

DETERMINATION RAPIDE DES CARACTERISTIQUES DES HELICES DE REMORQUEURS.

Par M. V. ALBIACH,

Ingénieur en Chef, Directeur Général du Bureau Véritas.

Résumé :

Le présent mémoire est extrait d'une étude sur les remorqueurs effectuée par M. V. Albiach alors qu'il était sous-Directeur aux Forges et Chantiers de la Gironde.

La première partie de cette étude est principalement consacrée à la détermination des dimensions principales, du déplacement, des capacités des soutes, en fait, des caractéristiques principales de la coque en fonction de la puissance prévue pour le remorqueur, du type de celui-ci (remorqueur de sauvetage, remorqueur de port, etc.) et de la machine prévue (moteur Diesel, machine à vapeur, etc.).

La considération d'un grand nombre de remorqueurs existants, a permis à l'auteur d'établir en fonction des facteurs indiqués ci-dessus, des courbes donnant les principales caractéristiques de la coque.

La deuxième partie de cette étude traite de la détermination rapide des hélices des remorqueurs en fonction des mêmes facteurs que ceux considérés pour déterminer les caractéristiques de la coque.

Elle fait l'objet du présent exposé qui est, en fait, un résumé reproduisant les points les plus importants et les résultats de nombreux essais sur réel effectués par l'auteur.

I. Généralités.

Le but essentiel des remorqueurs est de pouvoir exercer une traction de valeur bien déterminée sur le croc de remorque.

La valeur de cette traction n'est cependant pas toujours la seule caractéristique à partir de laquelle sont déterminées les dimensions des hélices des remorqueurs. C'est ainsi que les remorqueurs de sauvetage doivent posséder, outre une valeur élevée de l'effort de traction aux faibles vitesses, une vitesse élevée en route libre; ceci afin de leur permettre de se porter rapidement au secours des navires en péril.

Pour les autres types de remorqueurs (remorqueurs de port, remorqueurs côtiers, remorqueurs pour la navigation intérieure), les conditions de fonctionnement au cours du remorquage sont seules à considérer essentiellement, le régime en route libre n'ayant qu'une importance secondaire.

Les remorqueurs sont généralement caractérisés par leur puissance; ce facteur ne permet cependant pas à lui seul de déterminer ni les caractéristiques de coque, ni les caractéristiques propulsives des remorqueurs.

En ce qui concerne ce dernier point, le seul envisagé dans le présent exposé, l'indication de la puissance devrait être complétée par celle de la nature de la machine, ainsi que, dans une moindre mesure, de la vitesse de remorquage prévue pour la charge à remorquer correspondante.

En ce qui concerne l'appareil moteur, il convient de remarquer que certains types de moteurs présentent une souplesse de fonctionnement qui permet de conserver la même puissance pour des régimes très différents.

C'est ainsi que la machine à vapeur (généralement à triple expansion pour les remorqueurs) permet, en agissant sur le registre ou sur la durée de l'admission, de conserver au régime de rotation réduit qui correspond au remorquage une puissance voisine, ou même égale, à la puissance en route libre. Il en est encore de même dans la solution Diesel-électrique, où la puissance maximum peut être conservée au cours du remorquage en agissant sur l'excitation des moteurs électriques accouplés à l'hélice. D'autres dispositions, telles que celle réalisée par les appareils Pescara, qui consistent en générateurs à pistons opposés fonctionnant suivant le cycle Diesel, le mélange des gaz d'échappement et de l'air de balayage étant ensuite détendu dans une turbine à gaz attelée par réducteur sur l'arbre porte-hélice, permettent de conserver au cours du remorquage une puissance voisine de la puissance maximum développée en route libre.

Par contre, le moteur Diesel, qui est fréquemment utilisé à cause des avantages qu'il présente en ce qui concerne le poids, l'encombrement et la consommation, ne présente pas la même souplesse de fonctionnement. On sait, en effet, que le moteur Diesel se prête mal à la surcharge, le couple moteur étant limité par la pression moyenne à laquelle correspond une température maximum admissible pour les culasses.

Un remorqueur muni d'un moteur Diesel devrait en fait, en ce qui concerne ses qualités propulsives au cours du remorquage, être caractérisé par sa puissance de remorquage, sensiblement inférieure à sa puissance maximum en route libre (la réduction de puissance étant de l'ordre de 30 %).

Quant à la vitesse de remorquage, celle-ci ne présente qu'un intérêt secondaire étant donné, d'une part que la résistance propre du remorqueur est très faible vis-à-vis de l'effort de traction à exercer et que, du fait de la valeur très faible de la vitesse de remorquage, les conditions de fonctionnement au cours du remorquage se rapprochent de celles de l'hélice au point fixe.

En pratique, seul est considéré le fonctionnement des hélices au point fixe, étant bien entendu que, dans certains cas particuliers tels que celui des remorqueurs de sauvetage le fonctionnement en route libre est également considéré afin d'assurer à l'hélice à ce régime un rendement suffisant permettant au remorqueur d'atteindre une vitesse élevée. La réalisation de cette condition, tout en conservant une forte traction de remorquage, s'obtient généralement par un compromis entre la meilleure hélice au point fixe et la meilleure hélice en route libre.

Lors du fonctionnement au point fixe, la charge des hélices est notablement plus élevée que celle qui correspond au fonctionnement en route libre. Il y a donc lieu de s'assurer, pour chacune des hélices envisagées, que les conditions de fonctionnement prévues ne donnent pas lieu au phénomène de cavitation.

En effet, on ne peut admettre le fonctionnement avec cavitation que dans des conditions bien définies correspondant à une exploitation de faible durée, ce qui n'est pas le cas des remorqueurs appelés à fonctionner la plupart du temps sous une forte charge.

II. Calcul des hélices par la méthode de Froude.

A première vue, rien ne s'oppose à ce que les formules de Froude, très souvent utilisées pour le calcul des hélices en route libre, ne soient étendues au cas du fonctionnement des hélices au point fixe. Cependant, leur utilisation ne permet généralement pas de déterminer de façon satisfaisante les

caractéristiques d'une hélice appelée à fonctionner au point fixe.

D'après Froude, la poussée développée par une hélice en eau libre est donnée par la formule :

$$P = Bp (p + 21) N^2 D^4 v_e$$

dans laquelle :

N est le nombre de centaines de tours par minute;

D est le diamètre de l'hélice en mètres;

B est un coefficient variant avec le type d'hélice et la fraction de surface développée.

p est le rapport du pas effectif au diamètre* = $\frac{He}{D}$

le pas effectif étant le pas géométrique d'une hélice idéale à ailes infiniment minces, fonctionnant sans frottement, qui donnerait pour le nombre de tour correspondant à une poussée nulle de l'hélice considérée, une poussée également nulle dans les mêmes conditions de fonctionnement. Ce pas effectif peut approximativement être pris égal à :

$$H \left(1 + \frac{0,7 n e}{f H} \right)$$

où :

H est le pas géométrique de l'hélice;

n le nombre de pales;

e l'épaisseur de l'hélice au demi-rayon;

f la fraction de surface développée;

est le recul effectif qui est lié au pas effectif par la relation:

$$v_e = \frac{He - a}{He}$$

a étant l'avance par tour qui s'exprime en fonction de « v » vitesse de translation en eau libre en mètres/seconde par la relation suivante :

$$a = \frac{0,6 v}{N} = He (1 - v_e)$$

La puissance effective « F », disponible sur l'arbre pour une hélice fonctionnant en eau libre à la vitesse de translation « v », s'exprime en fonction de la poussée par :

$$F = \frac{P v}{75 \rho}$$

ρ étant le rendement de l'hélice en eau libre à la vitesse d'avance v ; cette dernière expression peut encore se mettre sous la forme :

$$F = \frac{P}{0,6 \times 75} N_p D \frac{(1 - v_c)}{\rho}$$

Il en résulte, en définitive, que la poussée P d'une hélice en eau libre doit satisfaire aux deux relations :

$$P = B p (p + 21) N^2 D^4 v_c$$

$$P = \frac{45 F}{N p D} \times \frac{\rho}{1 - v_c}$$

Les valeurs de ρ sont données par des abaques établis par Froude en fonction du recul effectif et du pas relatif.

Ces formules sont encore valables dans le cas d'une hélice fonctionnant derrière une coque de navire, l'expérience montrant que les deux formules fondamentales ci-dessus sont simultanément vérifiées pour une valeur unique du coefficient de sillage « w », la vitesse « v » considérée étant alors prise égale à $V (1 - w)$.

V étant la vitesse d'avancement du navire.

Lorsque l'on veut étendre les formules ci-dessus aux hélices fonctionnant au point fixe, on s'aperçoit que les valeurs de déduite de la première équation

$$P = B p (p + 21) N^2 D^4 v_c$$

varient de 0,65 à 0,85 suivant le type de navire et le type d'hélice et leur disposition relative, la valeur moyenne de v_c étant égale à 0,75.

