

7^e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

MARSEILLE - 8, 9, 10 MARS 1999

DU FONCTIONNEMENT DU BULBE COSTA

M. EBERSOLT

MERIMAR 21-23, rue Lalande 75014 PARIS

Résumé

Des travaux portant sur des hélices carénées pourvues d'un étage d'aubages redresseurs ont montré un gain de rendement par rapport aux propulseurs conventionnels de ce type. Des investigations ont été conduites pour obtenir le même résultat en remplaçant les aubages redresseurs par un aileron profilé muni ou non d'un bulbe "Costa". La configuration comportant un aileron muni d'un bulbe Costa donne le meilleur résultat. Des passages en tunnel de cavitation permettent d'examiner l'architecture de l'écoulement, ce qui révèle la disparition du tourbillon d'ogive, que l'aileron porte ou ne porte pas de bulbe. Dans ce dernier cas l'écoulement est ordonné et stabilisé, ce qui explique l'influence bénéfique de cet appendice - aussi bien pour le gain énergétique que pour la diminution des vibrations -.

Summary

Open water tests on schrouded propellers equipped with fixed contra rotative fins showed that this device presents a better efficiency compared with conventional ones. A set of trials were executed replacing the contrarotating device by a single fin, with or without Costa bulb. The best result is obtained with the combination fin plus bulb. Other trials executed in water tunnel points out that the hub vortex disappeared in both cases. Examination of general arrangement of flow shows that it becomes directed and stable due to the influence of the Costa bulb. An explanation of this phenomenon is proposed, which confirms power saving and vibrations cut down.

I - INTRODUCTION :

Les travaux faisant l'objet de la Thèse de P. SULMONT (1) ont porté sur un propulseur comprenant une hélice à pales tronquées, un carénage et un étage d'aubages redresseurs.

La tuyère est accélératrice et présente une divergence marquée, contrairement aux tracés habituels.

