

COLS BLEUS

marine et arsenaux



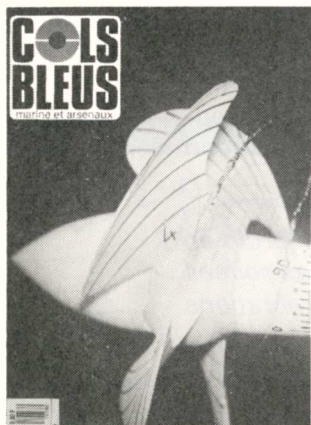
M 1396 - 1978 - 8.80 F



3791396008806 19780

27/02/1988

Notre photo : Tourbillon marginal de cavitation intermittent, dû au sillage d'un navire (modélisé par une série de grilles disposées en amont du plan de la photographie). Essai effectué au petit tunnel hydrodynamique du Centre du Val de Reuil du Bassin d'essais des carènes de la D.C.N. (voir notre article p.4).
 Au dos : Pétrels culs blancs par J.J. Audubon - photo P.O. Combelles (voir notre article p.11).



COLS BLEUS

Hebdomadaire de la Marine et des Arsenaux

directeur de la publication
 Général (2 S) Philipponat

COMITÉ DE RÉDACTION

Président :
 Olivier d'Hauthuille
 capitaine de vaisseau
Secrétaire général :
 Alain Dannery, capitaine de vaisseau.

Membres :
 Marie-Gabrielle Arnaudies - Daniel Beurier, maître - Pierre Dubrulle - Jean Ducros - Yann Dyèvre, commissaire principal - Jacqueline Eclache, officier principal féminin de la Marine - Jacques C. Favier - Jean-Noël Gard, capitaine de frégate - Henri Létard, capitaine de frégate - Louis Rannou, enseigne de vaisseau - Myriam Sochacki, officier de 2^e classe du C.T.A.M.

RÉDACTION

Directeur de la rédaction :
 C.V. Dannery

Secrétaire général de rédaction :
 Mme Arnaudies

3, avenue Octave Gréard
 75007 PARIS
 Tél. : 42.60.33.30.
 postes 27212 et 27325

PUBLICITÉ ET ANNONCES

Didier Contoux
 Petites annonces : poste 18

ADDIM-COLS BLEUS
 6, rue Saint-Charles - 75015 Paris
 Tél : 45.77.03.76.

ADMINISTRATION ABONNEMENTS

COLS BLEUS
 6, rue Saint-Charles
 75015 PARIS
 Tél : 45.77.03.76.

Abonnements :
 1 an : 260 F (T.T.C.)
 6 mois : 185 F (T.T.C.)
 Etranger : 393 F.
 CCP ADDIM-COLS BLEUS
 16.119.79 G PARIS

Changement d'adresse :
 pour qu'il soit exécuté, joignez à votre bande d'abonnement la somme de 3 x 2,20 F = 6,60 F.
 (3 timbres à 2,20 F)



Composition et montage :
 E.D.P.R. 18-20, rue Claude Tillier
 75012 PARIS

Imprimerie :
 Avenir Graphique
 B.P. 50-77201 Marne-la-Vallée

Photogravure, impression, couverture :
 P.O.P.
 Z.I. de la Haie-Passard
 77170 Brie-Comte-Robert

Les manuscrits et les photos non insérés ne sont pas rendus. Sauf mention spéciale, la reproduction des articles est autorisée sous réserve de mentionner l'origine.

SOMMAIRE

n° 1978

du 27 février 1988

LA CAVITATION ET LES HÉLICES

par P. Ligneul et Y. Lecoffre

4

LA BAIE DE FUNDY

par J.J. Audubon

Traduit de l'américain et présenté par P.O. Combelles

11

IL FAUT SAVOIR

16

OÙ SONT NOS BÂTIMENTS ?

17

RÉGIONS PORTS ET BASES

Actualité, Lorient, Brest, océan Indien, Rochefort, Toulon

18

LA VIE DES AMICALES

24

MONITEUR DE LA FLOTTE

26

PETITES ANNONCES

27

MAGAZINE

Cinéma, livres, mots croisés, peinture, nouvelles de la mer

30

La cavitation

L A jubilation de l'écouteur A.S.M., excité par le bruit de cavitation des hélices de l'intrus qui s'efforce de rester inaperçu, l'ulcère du concepteur des propulseurs du dit intrus, font partie du jeu de la discrétion acoustique des navires militaires.