A cette valeur de v_c correspondrait une valeur fictive de la vitesse d'entrée égale à

$$\frac{N}{0,6} H_c (1 - v_c) = v'$$

cette vitesse v' correspondrait en fait à un sillage négatif.

On pourrait de même définir un rendement (d'ailleurs conventionnel) de l'hélice par la relation $\rho = \frac{P v'}{75 F}$

On s'aperçoit cependant que les valeurs de ρ déduites des abaques de Froude diffèrent sensiblement de celles qui découlent de l'expression ci-dessus; il est donc certain que le fonctionnement de l'hélice au point fixe est nettement différent de celui de l'hélice en eau libre, ce qui a conduit à

abandonner, dans le cas de fonctionnement au point fixe, la méthode de calcul de Froude.

Il n'en est pas moins vrai qu'il serait possible de calculer la poussée d'une hélice au point fixe au moyen de la première formule de Froude

$$P = B p (p + 21) N^2 D^4 v_e$$

v_e étant donnée par des formules empiriques du type de celles utilisées pour la détermination du sillage en fonction des caractéristiques de la carène et de la disposition des hélices.

III. Calcul des hélices au point fixe au moyen des invariants caractéristiques du fonctionnement.

La considération des invariants déduits de la théorie de la similitude utilisés dans l'étude des turbo-machines, conduit à des résultats beaucoup plus satisfaisants permettant de dégrossir très rapidement, avec une bonne précision (de l'ordre de 3 %), le problème du fonctionnement des hélices au point fixe. Bien entendu, des essais au bassin restent nécessaires pour établir des calculs précis.

L'auteur a établi, après analyse de nombreux essais sur réel, sous forme d'abaques, les invariants caractéristiques du fonctionnement au point fixe. On sait que, dans la limite où les phénomènes hydrauliques considérés obéissent à la similitude pesante, c'est-à-dire pour des régimes où les phénomènes de viscosité et de cavitation ne présentent pas une importance prépondérante, à deux turbo-machines géométriquement semblables, fonctionnant dans des conditions de similitude cinématique, correspondent un certain nombre d'invariants dont les expressions les plus connues sont celles qui ont été adoptées par Rateau.

Pouvoir manométrique $u = \frac{gh}{u^2} \quad (1)$

Pouvoir débitant $\delta = \frac{Q}{u r^2} \quad (2)$

Coefficient de puissance $\tau = \frac{g W_a}{\varpi u^3 r^2} \quad (3)$

Rendement $\eta = \frac{\varpi Q h}{W_a} \quad (4)$

Ouverture réduite $\alpha = \frac{O}{r^2} \quad (5)$

dans lesquelles :

- h = hauteur manométrique;
- r = rayon de la roue;
- u = vitesse périphérique;
- ϖ = poids spécifique du fluide;
- Q = débit en volume;
- W_a = puissance absorbée sur l'arbre;
- O = ouverture du circuit.

Le coefficient de puissance τ peut être remplacé par le coefficient généralement considéré dans l'étude des hélices :

$$C_F = \frac{F}{\rho N^3 D^5}$$

dans lequel :

- F est la puissance sur l'arbre de l'hélice;
- ρ la masse spécifique du fluide;
- N le nombre de centaines de tours par minute;
- D le diamètre de l'hélice

et le pouvoir débitant δ par $C_P = \frac{P}{\rho N^2 D^4}$

P étant la poussée s'exerçant sur l'arbre.

Si l'on se rappelle que, par suite de la similitude géométrique et cinématique, la poussée P est de la forme $\alpha \rho Q u$ α étant un coefficient sans dimension caractéristique de la famille d'hélices considérées.

L'expérience montre que, pour un type d'hélice donné, travaillant derrière une coque de remorqueur de formes normales, dans une limite assez étendue du nombre de tours, les valeurs de C_F et C_P sont constantes si les conditions de similitude cinématique sont réalisées, ce qui est évidemment le cas pour des hélices fonctionnant au point fixe. Ceci se conçoit d'ailleurs, étant donné que pour des hélices usuelles, le fonctionnement au point fixe à faible allure ne présente aucun intérêt, et que le fonctionnement avec cavitation est évité autant que possible par une détermination judicieuse de leurs caractéristiques.

Il apparaît donc judicieux, pour le calcul de ces caractéristiques, d'établir un abaque donnant les valeurs de C_P et de C_F en fonction des variables définissant les différentes

familles d'hélices (surface développée f et pas géométrique H —).

D

Il y aurait lieu également de faire intervenir le rapport du diamètre de l'hélice à l'épaisseur de l'aile, ou de tenir compte de l'épaisseur en substituant au pas géométrique une expression analogue à celle du pas effectif. Cependant, l'expérience montre que, pour les hélices usuelles fonctionnant au point fixe, l'influence de l'épaisseur « e » est relativement faible; c'est la raison pour laquelle, dans l'abaque représenté (fig. 1), on a adopté le pas géométrique dans un but de simplification.

Cet abaque permet la résolution immédiate des différents problèmes qui se posent dans la détermination des caractéristiques des hélices des remorqueurs. Il est établi, pour des hélices à 4 ailes, les corrections à apporter dans le cas des hélices à 3 ailes étant indiquées sous forme de coefficient sur la même figure.

Le tableau (I) ci-annexé résume les résultats d'essais de différents remorqueurs, avec les valeurs de C_P , et C_F comparées à celles que donne l'abaque. Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, l'application de cet abaque au cas d'une hélice dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Diamètre } D &= 2 \text{ m.} \\ \text{Pas géométrique } H &= 2,1 \text{ m.} \\ \text{Nombre d'ailes : } &4 \\ \text{Surface développée} & \\ \hline &= 0,64 \\ \text{Surface du disque} & \end{aligned}$$

$$\text{On a } H/D = \frac{2,1}{2} = 1,05$$

l'abaque donne, pour cette hélice $C_P = 140$
 $C_F = 3$

a) **Fonctionnement à puissance constante.** — Si nous supposons que la machine puisse fonctionner à puissance constante en route libre et au point fixe et soit 280 CV la puissance effective disponible à l'hélice, nous déduisons de la valeur de C_F donnée par l'abaque :

$$N = \sqrt[3]{\frac{F}{C_F D^5}} = \sqrt[3]{\frac{280}{3 \times 2^5}} = 1,425$$

soit 142,5 tours/minute.

En partant de cette valeur dans la formule donnant le coefficient de poussée, on déduit :

$$P = C_p N^2 D^4 = 140 \times 1,425^2 \times 2^4 = 4.550 \text{ kg.}$$

Cette hélice est celle d'un remorqueur qui a donné aux essais une traction de 4.500 kg. à 142 tours, en développant une puissance indiquée de 360 CV. La puissance effective tenant compte du rendement de la machine et de la ligne d'arbre était de 290 CV. On constate donc une concordance satisfaisante entre les résultats de l'essai et de l'étude effectuée à l'aide de l'abaque.

b) **Fonctionnement à couple constant.** — Si nous supposons que le couple en route libre ne puisse être dépassé au point fixe, et si le rapport $\frac{F}{N}$ proportionnel au couple est par

exemple égal à 160 (valeur mesurée sur un remorqueur à sa puissance normale 310 CV eff. à 194 t/m au cours des essais en route libre à pleine puissance), nous déduisons du rapport ci-dessus : $F' = 160 N'$.

Si nous introduisons cette valeur dans l'expression donnant le coefficient de puissance, nous obtenons :

$$N = \sqrt{\frac{160}{3 \times 2^5}} = 1,29, \text{ soit } 129 \text{ tours par minute.}$$

La puissance correspondante déduite de la relation est égale à $140 \times 1,29^2 \times 2^4 = 3.740 \text{ kg.}$

On a obtenu, aux essais de ce remorqueur, une traction au point fixe de 3.850 kg. à 130 tours, avec une puissance indiquée de 275 CV indiqué.

IV. Cavitation des hélices au point fixe.

Tout ce qui a été dit précédemment suppose que l'hélice fonctionne au point fixe dans des conditions de non cavitation; le calcul des hélices appelées à fonctionner au point fixe doit donc s'accompagner de la vérification des conditions de non cavitation au point fixe.

A cet effet, l'auteur utilise la formule de POINCET :

$$K < 0,22 \sqrt{v}$$

K étant la pression en kg/cm² sur la surface développée des ailes et v étant la vitesse d'entrée de l'eau à l'hélice en mètre/seconde.