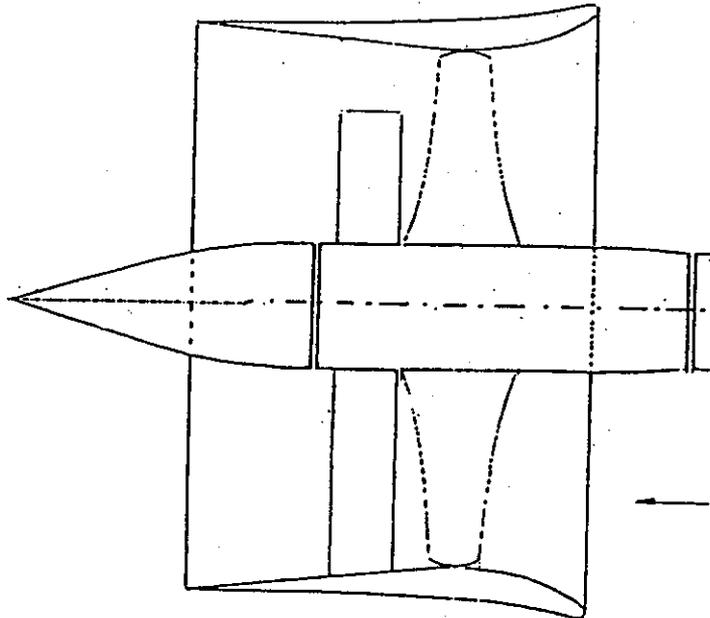


Figure 1 Tuyère Sulmont

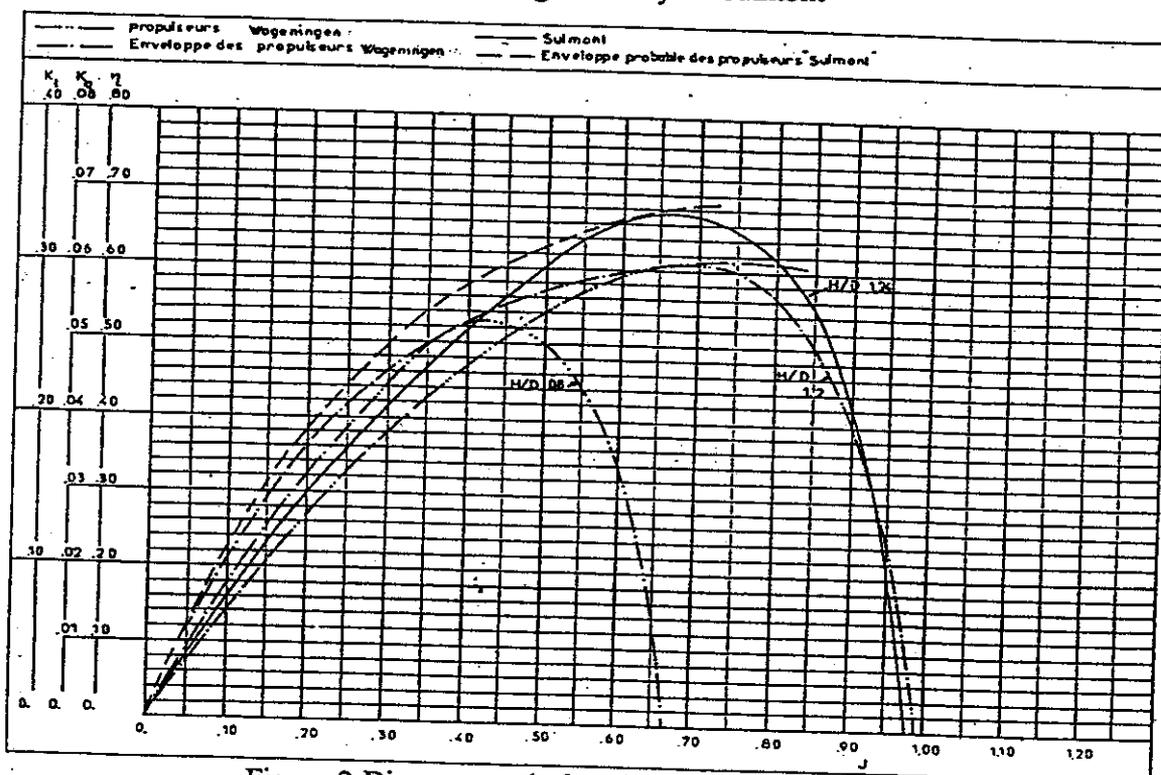


Figure 2 Diagramme de fonctionnement du Propulseur Sulmont et comparaison avec les tracés conventionnels

La figure 2 positionne le diagramme de fonctionnement du Propulseur "Sulmont" par rapport à ceux d'une famille de propulseurs dont les hélices du type "Wageningen K55", de pas progressifs, et le carenage toujours le même soit "Wageningen 19 A"(2).

L'unique courbe de rendement d'un propulseur type Sulmont déborde largement l'enveloppe des courbes de rendement des propulseurs Wageningen. Il n'est pas déraisonnable de considérer que si d'autres propulseurs type "Sulmont" existaient, ceux-ci se positionneraient suivant l'ordonnancement inscrit sur la figure 2.

Pour expliquer cette anomalie, une campagne d'essais a été engagée pour voir si le remplacement des aubages redresseurs par un aileron redresseur pourrait conserver la même performance. Les aubages redresseurs présentent l'inconvénient d'être fragiles et onéreux. De plus les résultats encourageants obtenus par la Société Maier Form (5) sur des safrans munis de bulbe Costa ont invité à greffer cet organe sur l'aileron redresseur.

II - MODE D'INVESTIGATIONS & ESSAIS EN EAU LIBRE :

En premier lieu une comparaison précise a été établie. Un point de rendement optimum est choisi pour le propulseur Sulmont, puis dans la famille Wageningen est défini le propulseur ayant à la même avance J et une poussée comparable.

Cette comparaison est matérialisée sur le tableau T1. Dans ce tableau a été introduit un troisième propulseur dérivé du propulseur "Sulmont" décrit sur la figure 3. La seule différence réside dans le carénage. Le profil interne est conservé, tandis que la partie externe est amincie sur la seconde moitié de la corde pour faciliter la construction. Le tracé résulte de l'exploitation d'une étude antérieure (4).

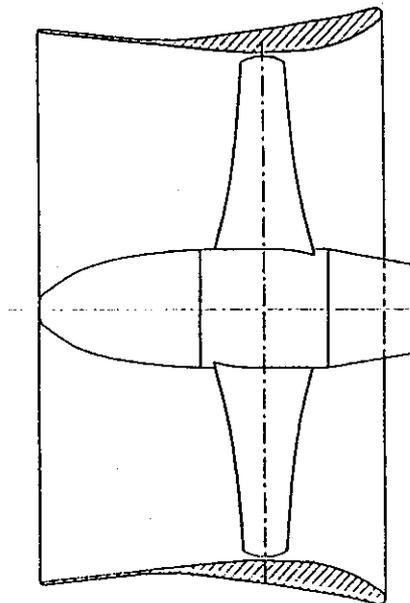


Figure 3

Configuration	A	B	C
Helice	Sulmont	K 455	Sulmont
Carenage	Sulmont	19 A	Sulmont modifié
Redresseur	oui	non	non
J	0.6	0.6	0.6
K_{TT}	0.274	0.268	0.244
K_{TP}	0.195	0.222	0.168
K_{TN}	0.075	0.046	0.075
K_Q	0.039	0.044	0.037
η	0.654	0.576	0.628
H/D	1.246	1.018	1.246
K_{TP} / K_Q	4.950	5.000	4.530

Tableau T1

Ces trois propulseurs présentent des caractéristiques de poussée voisines pour le même paramètre J. Par contre rendement et couple du propulseur Wageningen sont moins attractifs que pour les deux autres. Le plus performant étant celui de configuration Sulmont. La différence de performance peut s'expliquer soit par la modification du carénage (seule la partie aval de l'extrados a été modifiée), soit par la suppression des aubages redresseurs, soit les deux simultanément.