L'un et l'autre de ces acteurs peuvent rêver ou pleurer dans leur jardin en tordant légèrement le tuyau d'arrosage transparent de leurs belles soirées d'été. Le nuage de bulles visible, au pli, le crépitement et les vibrations produites réveilleront leur conscience professionnelle...

De l'ébullition à température constante

La cavitation est un phénomène courant et néanmoins peu connu qui peut se décrire très schématiquement comme une ébullition à température constante (figure 1). La température de changement de phase eau-vapeur est par définition de 100° Celsius au niveau de la surface de l'océan où la pression ambiante est en moyenne de 1 atmosphère (10^5 Pascal). Dans un autocuiseur, cette température d'ébullition peut s'élever jusqu'à 140° C et, à l'intérieur des circuits à eau pressurisée de réacteurs nucléaires, elle peut atteindre plusieurs centaines de degrés C. A contrario, au sommet du mont Blanc, elle ne dépasse pas 80° C et peut être obtenue à 10° C dans une enceinte sous vide. Des chutes de pression intenses apparaissent dans l'eau au voisinage des hélices des navires, dans les vannes de circuits hydrauliques, dans des conduites présentant des coudes, des rétrécissements, des arêtes ou des aspérités. C'était le cas

dans le tuyau d'arrosage qui a servi à introduire cet article.

La cavitation peut aussi apparaître dans une grande variété de situations et de liquides ; par exemple dans l'huile de lubrification des paliers d'arbres fortement chargés, dans les circuits d'huile de commande de vérins, ou dans les circuits de sodium liquide des échangeurs de centrales nucléaires.

En réalité, ni la cavitation ni l'ébullition ne peuvent apparaître sans la présence de « germes » ou de points faibles constitués par des microbulles de gaz ou des impuretés contenues dans l'eau. En l'absence de ces germes, on a détecté à l'expérience une « pression de résistance à la cavitation » équivalente à une traction dans le liquide de plusieurs centaines de bars. De ce fait, la courbe de la figure 1 traduit l'état d'un milieu saturé en microbulles de gaz. Des campagnes de

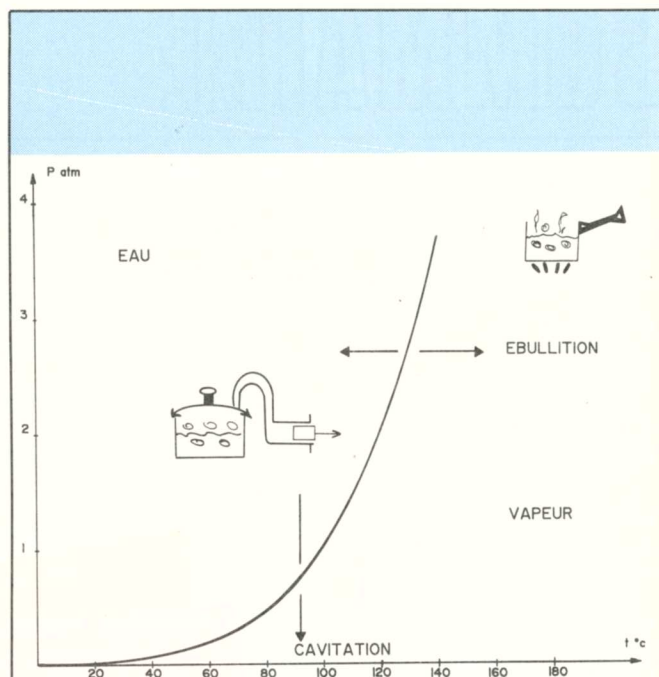


Figure 1. Changement de phase eau-vapeur

Figure 1 : Changement de phase eau-vapeur

Pour que l'eau se change en phase vapeur, il est nécessaire de lui apporter une certaine quantité d'énergie. Lorsque l'on chauffe une casserole d'eau à surface libre, la pression reste inchangée et vaut 1 atmosphère au niveau de la mer, l'énergie est alors apportée sous forme thermique à pression constante.