Cette formule, d'origine expérimentale, est sensiblement différentes de formules plus modernes (en particulier celle de M. l'Ingénieur Principal du Génie Maritime Laurent)

établissant une relation entre le coefficient $\frac{\varpi}{p-c}$ et $\delta_o f$

ϖ étant la poussée unitaire rapportée à la surface développée.

p la pression absolue à l'infini sur l'axe d'hélice.

c la tension de vapeur de l'eau.

$$\delta_o \text{ l'invariant d'Ackeret} = \frac{p-c}{q}$$

$$q = 1/2 \rho v^2$$

ρ la masse spécifique de l'eau.

v la vitesse d'arrivée d'eau à l'hélice (corrigée du sillage).

Cependant, pour les conditions de fonctionnement considérées ici, c'est-à-dire dans le cas de l'hélice au point fixe, la formule de Poincet donne les résultats les plus satisfaisants ce qui tient probablement au fait qu'elle a été établie à la suite de nombreux essais comportant notamment des essais au point fixe (sur les sous-marins Charles Brun et Curie). Pour les faibles reculs et les grandes vitesses, elle présente des divergences très sensibles avec les résultats donnés par les études modernes établies principalement pour des hélices peu chargées pour lesquelles le coefficient $\delta_o f$ a des valeurs relativement faibles bien inférieures aux valeurs élevées (de l'ordre de 15 à 400) que prend ce même coefficient dans le cas des hélices fonctionnant au point fixe.

En conclusion, il semble que la formule de Poincet donne une image correcte des valeurs de la poussée limite de cavitation à ne pas dépasser pour les forts reculs.

Des facteurs correctifs devraient éventuellement être considérés pour tenir compte de l'immersion de l'hélice et de la température de l'eau; cependant, dans le cas qui nous occupe, l'immersion moyenne variant peu (sauf dans le cas des hélices sous voûte), la formule de Poincet semble pouvoir être adoptée dans sa forme originale.

L'application de cette formule nécessite la connaissance

de la valeur de « v ». Celle-ci peut être prise (comme conséquence des remarques faites lors de l'étude de la formule de Froude) égale à 0,73 si l'on rapporte le recul au point fixe au pas géométrique, ce qui revient à adopter la valeur moyenne du recul rapporté au pas effectif égale à 0,75 (on sait en effet que le rapport entre H_e et ih est voisin de 1,1).

N

Dès lors $v = \frac{N}{0,6} p D \times 0,27 = 0,45 N p D$ (p étant le pas relatif géométrique).

$$\text{D'autre part, } K = \frac{P}{10.000 f \frac{\pi D^2}{4}}$$

Si nous remplaçons la poussée P par l'expression $C_p N^2 D^4$, la formule de Poincet se transforme en la relation

$$ND < \frac{110 f^{2/3} p^{1/3}}{C p^{2/3}}$$

dans laquelle le second membre est seulement fonction des proportions de l'hélice. Il est donc facile de tracer un abaque donnant, en fonction de p et pour chaque valeur de f , la valeur maxima de ND au-delà de laquelle il y a risque de cavitation. Cet abaque fait l'objet de la figure 2.

Il y a évidemment lieu, en utilisant cette formule de garder une marge de sécurité convenable étant donné le caractère approximatif de cette formule. D'autre part, il faut s'attacher en pratique à obtenir la plus grande immersion possible de l'hélice.

Il y a lieu d'observer que les hélices normales, dont les conditions de non cavitation au point fixe sont satisfaites, satisferont également à ces conditions en fonctionnement en route libre car, dans ces dernières conditions, l'hélice sera normalement moins chargée (diminution de K), et en outre la vitesse v sera plus grande. Ceci suppose évidemment que l'hélice au point fixe absorbe une puissance, sinon égale, du moins assez voisine de la puissance normale de l'appareil moteur, ce qui pratiquement est toujours le cas.

Détermination de l'hélice de caractéristique optima. — En nous basant sur les résultats obtenus ci-dessus, nous indique-

rons rapidement les différentes opérations conduisant à la détermination des hélices des remorqueurs.

Nous considérerons d'abord le cas le plus complexe, qui est celui de la détermination de **l'hélice d'un remorqueur de haute mer**. Dans ce cas, l'hélice doit présenter, outre des qualités de bon fonctionnement au point fixe, un rendement élevé en route libre.

Dans ce cas, la façon normale de procéder consiste à rechercher tout d'abord les performances réalisables en route libre, en écartant a priori les hélices présentant des risques de cavitation au point fixe, l'examen des performances des hélices ainsi sélectionnées dans les conditions de fonctionnement au point fixe permettant ensuite de choisir celle qui réalisera le meilleur compromis.

Considérons, par exemple, le cas d'un remorqueur à vapeur de 600 CV, à l'allure de 120 tours/minute, et supposons d'abord que les caractéristiques de la machine soient telles que cette puissance puisse encore être obtenue à l'allure de 90 tours par minute.

La connaissance du type de remorqueur considéré et de la puissance permet de déterminer les caractéristiques principales de la carène (cf l'introduction à la présente étude); on peut donc tracer pour ce remorqueur, en fonction de la vitesse, la courbe de résistance totale, donc la courbe de poussée à produire par l'hélice, compte tenu de la succion ainsi que des différentes majorations pour appendices, salisures et vent.

Nous pouvons ainsi tracer finalement la courbe représentée fig. 3, dans laquelle les abscisses sont les vitesses corrigées du sillage exprimées en m/seconde et les ordonnées, les poussées à produire succion comprise.

a) **Route libre.** — Si nous admettons, pour le rendement organique de la machine et pour le rendement de la ligne d'arbre, des valeurs respectivement égales à 87 % et 96 %, la puissance effective à l'hélice est égale à 490 CVE.

Par comparaison avec d'autres navires, le diamètre de l'hélice sera de l'ordre de 3 mètres. (Nous supposons que le tirant d'eau du remorqueur permet l'emploi d'hélices de tels diamètres). Nous adopterons a priori une hélice à 4 pales qui, en général, donne une meilleure traction au point fixe.

Tableau I.