Mais la comparaison entre les configurations "A" et "C" montre que la première présente un coefficient K supérieur, tout en ayant un rapport K_{TP}/K_Q meilleur. Ceci signifie que la même hélice offre un meilleur rendement lorsqu'elle fonctionne devant un élément redresseur. La poussée du carénage de la configuration "C" est plus faible, malgré l'absence des aubages redresseurs. Mais le premier effet l'emporte sur le second, ce qui conforte la constatation énoncée ci-dessus.

Pour confirmer ce point de vue, une série d'essais a été effectuée, portant sur des ensembles - hélice à pas variable conventionnelle - tuyère Sulmont dérivée, complétées par un aileron équipé d'un bulbe Costa. Il y a quatre configurations, la première sans aileron, les trois autres avec ailerons de corde variable mais munis du même bulbe Costa (Figure 4). Chaque configuration a été essayée avec trois pas d'hélice différents.

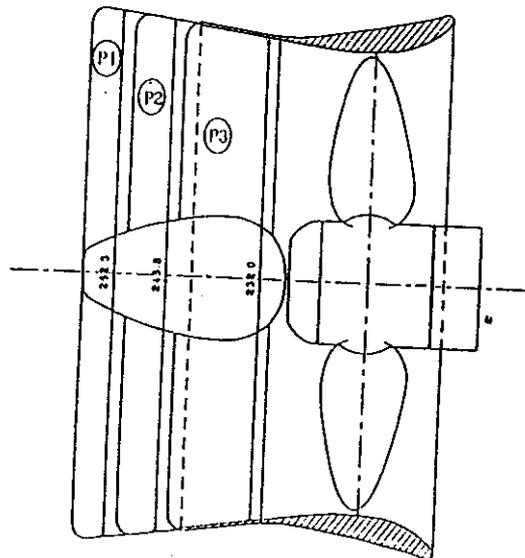


Figure 4

L'examen des performances ne permet pas de retenir une longueur optima pour l'ensemble des cas essayés. Par contre les trois configurations avec aileron sont toujours plus performantes que la configuration sans aileron. Cette constatation ne permet pas de savoir si l'adjonction d'un bulbe Costa sur un élément redresseur présente ou non de l'intérêt.

Pour trancher la question une série d'essais portant sur des configurations avec carénage type "C", hélice type "A", avec aileron redresseur muni ou non de bulbe Costa a été engagée. Ces expériences comportent aussi bien des expériences en eau libre que des passages en tunnel de cavitation. Cette dernière opération permet de visualiser l'écoulement.

Le tableau T2 résume la comparaison entre les quatre configurations. Celles-ci sont établies pour le même paramètre d'avance J , correspondant à l'optimum de performance du propulseur de référence.

J=0.6 Eléments communs aux différentes configurations. Carenage Sulmont modifié C. Hélice Sulmont A/C					
Configuration	α	β	γ	δ	ϵ
Eléments particuliers					
Aileron	vrillé profilé	non vrillé profilé	non vrillé profilé	sans	sans
Bulbe Costa	oui	oui	sans	sans	oui
Paramètres de fonctionnement					
K_{TT}	0.261	0.261	0.250	0.244	0.235
K_{TP}	0.189	0.188	0.178	0.168	0.163
K_{TN}	0.072	0.073	0.071	0.076	0.072
K_Q	0.039	0.039	0.038	0.037	0.037
h	0.639	0.638	0.621	0.628	0.609
K_{TP}/K_Q	4.850	4.810	4.640	4.520	4.420

Tableau T2

La comparaison entre les configurations α et β , montre que le vrillage de l'aileron, même s'il présente la meilleure performance, ne présente pas un intérêt définitif par rapport à l'aileron plan. Le surcroît de coût ne justifie pas le gain énergétique pour une réalisation militaire ou commerciale.

La suppression du bulbe Costa entraîne (configuration γ) une diminution plus sensible du rendement de l'ordre de près de trois pour cent par rapport à la configuration β . Il est remarquable de constater que les coefficients de poussée et de couple de l'hélice diminuent simultanément. Ce fait peut-être expliqué par la diminution de blocage dû à la suppression du bulbe Costa. En même temps la poussée du carénage diminue, ceci malgré l'élimination de la traînée propre à celui-ci.