Si au contraire la pression diminue, le changement de phase eau-vapeur peut se produire à température constante. Ce phénomène intervient lors de la cavitation.

et les hélices

par P. Ligneul et Y. Lecoffre

du Bassin d'essais des carènes de la D.C.N.

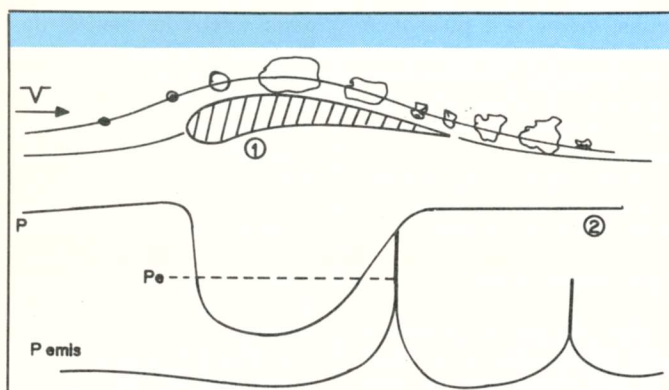


Figure 2

Une microbulle de gaz se déplace sur une ligne de courant à une vitesse V au voisinage de l'extrados d'une section de profil portant (1). Elle rencontre alors une pression P qui diminue (contribuant au facteur de « portance » du profil).

Quand cette pression passe au-dessous d'un certain niveau de pression critique P_c qui dépend de la taille de la bulle et de la pression de vapeur, l'eau se vaporise à l'intérieur de la bulle, la faisant grossir de façon explosive. Lorsque la bulle quitte la région de basse pression la vapeur se recondense très rapidement engendrant le « collapse » de la cavité qui émet alors un « pic » de pression intense. Le contenu de la bulle de gaz joue alors le rôle d'un ressort qui la fait « rebondir » engendrant par inertie un nouveau pic de pression.

La présence de la paroi peut générer une asymétrie sur la forme de la bulle et il se produit alors un « jet rentrant » de quelques micromètres de diamètre qui vient frapper la paroi à une vitesse pouvant atteindre 200 m/s.

mesures ont été effectuées par divers pays pour connaître le contenu en germes de gaz de l'eau de mer, dans le but de déterminer la résis-

tance à caviter des hélices comparée à celle qui serait obtenue dans un milieu saturé en germes de cavitation.

Néfaste en hydrodynamique navale

La cavitation a des conséquences néfastes pour les hélices des navires. Contrairement à l'ébullition qui est un phénomène peu violent, la cavitation se manifeste, la plupart du temps, par le bru-

tal grossissement des microbulles de gaz qui sont « convectées » dans la zone de dépression intense qui apparaît à l'extrados d'une pale d'hélice (figure 2 et 3). Lorsque ces bulles quittent cette

zone, elles se condensent brutalement en engendrant une très forte pression localisée. Ce « collapse » des cavités agit sur les parois environnantes (celles de l'hélice) de façon complexe mais assimilable à l'action d'une aiguille poussée par un gros marteau.

En cours de fonctionnement, une hélice « mal calculée » peut être soumise à des milliards de collapses qui finissent par éroder la paroi (figure 4). Il faut toutefois souligner que les hélices modernes sont de moins en moins sensibles à cette érosion de cavitation. En parti-