Caractéristique des hélices		Sous-marins		« Draque »	Remorqueurs			Remorqueur « BALAGUIER »	300 cv Allemand	600 cv Allemand	1.000 cv Allemand	Remorqueur « CHAMPION »				Remorqueurs « ATTENTIF », « APPLIQUÉ »			Remorqueurs de 300 cv						« PEN-HIR » 300 cv		2.000 cv Allemand	2.000 cv						
		« CURIE »	« CHARLES BRUN »		de 110 cv « EL HANK »							Remorqueur « CHAMPION »				Remorqueurs « ATTENTIF », « APPLIQUÉ »			« ARGENS »			« GAPEAU »			« PEN-HIR » 300 cv									
Rendement d'essai admis	Matière	Br			Br	Br			Br	F	Br	Br	Br				Br			Br			Br			Br	Br	Br	Br					
	Diamètre	D	1,500	1,600		1,25	1,250			1,500	1,850	3,00	3,20	3,400				3,400			1,930			1,930			2,000	3,200	3,400					
	Pas géométrique	H	1,340	1,500		1,55	1,520			1,04	2,025	3,30	3,52	2,275				2,900			1,670			1,670			2,100	3,900	3,270					
	Nombre d'ailes	N	3	3		4	4			3	4	4	4	4				3			4			4			4	4	3					
	Formes des ailes		ellip	ellip		W. T.	W. T.			W. T.	W. T.	W. T.	W. T.	W. T.				W. T.			W. T.			W. T.			W. T.	ellip						
	Epaisseur au ½ R	e	—	—		0,022	0,022			0,021	0,060	0,060	0,065	0,055				0,035			0,035			0,033			0,080	0,057						
	Fractions de surface développée	f	0,594	0,35		0,65	0,65			0,54	0,50	0,50	0,52	0,57				0,45			0,6			0,6			0,642	0,515	0,45					
	Pas effectif	$He = H \left(1 + 0,7 \frac{nc}{fH} \right) = He$	1,340	1,700		1,645	1,615			1,120	3,64	3,64	3,87	2,545				3,20			1,830			1,830			2,240	4,300	3,536					
	Pas relatif	$\frac{He}{D} = p$	0,95	1,060		1,315	1,29			0,15	1,21	1,21	1,21	0,75				0,941			0,95			0,95			1,120	1,35	1,04					
	Coefficient de poussée Froude	B	5,82	5,34		7,2	7,2			6,125	6,9	6,9	6,95	6,6				6,01			7,15			7,15			7,15	6,93	5,6					
	Nombre de tours minute	100 N	112	172	202	145	163	217	196	210	220	195	220	235	149,5	92	92	107	116	118	119	90	95	102	158	165	168	170	164	169	130	142	85,9	101,5
	Puissance indiquée	F1	21,5	78,7	128	62	90	147	103	132	155	78,5	109,5	144	299	612	960	707	908	976	1009	660	800	1010	250	290	305	314	284	323	275	362	1900	2190
	Traction au point fixe	P	650	1500	2070	1240	1550	1820	1550	1750	1920	1275	1700	2020	3870	8820	12200	11100	13500	14200	14500	10000	11250	23300	3700	3950	4250	4400	3750	4200	3850	4510	23000	27300
	Ligne d'arbres	fa	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
	Machine	fm	—	—	—	—	—	0,85	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,85	0,86	0,87	0,87	0,86	0,87	0,83	0,85	0,87	0,87
Puissance absorbée par l'hélice	F	20,6	75,5	123	59,5	86	119	82	105,5	125	63,5	89,5	119	247	506	792	578	750	807	833	539	660	833	202	237	252	259	232	266	217	292	785	906	
Recul effectif	$\frac{P}{B_p (p + 21) N^2 D^4} = v_e$	0,845	0,822	0,823	0,72	0,715	0,750	0,796	0,78	0,78	0,66	0,69	0,71	0,78	0,694	0,74	0,675	0,70	0,71	0,71	0,77	0,78	0,80	0,716	0,705	0,730	0,736	0,68	0,712	0,80	0,785	0,71	0,784	
Rendement hélice	$\frac{P}{F \frac{75}{0,6}} \times \frac{N}{He (1 - v_e)} = \rho$	0,175	0,194	0,191	0,325	0,315	0,304	0,27	0,275	0,267	0,331	0,338	0,29	0,250	0,395	0,347	0,378	0,353	0,340	0,341	0,265	0,247	0,226	0,334	0,315	0,31	0,31	0,344	0,312	0,234	0,236	0,350	0,257	
Rendement d'après courbes Froude	$\rho \frac{F}{H} \frac{H}{D}$	0,155	0,155	0,155	0,300	0,304	0,21	0,163	0,17	0,17	0,365	0,315	0,29	0,18	0,28	0,235	0,320	0,30	0,29	0,29	0,24	0,23	0,21	0,285	0,295	0,27	0,265	0,325	0,285	0,175	0,185	0,270	0,235	
Pas relatif géométrique	$\frac{H}{D}$	0,894	0,94		1,24	1,215			0,693	1,095	1,1	1,1	0,67				0,855			0,865			0,865			1,05	1,22	0,96						
$C_p = \frac{P}{N^2 D^4}$ d'après les essais		102,5	100,5	100,3	90	89	158	165	163	162	66	695	72,2	148	129	137	73	75	76,5	76,5	92,5	93,5	95	106,5	104	108	109	100	105,5	142	139	148	101	
C_p d'après l'abaque	C_p	102			91		166	163			72,5			146	129	132	76,5				89,7			108			141			145	100,5			
$C_F = \frac{F}{N^3 D^5}$ d'après les essais		1,93	1,95	1,96	1,85	1,88	3,82	3,6	3,85	3,85	1,13	1,10	1,2	3,4	2,68	3,02	1,04	1,05	1,08	1,09	1,63	1,68	1,72	1,91	1,96	1,98	1,97	1,95	2,04	3,08	3,15	3,68	1,96	
C_F d'après l'abaque	C_F	2,00			1,83		4	3,86			1,15			3,22	2,79	2,86	1,11				1,672			1,99			3,02			3,35	2,02			
N calculé d'après l'abaque $N = \sqrt[3]{\frac{F}{C_F D^5}}$		110,5	170,5	201	145,5	164	214	191	208	220	193,5	217	239	152	91	93,5	105	114	117	118	89	95	103	153	164	168	169	163	170	131	144	88,5	99,5	
P calculé d'après l'abaque $P = C_p N^2 D^4$		630	1500	2090	1260	1600	1850	1450	1720	1920	1370	1730	2100	3950	8650	12100	11500	13500	14250	14500	9500	10800	12700	3060	4050	4260	4300	4000	4359	3870	4660	11800 ×2 = 23600	13400 ×2 = 26800	

La première opération consiste à établir les conditions de fonctionnement des hélices dont les diamètres varient entre des valeurs encadrant la valeur moyenne adoptée; nous considérerons des diamètres variant de 2,80 m à 3,20 m.

Ces hélices doivent satisfaire aux conditions de poussée

$$P = \frac{B}{F} p \frac{(p + 21)}{45} N^2 D^4 v_e \quad (I)$$

$$P = \frac{N}{N_p} \frac{p D}{D} \frac{\rho}{1 - v_e} \quad (II)$$

$$V \text{ étant égal à } \frac{1}{0,6} (1 - v_e) \quad (III)$$

Considérons d'abord une hélice dont le diamètre est pris à 2,80 m, et adoptons une valeur de $f = 0,4$. Nous donnerons à « p » les valeurs successives suivantes :

$$p = 1,1 - 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$$

Ceci nous permet de calculer les valeurs de P déduites des formules (I) et (II) et la vitesse déduite de la formule (III).

Ces valeurs peuvent se mettre sous forme de tableau.

Tableau II.

ρ =	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$P(I)$ =	13.100 v_e	14.320 v_e	15.580 v_e	16.850 v_e	18.150 v_e
$P(II)$ =	5.970 $\frac{\rho}{1-v_e}$	5.470 $\frac{\rho}{1-v_e}$	5.040 $\frac{\rho}{1-v_e}$	4.690 $\frac{\rho}{1-v_e}$	4.370 $\frac{\rho}{1-v_e}$
v =	6,16 $(1-v_e)$	6,72 $(1-v_e)$	7,28 $(1-v_e)$	7,84 $(1-v_e)$	8,4 $(1-v_e)$

Les valeurs de ρ sont connues en fonction de v_e par les courbes de rendement de Froude. Il est donc possible de tracer les courbes de P (I) et P (II) en fonction de v (vitesse corrigée du sillage) (fig. 3).

Les valeurs de P déduites de la formule (I) se placent sur des faisceaux de droite lorsque v varie et rencontrent l'axe des abscisses aux points $v = 6,16 - 6,72 - 7,28 \dots$ correspondant à $v_e = 0$.

Pour une même valeur de « p », l'intersection de la droite correspondante et de la courbe de P déduite de la formule II donne le point représentatif du fonctionnement de l'hélice. La poussée se lit en ordonnées, la vitesse en abscisses. Le recul correspondant peut être calculé à l'aide de la formule III.

La courbe qui joint les différents points représentatifs correspondant à chaque valeur de p coupe la courbe des poussées du remorqueur en un point dont la connaissance détermine la vitesse du remorqueur avec sillage, le recul, ainsi que le rendement.

Dans le cas présent, on trouve :

$$p = 1,32$$

$$v_e = 0,311$$

$$\rho = 0,696$$

En admettant la valeur du sillage qui a été adoptée pour l'établissement de la courbe de résistance de carène (0,12 pour l'exemple considéré), on trouve que la vitesse en route

$$\text{libre est égale à } \frac{5,05}{0,88} = 5,74 \text{ m/sec} = 11,2 \text{ nœuds.}$$

On procédera de même pour les différentes valeurs du diamètre considéré et pour différentes valeurs de f, ce qui donnera les caractéristiques de fonctionnement d'une double série d'hélices. Pour chacune de ces hélices, on déterminera par lecture sur l'abaque représenté (fig. 1), les conditions de fonctionnement au point fixe, en admettant en première approximation que $\frac{H_e}{D} = 1,1 \frac{H}{D}$ (ce qui est suffisamment approché dans le cas d'hélices en bronze; dans le cas d'hélices en fonte, on adoptera la valeur de 1,13).

Toutes ces opérations nous permettent de dresser un Tableau donnant les caractéristiques des différentes hélices.

On voit que, pour les hélices 3 A, 3 B, 3 C, 2 D, 2 E, 3 E, le nombre de tours au point fixe est inférieur à 90. Il faut donc reprendre le calcul à couple constant, ce qui fournit les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous (en admettant que pour ces hélices le nombre de tours sera réduit dans le rapport des racines carrées des couples et les puissances dans le rapport des cubes des nombres de tours, ce qui est

Tableau III.

Diamètres	2m,800			2m,900			3m,000			3m,100			3m,200		
N ^o de l'hélice	1 A	2 A	3 A	1 B	2 B	3 B	1 C	2 C	3 C	1 D	2 D	3 D	1 E	2 E	3 E
<i>f</i>	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
<i>p</i>	4,32	4,27	4,25	4,24	4,21	4,18	4,16	4,13	4,10	4,09	4,06	4,02	4,04	4,00	0,96
Rendement route libre	0,696	0,694	0,680	0,698	0,696	0,675	0,708	0,694	0,656	0,706	0,685	0,635	0,694	0,670	0,610
$\frac{H}{D}$	1,20	1,16	1,14	1,13	1,10	1,07	1,06	1,03	1,00	0,99	0,96	0,93	0,95	0,91	0,87
Point fixe															
<i>C_p</i>	126	149	174	120	141	162	114	132	149	108	122	137	103	114	125
<i>C_f</i>	2,75	3,39	4,05	2,61	3,11	3,58	2,39	2,78	3,12	2,16	2,44	2,70	2,00	2,20	2,34
100 N	401	94	89	97	91,5	87	94,5	90	86,5	92,5	88	86	90	87	85
Puissance	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490

Tableau IV.