Dans la configuration δ , la suppression de l'aileron restaure légèrement la performance énergétique. Par rapport à la configuration β , une seconde diminution simultanée du couple et de la poussée est encore observée, que l'on peut encore attribuer à l'élimination

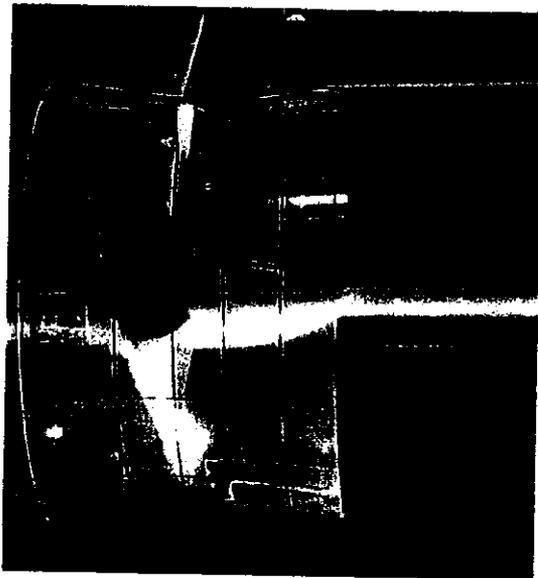
de l'effet de blocage de l'aileron. Un gain de poussée notable du carénage est observé, dû à la suppression de la traînée propre de l'aileron. Ce gain a un effet favorable sur le rendement de l'ensemble, mais les configurations α et β restent les plus attractives.

Enfin l'examen de la configuration ε montre une dégradation du résultat. Le bulbe agit principalement par sa traînée propre. L'hélice fonctionne un peu moins bien.

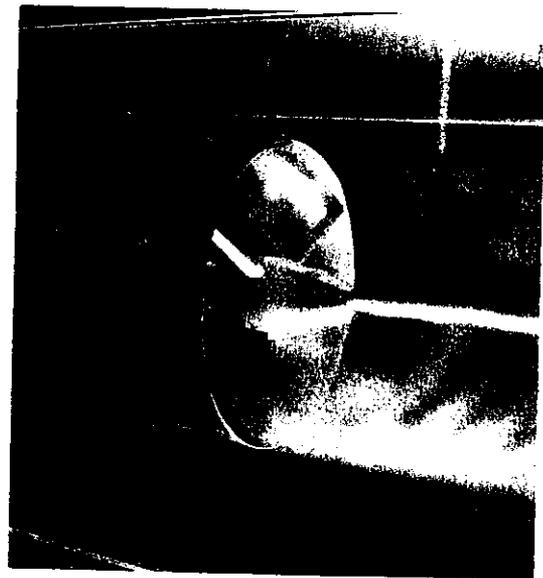
III - ESSAIS EN TUNNEL DE CAVITATION :

Les essais en tunnel de cavitation ont eu pour objet de mettre en évidence l'architecture tourbillonnaire de l'ensemble, pour compléter les expériences en eau libre.

La première constatation porte sur le tourbillon d'ogive du rotor. Celui-ci se manifeste uniquement pour les deux configurations δ et ε . Ces deux configurations ne comportent pas d'aileron redresseur (Figures 5). Dans ces deux cas le tourbillon apparaît avec la même intensité apparente.



Configuration δ



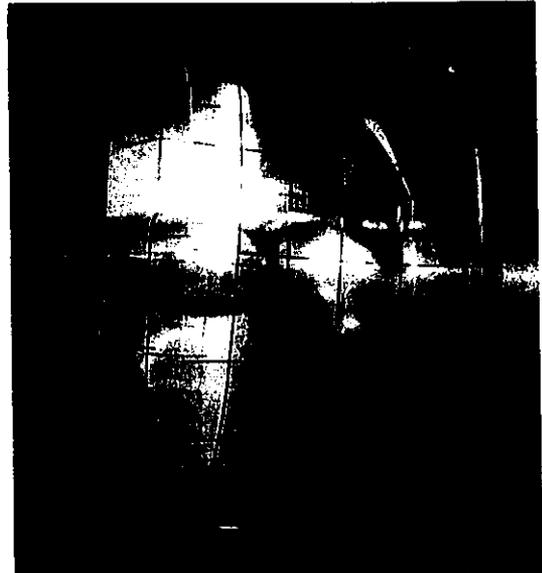
Configuration ε

Figures 5 Apparition du tourbillon d'ogive.

Une amorce de tourbillon apparaît sur la configuration γ , entre le moyeu de l'hélice et le bord d'attaque de l'aileron, mais aucune trace de ce tourbillon ne réapparaît au bord de fuite. Par contre pour la configuration β aucune trace de tourbillon n'apparaît (Figures 6).



Configuration γ Apparition d'un tourbillon d'ogive entre ogive et aileron.



Configuration β Pas de trace de tourbillon entre ogive et aileron.