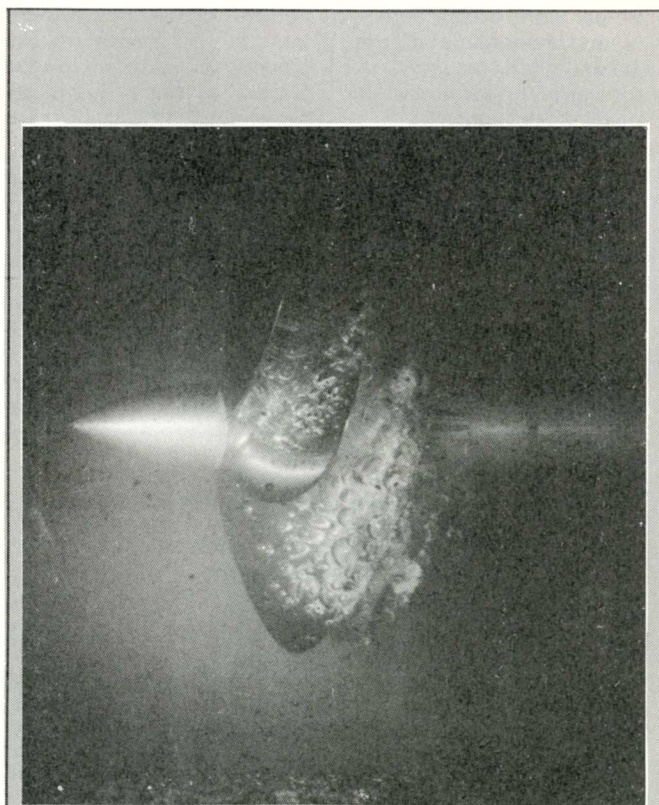


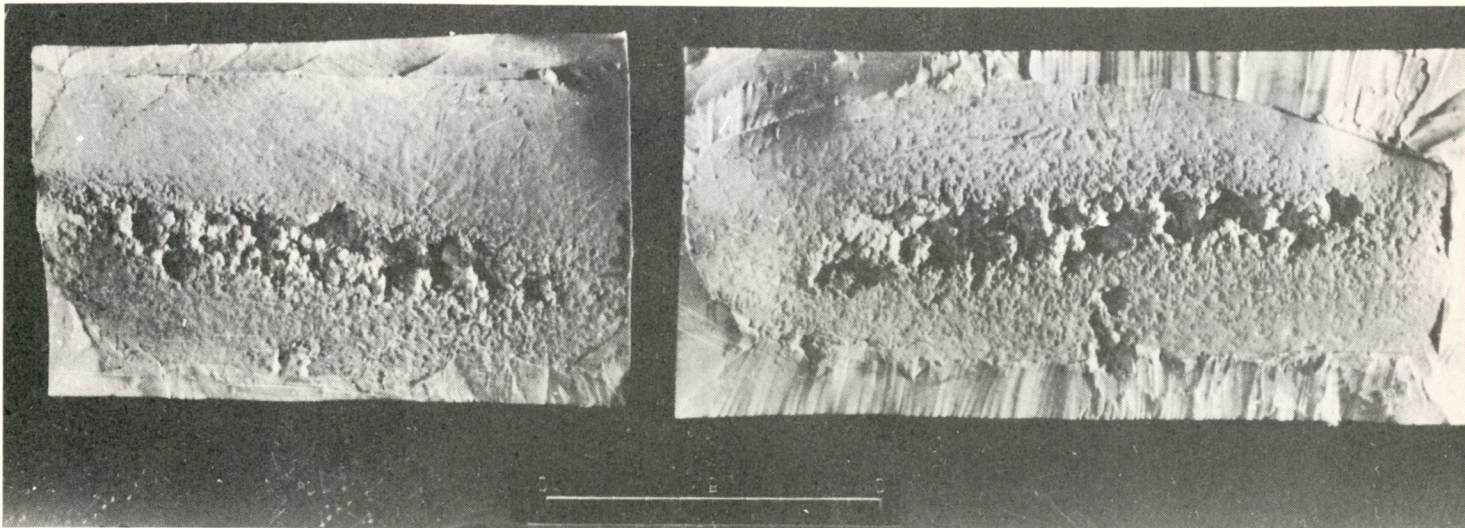
Figure 3

Observation de la cavitation par bulles sur une hélice modèle au « petit tunnel hydrodynamique » du Bassin d'essais des carènes.

Chaque section cylindrique de pale d'hélice peut être assimilée au schéma de la figure 2.

Tout nouveau projet d'hélice est ainsi essayé à une échelle réduite pour évaluer ses performances en cavitation.

Des techniques d'extrapolation à l'échelle 1 permettent de prévoir ce que seront les performances de l'hélice véritablement « opérative ».



Moulages de l'érosion sur pales d'hélices

culier, lorsque la cavitation ne peut être évitée, le dessin des pales est fait de telle façon que les collapses apparaissent seulement après le passage au voisinage des parois, et deviennent donc inoffensifs.

Les pompes hydrauliques sont par contre très sensibles au phénomène d'érosion car il n'y a pas de milieu liquide ouvert pour absorber ces collapses (figure 5).