100 N =	401	94	88,5	97	91,5	86	94,5	90	85	92,5	88,5	84	90	86	83
Traction	7 900	8,100	8,400	7,950	8,350	8,460	8,250	8,650	8,720	8,550	8,800	8,950	8,730	8,870	9,050
Puissance C.V.E.	490	490	480	499	490	468	490	490	462	490	480	457	490	468	451
ND	2 83	2,63	2,48	2,81	2,67	2,49	2,84	2,70	2,55	2,87	2,73	2,00	2,88	2,75	2,66
ND limite	2,50	2,90	3,18	2,54	2,98	3,25	2,55	3,05	3,35	2,60	3,13	3,45	2,62	3,20	3,60

exact dans les limites considérées des nombres de tours trouvés).

Dans ce dernier tableau figureront également les valeurs de ND, ainsi que les valeurs limites de ce même produit lues sur la planche 2.

On voit que toutes les hélices de fraction de surface $< 0,4$ risquent de caviter au point fixe, et sont par conséquent à rejeter, bien qu'elles possèdent les meilleurs rendements en route libre.

L'hélice 3 E, qui permet la meilleure traction au point fixe, a le plus mauvais rendement en route libre.

Les hélices 2 C et 2 D, qui ont un rendement en route libre voisin de celui de l'hélice à rendement maximum, donnent en même temps une bonne traction au point fixe. Ces deux hélices paraissent donc réaliser un compromis raisonnable.

Une fois l'hélice choisie, il y a lieu de faire un calcul complet de celle-ci, en déterminant notamment l'épaisseur des ailes, ce qui permet de calculer le pas effectif et de vérifier les résultats ci-dessus. Cette dernière étude permettra éventuellement de corriger légèrement les caractéristiques initiales.

Si l'appareil moteur consistait en un moteur Diesel, le calcul des hélices se ferait en route libre, de la manière indiquée ci-dessus, tandis que les conditions de fonctionnement au point fixe seraient calculées comme il l'a été indiqué précédemment pour les appareils moteurs à couple constant.

Cas d'un remorqueur de port. — Pour ces remorqueurs, la condition essentielle est de réaliser une valeur élevée de la traction au point fixe. On recherchera donc la ou les hélices donnant la meilleure traction au point fixe, et l'on recherchera ensuite les conditions de fonctionnement en route libre.

Généralement, les conditions relatives au fonctionnement de l'appareil moteur conduisent à fixer au point fixe le couple maximum réalisable et, parfois, la puissance et le nombre de tours possibles.

Afin de limiter les tâtonnements dans l'élimination des hélices susceptibles de caviter, la formule de Poincet peut se mettre sous forme d'un nouvel abaque où apparaissent

directement les valeurs du couple et du nombre de tours (fig. 4).

Si nous appelons Q la valeur $\frac{F}{N^2 D^5}$ proportionnelle au couple, le coefficient de puissance $C_F = \frac{F}{N^3 D^5}$ peut se mettre sous

la forme $\frac{Q}{N^2 D^5}$

d'où $D = \frac{Q^{1/5}}{N^{2/5} C_F^{1/5}}$

la condition de non cavitation déjà trouvée $ND < 110$ $\frac{p^{1/3} f^{2/3}}{C_p^{2/3}}$ devient, en observant que $ND = \frac{Q^{1/5} N^{3/5}}{C_F^{1/5}}$

$$Q^{1/5} N^{3/5} < 110 \frac{p^{1/3} f^{2/3}}{C_p^{2/3}} \frac{C_F^{1/5}}{C_p^{1/5}}$$

Le second membre que nous appellerons β , ne dépend que de p ; on peut donc tracer, en fonction de p , un réseau de courbes donnant les valeurs limites de $Q^{1/5} N^{3/5}$. Ces courbes indiqueront les valeurs de p et de f à adopter, à l'exclusion de celles pour lesquelles il y a un risque de cavitation.

D'autre part, en divisant membre à membre les deux coefficients caractéristiques (de poussée et de puissance), on obtient $\frac{P}{F} = \frac{C_p}{C_F} \times \frac{1}{ND}$, où, en utilisant les valeurs trouvées pour ND et F en fonction de Q ,

$$P = \frac{Q^{4/5} N^{2/5} C_p}{C_F^{4/5}} = \frac{C_p}{C_F^{4/5}} Q^{4/5} N^{2/5}$$

Le premier facteur de cette expression $\frac{C_p}{C_F^{4/5}}$ ne dépend que de p et peut donc être porté sur l'abaque en fonction de H

— Le deuxième facteur dépend du couple et du nombre de tours. Pour une valeur donnée de ceux-ci, P sera d'autant plus grand que $\frac{C_p}{C_F^{4/5}}$ sera plus élevé.

Il en résulte qu'une fois déterminée la zone de non cavitation, il suffira de choisir la valeur maximum de $\frac{C_p}{C_F^{4/5}}$ pour obtenir l'hélice donnant la poussée maximum.

L'examen des courbes $\frac{C_p}{C_F^{4/5}} = \gamma$ montre que, pratiquement, pour le problème ainsi posé, on sera conduit à une solution uniforme consistant en l'adoption d'hélices à faible pas relatif, car les plus grandes valeurs de coefficient γ sont obtenues pour $\frac{H}{D}$ variant de 0,6 à 0,7 auxquelles correspondent des valeurs croissantes de β pour ces valeurs de p , ce qui est favorable.

D'autre part, on remarquera que les hélices à faible fraction de surface développée ont les plus grands coefficients pour un faible pas relatif, et que ce coefficient diminue au contraire avec la fraction de surface lorsque $\frac{H}{D}$ dépasse 0,7.

En fait, l'influence de f est relativement faible, surtout dans le voisinage des pas les plus faibles utilisés pratiquement; c'est donc bien, en règle générale, la réduction du pas qu'il faudra surtout tâcher de réaliser, dans la mesure bien entendu où l'augmentation du diamètre qui en résultera sera compatible avec les conditions d'encombrement et d'immersion d'une part, et de la chute de rendement admissible en route libre d'autre part.

C'est donc, pratiquement, la condition de non cavitation qui limitera la valeur inférieure à donner à la fraction de surface si l'on choisit pour p une valeur voisine de 0,6.

Si l'horizontale représentative de $Q^{1/5} N^{3/5}$ passe au-dessus du réseau des courbes, on sera conduit à modifier les données du problème, si l'on veut éviter les risques de cavitation.

L'examen des deux formules

$$Q^{1/5} N^{3/5} < 110 p^{1/3} f^{2/3} \frac{C_F^{1/5}}{C_p^{2/3}}$$

$$\text{et } P = \frac{C_p}{C_F^{4/5}} Q^{4/5} N^{2/5}$$

montre qu'au point fixe, pour un pas réduit donné,

- 1) La poussée sera d'autant plus grande que le nombre de tours et surtout le couple qui a le plus fort exposant, seront eux-mêmes plus grands;
- 2) que le risque de cavitation, pour une hélice donnée, dépend plus du nombre de tours que du couple.

Dans le cas où les caractéristiques de l'appareil moteur montreraient qu'il y a risque de cavitation, il vaudrait mieux en conséquence déterminer l'hélice de manière à conserver le couple maximum constant, et réduire le nombre de tours à une valeur suffisante, pour éliminer ce risque. (Il faut, bien entendu, que l'augmentation du diamètre qui en résulte soit compatible avec l'encombrement dont on dispose, et permette une immersion minimum de 0,4 m environ de l'extrémité de l'aile.)

Ces conclusions ne valent que pour les remorqueurs à moteur Diesel ou machine alternative dont le couple peut être considéré comme indépendant du nombre de tours dans les limites de fonctionnement envisagées. Elles montrent, en particulier, la supériorité des moteurs lents sur les moteurs rapides à puissance égale (supériorité qui s'affirme également en route libre).

Dans le cas de turbines, moteurs électriques, etc., les conclusions dépendent essentiellement de la caractéristique $Q = f(N)$.

A titre d'exemple, nous traiterons le problème de la détermination de l'hélice d'un remorqueur de port, à moteur Diesel de 900 CVE à 220 tours par minute.

La puissance effective de l'hélice sera environ :

$$900 \times 0,95 = 860 \text{ CVE}$$

et la valeur de $Q = \frac{860}{2,2} = 391$.

La valeur correspondante de $Q^{1/5} N^{3/5}$ est 5,3, donc dépasse la plus grande valeur limite des courbes. Nous modifierons les conditions du problème en nous basant sur les conclusions trouvées ci-dessus, c'est-à-dire que nous garderons le couple constant et diminuerons le nombre de tours, de façon à réduire le produit $Q^{1/5} N^{3/5}$ à une valeur acceptable, soit 4,4 par exemple.