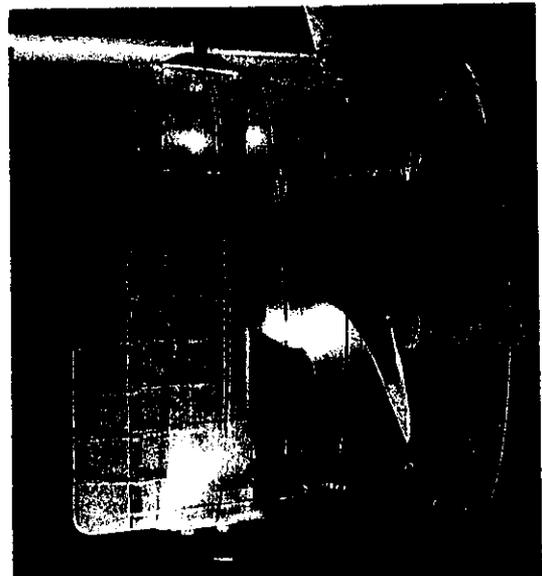
Figures 6

La seconde constatation provient de l'examen des brins de laine implantés sur l'aileron (Figures 7). Dans la configuration γ un certain désordre dans l'écoulement se produit dans la partie supérieure ou inférieure de l'aileron suivant la face observée, toujours limitée à l'axe de l'hélice. Par contre pour la configuration β , les instabilités sont diminuées mais il subsiste une certaine dissymétrie suivant la face observée.



Configuration β

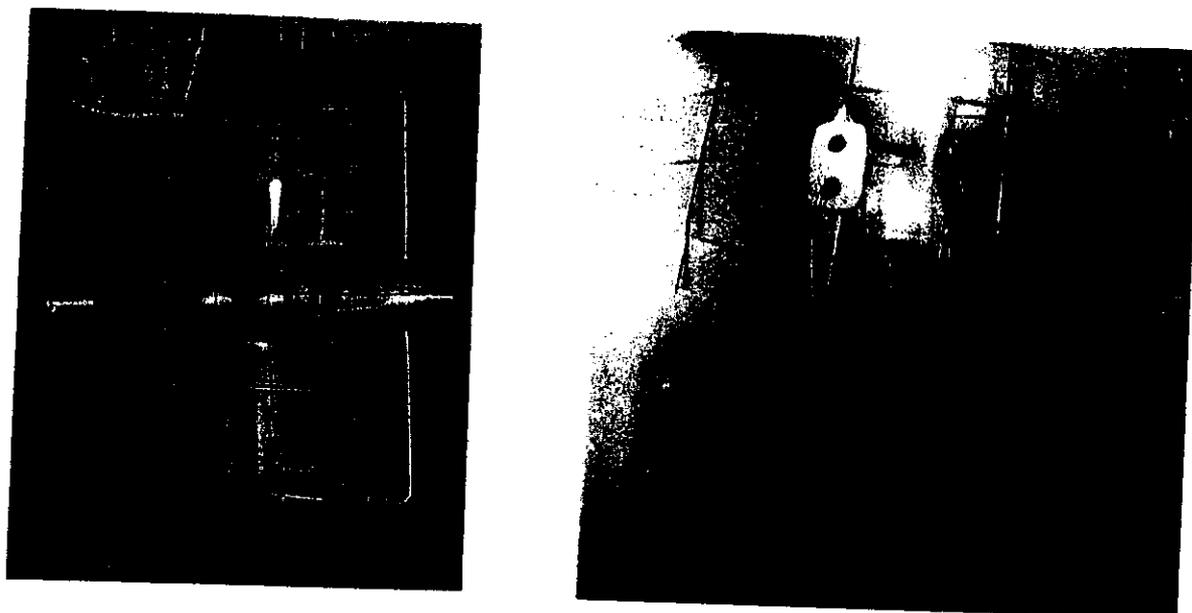
Écoulement le long de l'aileron à $J : 0.3$. Visualisation par brins de laine.



Configuration γ

Figures 7

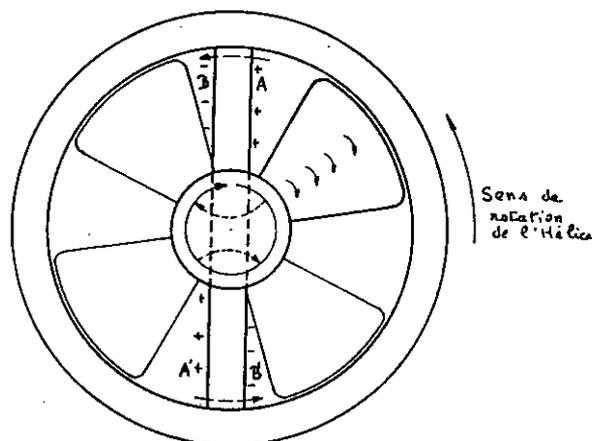
Enfin il reste à remarquer, pour la configuration (3), que sur la partie en aval de la section maxima du bulbe, l'écoulement est propre. En effet le long de la ligne méridienne dans le plan horizontal, il n'est pas observé de décollement ou de déviations sensibles (Figures 8).



Figures 8 Ecoulement le long du bulbe. Visualisation par brins de laine.

IV - INTERPRETATION DES PHENOMENES :

La figure 9 schématise l'architecture tourbillonnaire du propulseur. Chaque pale de l'hélice est représentée par un segment tourbillonnaire s'échappant en extrémité et en pied de pale. Les quatre filets de pied de pale se rassemblent sur celle-ci.



