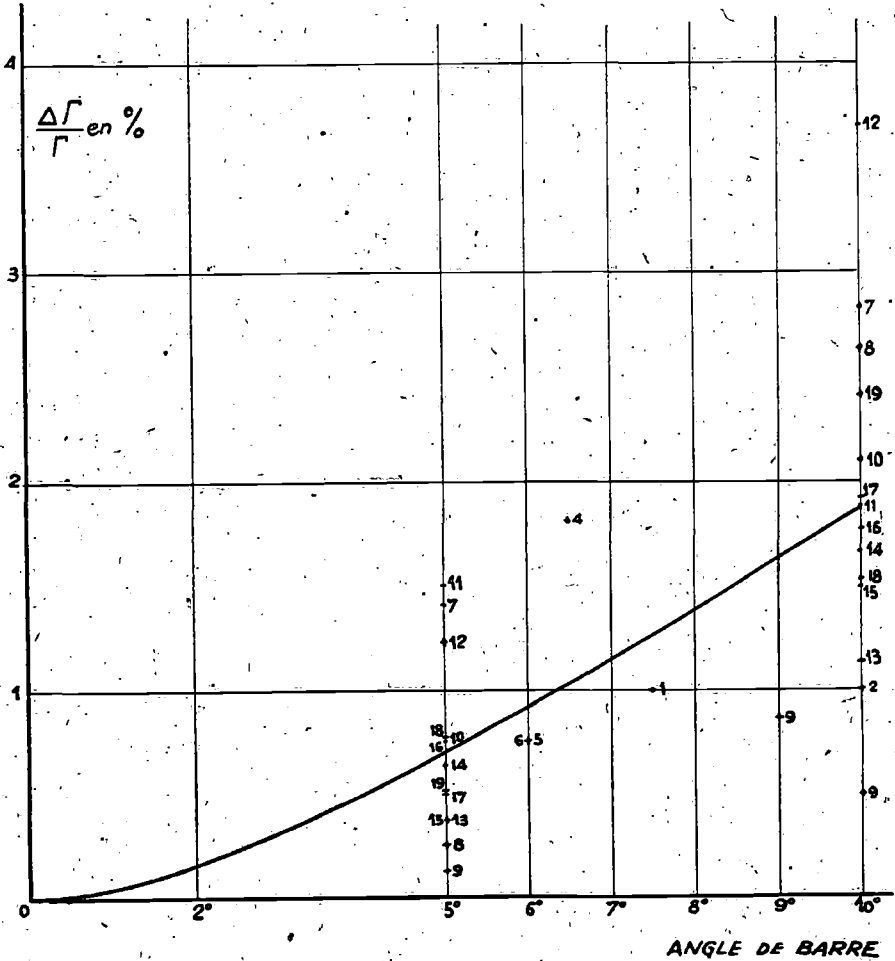


Fig. 11. — Canigou.

Mesures en cours d'exploitation. Influence de l'angle de la barre.
Variation relative du coefficient de puissance.

Les influences moyennes sont :

— pour un angle de barre de 5° de l'ordre de :

0,3 % sur le nombre de tours, et de
0,85 % sur le coefficient de puissance;

— pour un angle de barre de 10° de l'ordre de :

0,7 % sur le nombre de tours, et de

1,9 % sur le coefficient de puissance.

On peut observer que, du fait de la variation dissymétrique apportée dans le sillage par la présence du gouvernail en position inclinée, la caractéristique qui relie l'avance par tour a au coefficient de puissance γ est certainement perturbée dans un sens défavorable, c'est-à-dire que la perte de vitesse :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta N}{N}$$

est supérieure à ce que laisseraient supposer les seules pertes

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} \text{ et } \frac{\Delta N}{N}$$

On peut conclure de ces résultats que, pour des angles de barre de l'ordre de 2°, l'influence reste très faible; pour des navires de commerce, l'influence sur la vitesse est très probablement inférieure à deux millièmes en valeur relative, c'est-à-dire de l'ordre de quelques centièmes de nœud. Ceci justifie la règle usuelle d'après laquelle pendant les essais de recette, il faut s'efforcer de ne pas mettre plus de 2° de barre au cours des mesures sur base.

Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, les mesures que nous avons dépouillées sont dispersées et nous ne nous faisons pas d'illusion sur leur précision. Elles donnent toutefois des valeurs dans un domaine que nous ne croyons pas encore exploré. Nous souhaitons que des mesures d'influence de l'angle de barre puissent être effectuées sur des navires munis de pilote automatique où la précision et la cohérence des mesures seraient certainement beaucoup plus grandes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRARD et JOURDAIN. — Critique des essais à la mer, A. T. M. A. 1953.
- [2] CLEMENTS. — A method of analysing voyage data — N. E. C. I. 1957.
- [3] SILOVIC et FANCEV. — Paquebots côtiers du type OSIEK : Essais à la mer et analyse des résultats en service. A. T. M. A. 1957.
- [4] AERTSSEN. — Further sea trials on the LUBUMBASHI. I. N. A. 1957.
- [5] HARVALD. — Wake of merchant ships. The Danish Technical Press. Copenhagen, 1950.
- [6] BONEBAKKER. — Analysis of model experiments, trial and service performance data of a single-screw tanker. N. E. C. I. Vol. 70. 1954.
- [7] JOURDAIN. — Possibilités d'emploi du loch aux essais à la mer. A. T. M. A. 1956.