On en déduit que $N = \frac{4,4^{5/3}}{391^{1/3}} = 1,62$

La puissance de l'hélice sera donc $1,62 \times 391 = 635$ CV.
L'hélice aura comme caractéristique :

$\frac{H}{D}$

$$= 0,6; f = 0,8; C_F = 1; C_p = 73$$

$\frac{C_p}{C_F^{4/5}}$

$$= 73; \text{ on en déduira que } D = \frac{391^{1/5}}{C_F^{1/5} \times 1,62^{2/3}} = 2,725.$$

$$H = 2,725 \times 0,6 = 1,64 \text{ m.}$$

$$\text{La traction réalisable sera } P = 73 \times 391^{4/5} \times 1,62^{2/5} = 10.600 \text{ kg.}$$

Le calcul de la vitesse en route libre de ce remorqueur pour l'hélice ainsi choisie donne une vitesse de 11,6 nœuds correspondant à un rendement de 0,48 pour une puissance effective utilisée de la machine = 875 CVE (pratiquement la puissance maximum). L'adoption d'un faible pas et d'une grande surface développée, nécessaire pour obtenir la plus grande traction au point fixe, est la cause de ce mauvais rendement. Ceci montre l'intérêt que présenteraient les hélices à pas variable qui, malheureusement, donnent lieu à des difficultés de réalisation et de bon fonctionnement.

Remarque. — On peut se demander si les conditions de fonctionnement ne pourraient être améliorées en route libre, en admettant la possibilité d'une légère cavitation au point fixe.

Si, par exemple, nous adoptons une valeur de $Q^{1/5} N^{3,5} = 5$ la valeur correspondante de N serait égale à 2. Si nous adoptons, en vue d'obtenir la meilleure traction possible, les valeurs précédentes de « p » et « f », soit 0,6 et 0,8, le diamètre correspondant de l'hélice est de 2,50 m.

Cette hélice risquant de caviter, d'après la planche 2 pour $ND = 4,5$, c'est-à-dire $N = 1,8$, et la poussée correspondante à ce nombre de tours étant de :

$$73 \times 1,8^2 \times 2,5^4 = 9.250 \text{ kg.,}$$

$\frac{P_o N}{N_o}$

la poussée à 220 tours serait, si l'on admet la loi $P =$

$\frac{N_o}{N}$

pour les hélices cavitantes, égale à 11.000 kg. (Cette loi est controversée; les conclusions qui ont conduit à l'établissement de cette formule ayant un caractère très précaire du fait de

l'incertitude qui règne sur la délimitation exacte de la zone de cavitation.)

Si la cavitation ne se produisait pas, la traction maximum se produirait pour un nombre de tours égal à 200, et vaudrait 11.400 kg.

En route libre, on trouve que la vitesse du remorqueur ne serait plus égale qu'à 10,1 nœuds, donc inférieure à celle trouvée précédemment, pour une amélioration d'ailleurs précaire du fonctionnement au point fixe. Il sera donc préférable d'adopter la première (fig. 5).

Tout ce qui vient d'être dit s'applique aux hélices de remorqueurs non munies de dispositifs spéciaux visant à améliorer leurs performances. De tels dispositifs sont susceptibles, telle la tuyère Kort, d'augmenter sensiblement l'effort de traction des remorqueurs, en réduisant les pertes de charge dûes aux mouvements tourbillonnaires créés par l'hélice, en régularisant l'écoulement dans le disque de l'hélice et en reculant les limites de la cavitation. Ces améliorations se manifestent surtout aux faibles vitesses, c'est-à-dire dans les conditions de remorquage. Les résultats établis dans la présente étude s'étendent au cas d'hélices munies de tels dispositifs, à condition toutefois de considérer des coefficients de majoration des poussées.

* Le tableau V ci-contre et la figure 6 donnent dans le cas d'un certain nombre de remorqueurs; les gains réalisés par l'emploi d'une tuyère Kort.

On remarquera, comme l'a d'ailleurs montré M. Chardonné lors du Congrès International des Ingénieurs Navals de 1939, que le tonnage remorqué augmente dans une proportion plus grande à vitesse égale que la traction; ceci peut être facilement mis en évidence, si l'on observe que la traction pour le remorquage d'un tonnage Δ est de la forme : $P = K\Delta^{2/3} V^2$, dans laquelle K est un coefficient variant avec $\frac{V}{\sqrt{\Delta^{1/3}}}$ (K diminuant généralement avec cette dernière valeur pour des carènes remorquées semblables). D'où $\Delta = \left(\frac{P}{K}\right)^{3/2} V^{1/3}$, ce qui montre bien que Δ croît plus vite que P à vitesse constante.

Tableau V.

NOM	Résultat des essais au point fixe										Gain de traction		Observations			
	Sans tuyère					Avec tuyère										
	Puis- sance machine	Pression	N de tours	Traction	Puis- sance calculée	Traction par C.V.I.	Pression	N de tours	Traction	Puis- sance calculée	Traction par C.V.I.	à puis- sance égale	total d'après essais	avant transformation	après transformation	
																Kg/cm2
Machines alternatives	C.V.I.	Kg/cm2	par min.	Kg.	C.V.I.	Kg/ C.V.I.	Kg/cm2	par min.	Kg.	C.V.I.	Kg/ C.V.I.	%.	°/o (3)	avant transformation	après transformation	
	210	14	160	2650	170	45,60	14	180	4000	190	21	35	51	650 en 2 bat	900 en 2 bat	
	305	15	162	3750	275	43,60	15,5	180	3900	315	18,7	37,5	57	900 en 2 bat	1600 en 2 bat	
	320	14	180	4350	310	14	14	180	6350	310	20,5	46,5	46	1050 en 2 bat	1600 en 2 bat	
	320	14	178	4450	307	14,5	14	176	6150	303	20,4	45	38	1050 en 2 bat	1600 en 2 bat	
	325	14,5	165	4500	300	15	14,5	190	6750	340	19,85	32,5	50	1100 en 2 bat	1500 en 2 bat	
	250	12,5	162	3600	230	15,6	13,5	170	4950	250	19,8	27	37,5	800 en 2 bat	1300 en 2 bat	
	365	13,25	165	5100	320	15,9	13,25	167	6500	325	20	26	32,4	1300 en 2 bat	1850 en 2 bat	
	145	13,5	165	2300	125	18,4	13,5	172	2750	130	21,2	15	30,4	500 en 2 bat	700 en 1 bat	
	480	14,8	164	6000	430	13,9	15	167	210400	445	23,4	68,5(2)	73	1500 en 3 bat	1880 en 4 bat	
Moteurs Diesel	C.V.E.	Kg/cm2	par min.	Kg.	C.V.E.	Kg/ C.V.E.	Kg/cm2	par min.	Kg.	C.V.E.	Kg/ C.V.E.	%.	°/o (3)	avant transformation	après transformation	
	325	15	173	4300	293	14,6	15,3	180	6250	308	20,3	30	45,5	1100 en 2 bat	1358 en 2 bat	
	240	16	165	3400	220	15,45	16	176	5000	235	21,3	38	47	800 en 2 bat	—	
	330	17	160	4050	281	14,40	17	174	6250	305	20,5	42,5	54,5	1150 en 2 bat	—	
	325	15,3	163	3950	282	14	15,2	160	5450	277	19,7	41	44,5	1100 en 2 bat	1500 en 2 bat	
	300	13,8	163	3700	244	15,45	13,8	180	6200	270	23	32	67,5	—	—	
	Succès Rein Willem-Marinus	210	14	160	2650	170	45,60	14	180	4000	190	21	35	51	650 en 2 bat	900 en 2 bat
	Emma	320	14	178	4450	307	14,5	14	176	6150	303	20,4	45	38	1050 en 2 bat	1600 en 2 bat
	Tjoba	325	14,5	165	4500	300	15	14,5	190	6750	340	19,85	32,5	50	1100 en 2 bat	1500 en 2 bat
	Adriana III	250	12,5	162	3600	230	15,6	13,5	170	4950	250	19,8	27	37,5	800 en 2 bat	1300 en 2 bat
Horman	365	13,25	165	5100	320	15,9	13,25	167	6500	325	20	26	32,4	1300 en 2 bat	1850 en 2 bat	
Agnès	145	13,5	165	2300	125	18,4	13,5	172	2750	130	21,2	15	30,4	500 en 2 bat	700 en 1 bat	
Atlantide	480	14,8	164	6000	430	13,9	15	167	210400	445	23,4	68,5(2)	73	1500 en 3 bat	1880 en 4 bat	
Korea	325	15	173	4300	293	14,6	15,3	180	6250	308	20,3	30	45,5	1100 en 2 bat	1358 en 2 bat	
Bellarix	240	16	165	3400	220	15,45	16	176	5000	235	21,3	38	47	800 en 2 bat	—	
Wilfried	330	17	160	4050	281	14,40	17	174	6250	305	20,5	42,5	54,5	1150 en 2 bat	—	
Theodora	325	15,3	163	3950	282	14	15,2	160	5450	277	19,7	41	44,5	1100 en 2 bat	1500 en 2 bat	
Philant	300	13,8	163	3700	244	15,45	13,8	180	6200	270	23	32	67,5	—	—	
S2	100	—	202	2200	101	21,8	—	210	2750	89	31	42	25	—	—	
Joma	240	—	248	2450	200	12,25	—	302	3775	223	16,9	38	54	—	—	
Taurus II	240	—	292	3100	220	14,1	—	292	4100	220	18,6	32	37	600 en 3 bat	800 en 3 bat	
Annie	160	—	245	1500	115	13	—	300	3150	165	19,1	47	410	—	—	