Echappement de l'Air ---
Circulation cumulée au tour du moyeu ou du Bulbe ---
Circulation autour d'une section de pale ~

Figure 9 Vue du propulseur de l'avant vers l'arrière.
L'hélice tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

En l'absence de bulbe Costa en aval de l'ogive, les quatre tourbillons se confondent en un seul suivant l'axe de rotation de l'hélice. De ce fait ils additionnent leur intensité propre. C'est ce qui est observé sur les figures 5. Le filament tourbillonnaire est remplacé du fait de la cavitation par un tube constitué d'un feuillet enroulé. Les quatre tourbillons de pieds de pales se sont fondus en un seul, s'échappant de l'ogive suivant l'axe de rotation. La configuration γ de la figure 6 laisse deviner que la mixité des quatre éléments est très rapide et s'initie dès la très courte partie arrière du moyeu. Ce phénomène de rassemblement des tourbillons de pied de pale concourt à créer l'amorce d'une écharpe tourbillonnaire visible sur la figure 6, celle-ci se prolonge du reste sur l'autre face du safran (Figure 10).

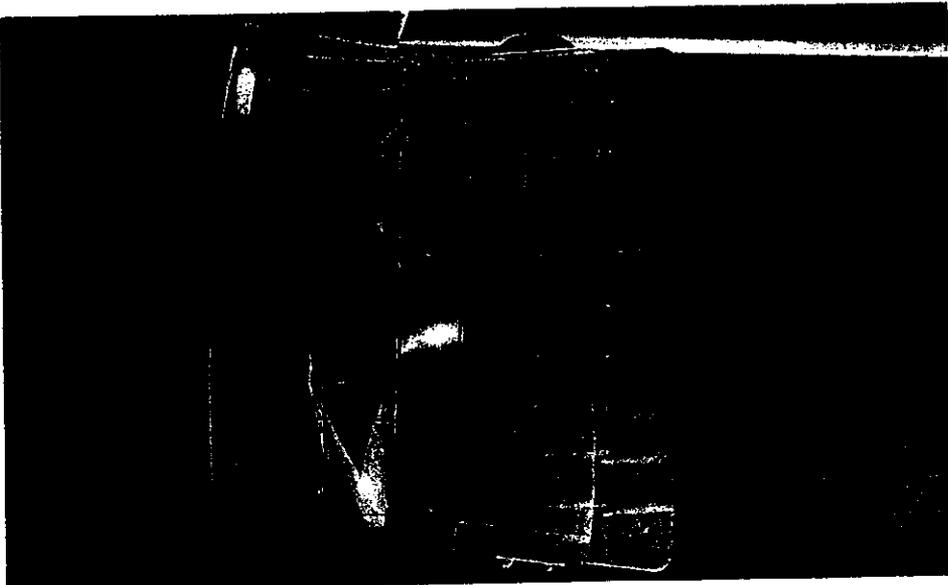


Figure 10 Configuration γ , $\sigma = 1.7$

Dans le cas où il y a un bulbe, lorsque le fluide rencontre la face antérieure de celui-ci, il épouse celle-ci sans accident en parachevant la mixité des tourbillons. Or le principe de la conservation de la circulation peut être appliqué à un feuillet enroulé en forme de tube enfermant le filet tourbillonnaire fictif, même si ce tube présente une excroissance (Figure 11). Dans ces conditions la composante circonférentielle de la vitesse est diminuée lorsque le fluide parcourt la partie antérieure du bulbe.

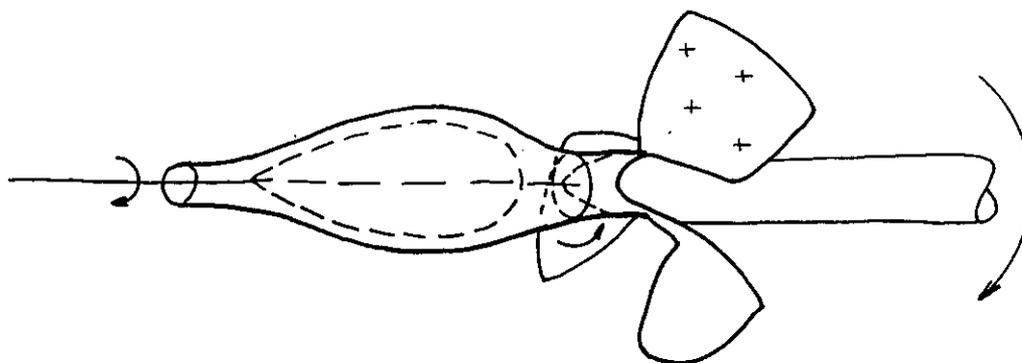


Figure 11 Conservation de la circulation le long d'un tube.

En l'absence de l'accident que représente un aileron lorsque le fluide parcourt la seconde partie du bulbe, la vitesse circumférentielle s'accélère pour maintenir la circulation constante. Ceci s'accompagne d'une diminution de pression. Lorsque celle-ci a atteint la pression de vapeur, la cavitation apparaît, ce qui est bien apparent sur les figures 5. D'autre part chaque demi aileron est soumis à un écoulement en rotation qui induit des échappements à ses deux extrémités. Les deux extrémités liées au bulbe ont des circulations opposées à celle que supporte le bulbe (Figure 9). Ainsi il y a neutralisation de la circulation, et le tourbillon d'ogive s'évanouit.