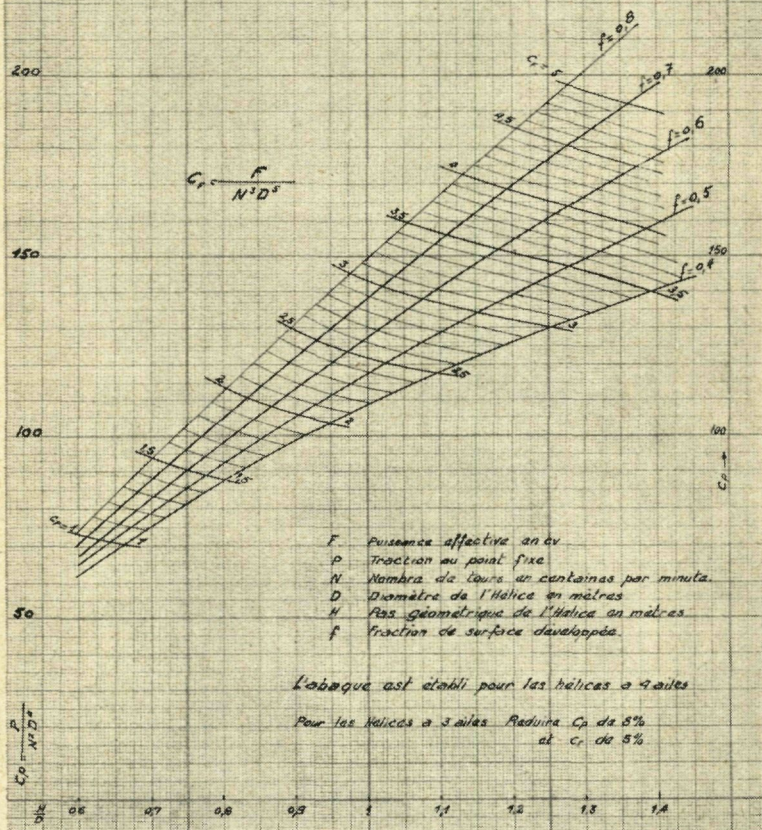
(1) Un last = 2 tonnes de chargement.

(2) Hélice mixte immergée.

(3) Ce gain comprend celui qui provient de l'augmentation du nombre de tours.

Figura 1.

HELICES AU POINT FIXE



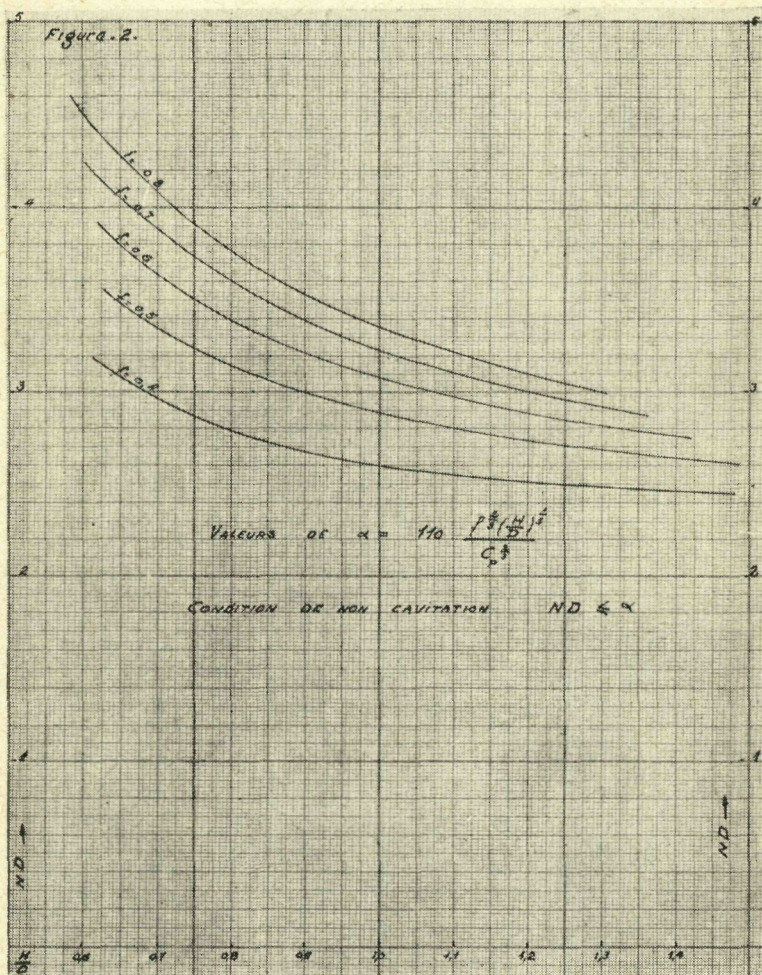
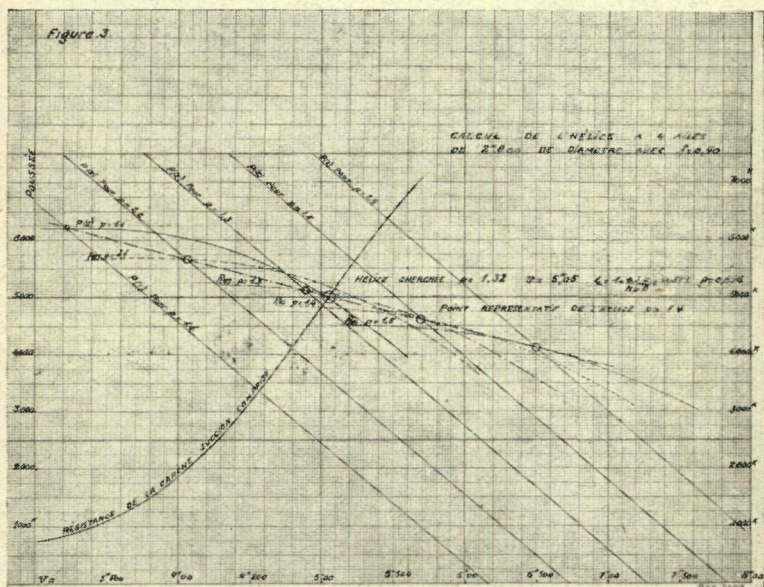
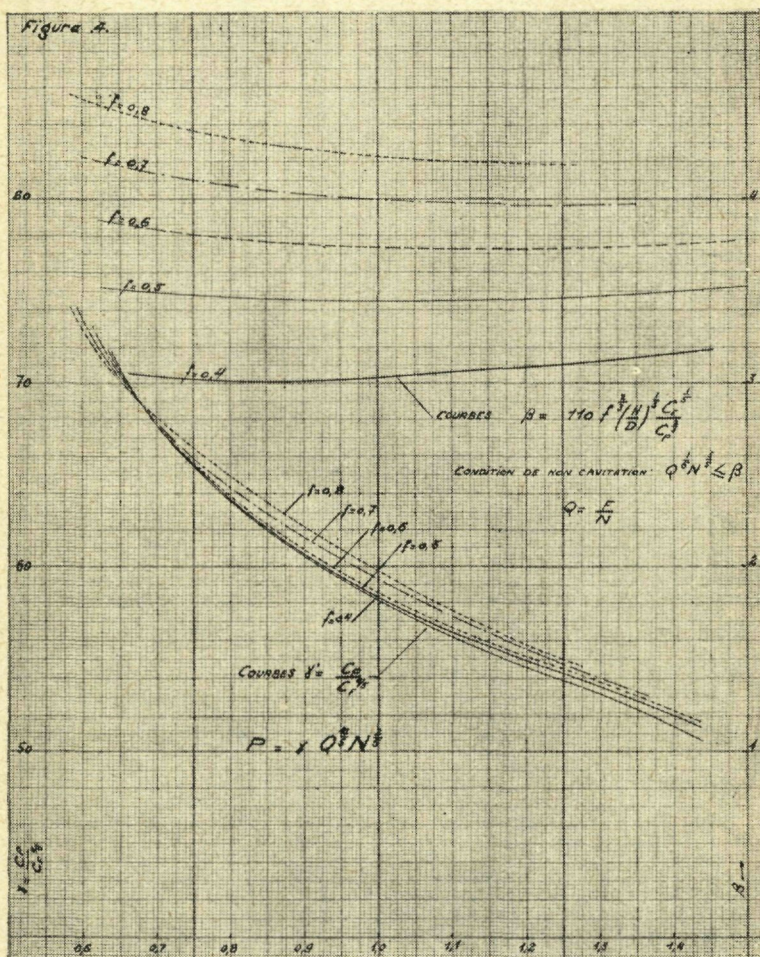
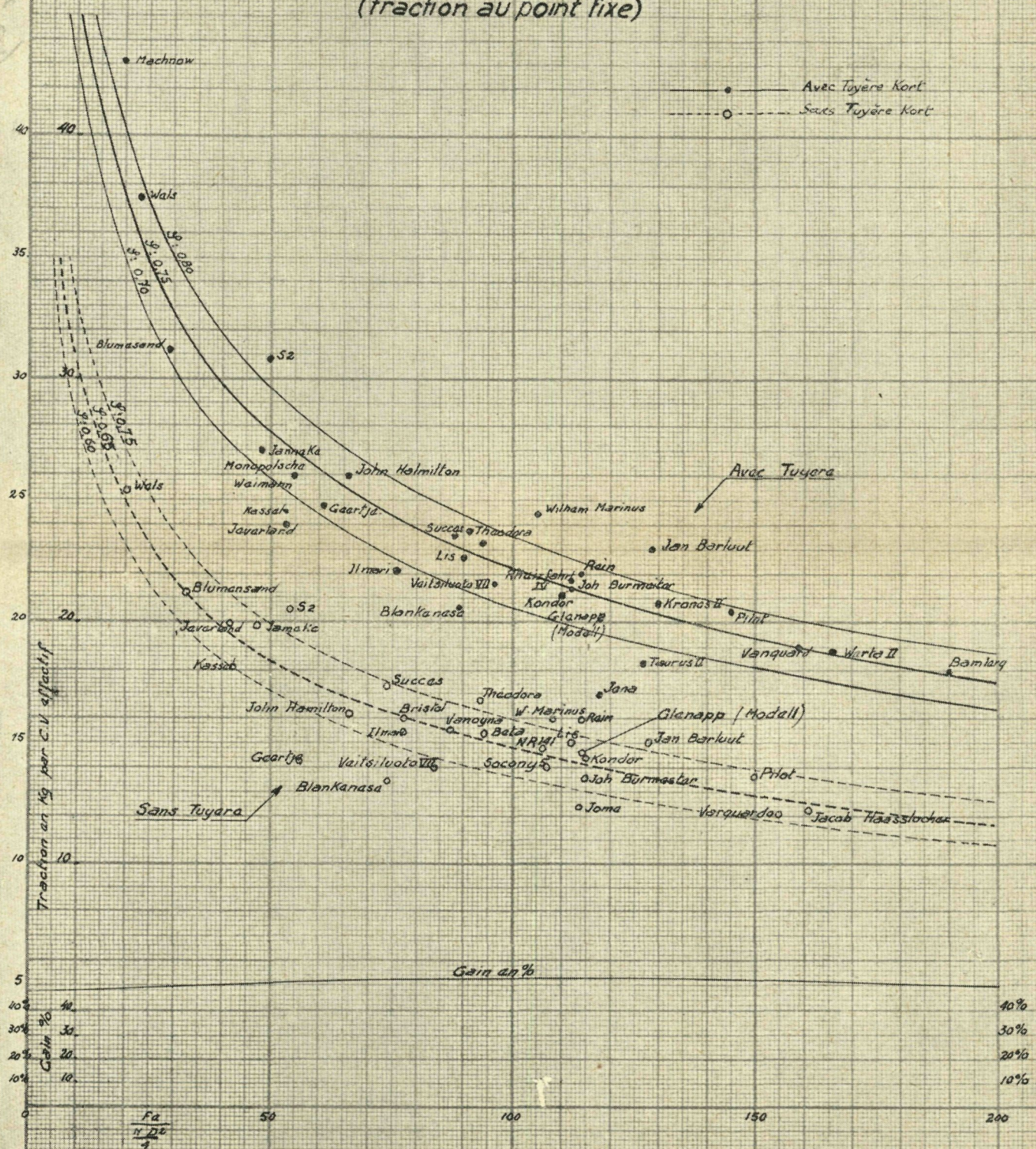