Concurremment par cet effet de la disparition de la circulation, lorsque le fluide parcourt la partie postérieure du bulbe, la section offerte au fluide croît, il y a diminution de la vitesse et augmentation de la pression, ainsi le bulbe développe une poussée vers l'avant.

Les figures 8 ci-dessus montrent et parachèvent la démonstration de l'élimination de la circulation sur le bulbe. Les brins de laine le long de l'aileron sont sensiblement horizontaux. D'autre part en aval du bulbe les brins de laine se referment.

Il faut maintenant souligner qu'en l'absence de bulbe (configuration γ) l'agitation des brins de laine n'est pas symétrique. L'examen de la figure 9 montre que sur la partie A l'aileron présente sa face travaillante, donc soumise à des pressions positives, tandis que les face B, B' sont soumises à des dépressions. En l'absence de bulbe le tourbillon d'ogive n'étant plus canalisé par le bulbe, celui-ci se trouve chassé dans les parties B B' ou il ne trouve pas de position stable. Les pressions positives le chassent vers la zone des pressions négatives ce que montre l'agitation des brins de laine sur la partie inférieure de l'aileron (Figure 10). L'écharpe tourbillonnaire observée passe sur la face de l'aileron en dépression, c'est-à-dire la portion inférieure. L'écoulement ne parvient pas à se réordonner, l'intensité tourbillonnaire est dispersée et son énergie correspondante dissipée. Ainsi s'explique la perte de performance énergétique.

L'effet de régularisation sur l'écoulement dû au bulbe Costa est confirmé par la réalité.

Des mesures comparatives de vibrations ont été effectuées sur un navire, dans un premier temps avec safran nu, puis dans un second temps avec bulbe (Figure 12). (5)

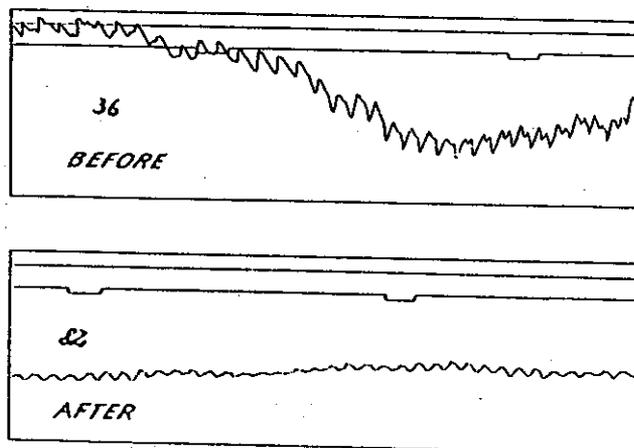


Figure 12 Comparaison des vibrations induites par l'hélice d'un navire avant puis après montage d'un bulbe

Le mécanisme exposé pour les pieds de pales n'existe pas en extrémité de pale. Même si le filet tourbillonnaire matérialisé par la cavitation peut paraître interrompu par l'aileron, il se reconstitue à une certaine distance. De toute manière, par exemple sur la figure 6 configuration γ , les écharpes apparaissent régulières dès l'extrémité de la pale. Il faut rechercher d'autres artifices pour les éliminer.

V - CONCLUSION :

Les avantages du bulbe Costa ont été mis en évidence. Ils ont bénéficié d'un effet de mode tant que la société "Maier Form" de Genève a assuré leur diffusion. Toutefois l'économie de quelques pour cents de puissance et la diminution de vibration qu'ils apportent n'ont pas été jugés contrebalancer leur surcoût. Les chantiers engagés dans la guerre des prix sont naturellement portés à les supprimer.

L'idée a été reprise par le système japonais qui semble jouir d'un certain succès.

Outre les expériences positives réalisées sur les grandes unités de commerce, signalons les réalisations de la Société Nationale de Sauvetage en Mer sur lesquelles plusieurs dizaines d'unités ont été équipées de ce dispositif. L'efficacité en a été prouvée par comparaison "in situ".