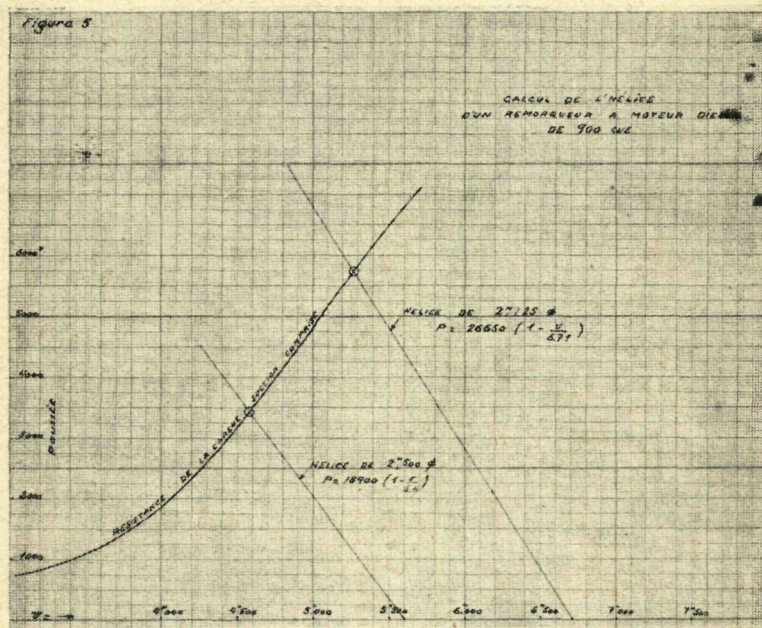
Figure 3





RÉSULTATS D'ESSAIS DE REMORQUEURS À TUYÈRES KORT
(traction au point fixe)





Intervention de M. DIEUDONNE.

Le Mémoire de M. Albiach est très intéressant et facilement utilisable. Il a le mérite de donner des résultats déduits d'expériences sur le réel et dont la valeur est ainsi incontestable.

Je désirerais cependant présenter 2 observations sur ce mémoire :

La première est relative au dernier alinéa de la page 5 dans lequel M. Albiach a écrit :

« ...on s'aperçoit cependant que les vapeurs du rendement » déduites des abaques de Froude diffèrent sensiblement de » celles qui découlent de l'expression ci-dessus ».

Ce texte m'a un peu surpris car il s'agit du fonctionnement avec un recul effectif de 75 % et les résultats publiés par Froude s'arrêtent à un recul effectif nettement inférieur. La comparaison n'a donc pu porter que sur une extrapolation

des courbes de Froude. Il serait intéressant de savoir comment cette extrapolation a été faite.

La deuxième observation vise la définition de la traction d'un remorqueur au point fixe.

Dans le fonctionnement au point fixe l'eau a une vitesse d'entrée qui n'est pas fictive mais réelle : puisque l'eau sort de l'hélice il faut bien qu'elle y entre. Cette vitesse d'entrée ne dépend pas du bâtiment seulement mais de tous les obstacles qui se trouvent dans son voisinage, c'est-à-dire des conditions d'amarrage. M. Albiach a bien vu cette difficulté quand il a introduit l'ouverture réduite du circuit mais il ne semble plus s'y être attaché dans la suite de ses calculs.

Des expériences à ce sujet ont été faites par la Marine Nationale Française il y a une dizaine d'années. Opérant avec un bâtiment de petite taille (18 m. de longueur) dont on mesurait la traction et la puissance à nombre de tours donné pour des conditions d'amarrage variées, on a constaté que pour les résultats d'essais fussent indépendants des conditions d'amarrage il fallait que le bâtiment fut éloigné de plus de 50 m. environ de tout obstacle.

Les variations de traction avec le bâtimentt amarré près d'un quai étaient extrêmement importants puisqu'elles atteignaient 20 % par rapport au cas du bâtiment éloigné, pour un même nombre de tours. Je pense que ces constatations peuvent intéresser les constructeurs de remorqueurs qui doivent fournir aux essais une traction donnée. Je pense aussi qu'il serait intéressant de compléter le mémoire de M. Albiach en précisant les conditions d'amarrage des remorqueurs dont les essais ont été utilisés par lui.