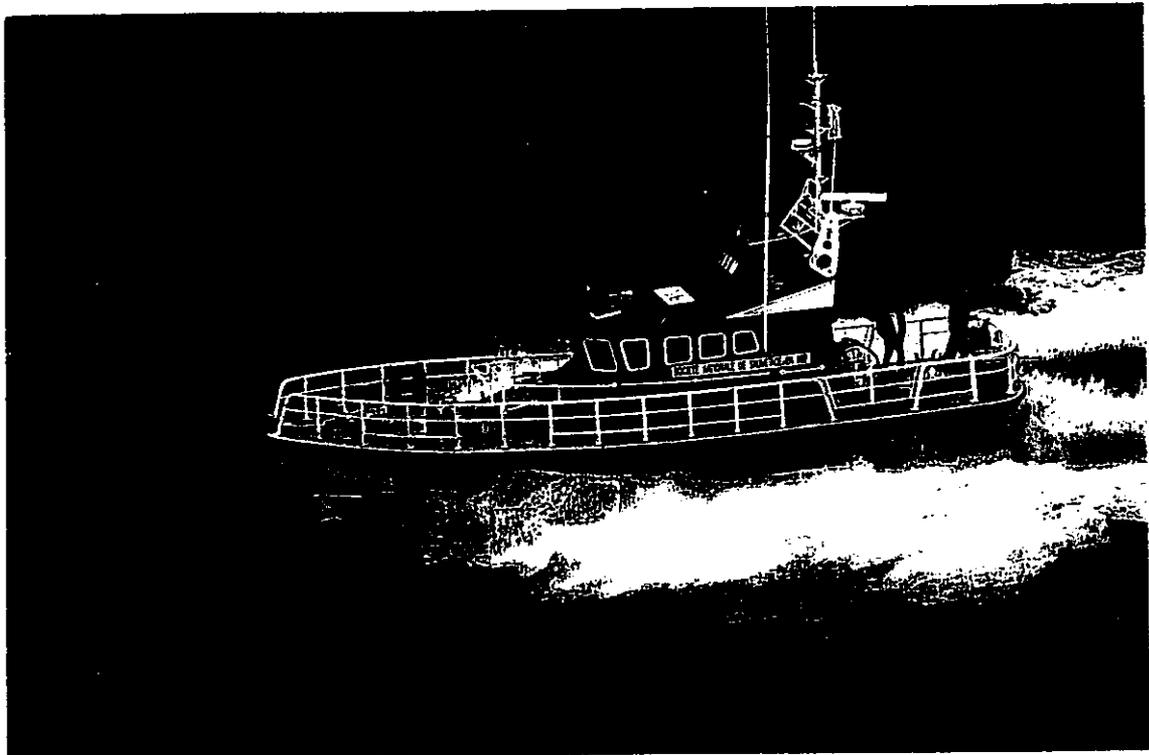


Figure 13 Canot de 15,50 M. de la Société Nationale de Sauvetage en Mer.
Une unité a subi des essais comparatifs, avec et sans bulbe Costa.

La combinaison carénage, hélice, aileron, peut-être étendue de manière à constituer un ensemble propulseur gouvernail. L'extension de l'aileron redresseur complétée par un système Becker permet de rassembler ces deux fonctions en un seul organe. L'efficacité du tracé de tuyère, combiné à l'ensemble Costa - Aileron démontrée en début de texte permet d'étendre ce type de propulseurs à des navires autres que les chalutiers et remorqueurs.

TABLE DES NOTATIONS

K_{T_T}	= coefficient de poussée de l'ensemble du propulseur.
K_{T_P}	= coefficient de poussée de l'hélice.
K_{T_N}	= coefficient de poussée du carénage, aileron et bulbe inclus.
K_Q	= coefficient de couple appliqué à l'arbre.
σ	= nombre de cavitation.
σ	= $\frac{1/2 \text{ pression atmosphérique} + \text{pression immersion} - \text{pression de vapeur}}{\rho (nD)^2}$
$K_{T_{...}}$	= $\frac{T_{...}}{\rho n^2 D^4}$
K_Q	= $\frac{Q}{\rho n^2 D^5}$
J	= $\frac{V}{nD}$

BIBLIOGRAPHIE

- (1) P. Sulmont : Application de la Théorie des Surfaces Portantes au Calcul des Hélices Marines et Supercavitantes. Thèse Doctorat 1966.
- (2) D. Van Mannenn & A. Superina : The Design of Screw Propellers en Nozzles. International Ship Building Progress 1959.
- (3) O. Greger Etudes récentes du bulbe de propulsion "Costa" ATMAM 1983
- (4) A. Aucher, M. Ebersolt, A. Hemon : Quelques réflexions sur les Propulseurs à Tuyère. A T M A 1992.
- (5) Note interne Bureau Maier Form Genève.

REMERCIEMENTS.

L'auteur remercie :

Monsieur l'Amiral M. Merveilleux du Vignaux, président de la Société Nationale de Sauvetage en Mer, ainsi que Monsieur l'Amiral Meignen Directeur Technique , pour avoir facilité le montage de ces bulbes sur les unités de la Société.

Monsieur le Capitaine de Frégate M. Perchoc de l'Etat Major de la Marine, pour les encouragements prodigués.

Monsieur Barreguero, anciennement attaché du Bureau Maier Form de Genève, pour les renseignements fournis.

M. K. Yossifov Directeur, MM. Kalchev et Goranov du Bulgarian Ship Hydrodynamics Centre (B.S.H.C.), pour leur assistance et leur travail consciencieux.

PHOTOGRAPHIES.

Vues en tunnel de cavitation : Bulgarian Ship Hydrodynamics Centre (B.S.H.C.)

Canot S N S M; F. Rouffi