La présence de cavités de vapeur au voisinage des pales d'hélices altère leurs performances propulsives ; l'hélice finit par brasser de la vapeur plutôt que de l'eau. Son rendement (puissance de propulsion fournie par l'hélice sur puissance délivrée par les machines à l'arbre) chute brutalement lorsque la cavitation se développe. Ainsi se trouve limitée la vitesse des navires, munis d'hélices classi-

ques, même si la puissance des machines augmente énormément. La limite apparaît aussi en phase d'accélération à partir du point fixe. Dans ce cas, l'hélice « décroche » de façon comparable à l'aile d'un avion en trop forte incidence et la cavitation par poche est alors prédominante.

Par ailleurs, la cavitation est responsable d'un bruit de fort niveau qui rayonne

dans l'eau de mer à des dizaines de kilomètres et qui parfois peut être détecté par les bases d'écoute océaniques, ce qui risque de nuire à la sécurité des bâtiments militaires.

Enfin, la cavitation est responsable d'intenses vibrations qui se propagent le long des lignes et qui nuisent au confort de l'équipage et à la maintenance des divers organes qui concourent à la propulsion.

Figure 4 : Erosion de cavitation

Les bulles de cavitation, en s'écrasant brutalement contre les parois auprès desquelles elles sont produites, créent des trous de quelques dizaines de microns tels ceux représentés sur cette photographie qui reproduit la vue microscopique de 1 mm² de matériau.

Malgré la très grande complexité des écoulements cavitants, il est possible de prévoir le nombre des trous que présentera une hélice réelle à partir d'un essai sur modèle réduit.

Des recherches financées par la DRET laissent entrevoir la possibilité, à brève échéance, de donner, avec précision, la durée de vie d'une machine hydraulique ou d'une hélice, avant qu'elle ne soit détruite par la cavitation.



Les formes diverses de la cavitation

Au voisinage de l'extrémité d'un bout de pale d'hélice (figure 6), la différence de pression entre les deux faces de la pale engendre un tourbillon que la cavitation permet de très bien visualiser. Ce tourbillon se manifeste par une dépression centrée et intense au voisinage de laquelle la pression critique de vaporisation peut être atteinte. Cette forme de cavitation n'est dangereuse ni pour l'érosion, ni pour les performances propulsives des hélices, mais elle est souvent inévitable, ce qui est néfaste car elle est aussi responsable de bruits nuisibles à la discrétion acoustique des bâtiments militaires.

La cavitation peut aussi prendre la forme de poches de vapeur accrochées aux organes cavitants (figure 7). Ce comportement est parfois volontairement suscité

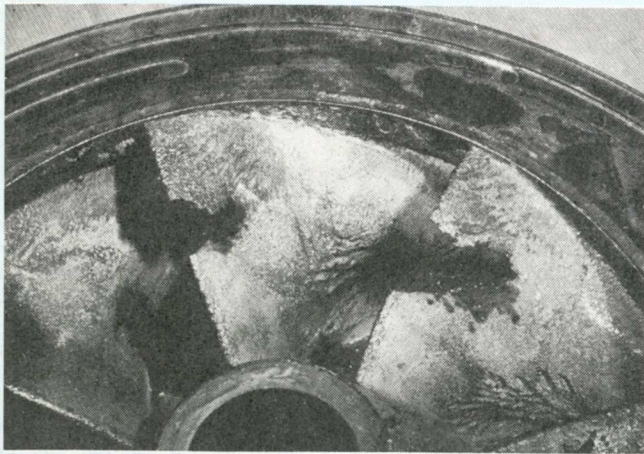


Figure 5 : Exemple d'érosion sur un corps de pompe

Cette roue de pompe montre les dégâts que peut subir un composant hydraulique soumis à la cavitation.

Les recherches en cours visent à développer des méthodes de prévisions du phénomène qui, jusqu'à une date récente, ne pouvait être analysé que par comparaison avec le comportement des composants travaillant dans des situations voisines.

Il faut savoir que des barrages ont été très endommagés en quelques heures de fonctionnement par le phénomène et qu'un navire a eu son hélice détruite après quelques heures de navigation à grande vitesse.

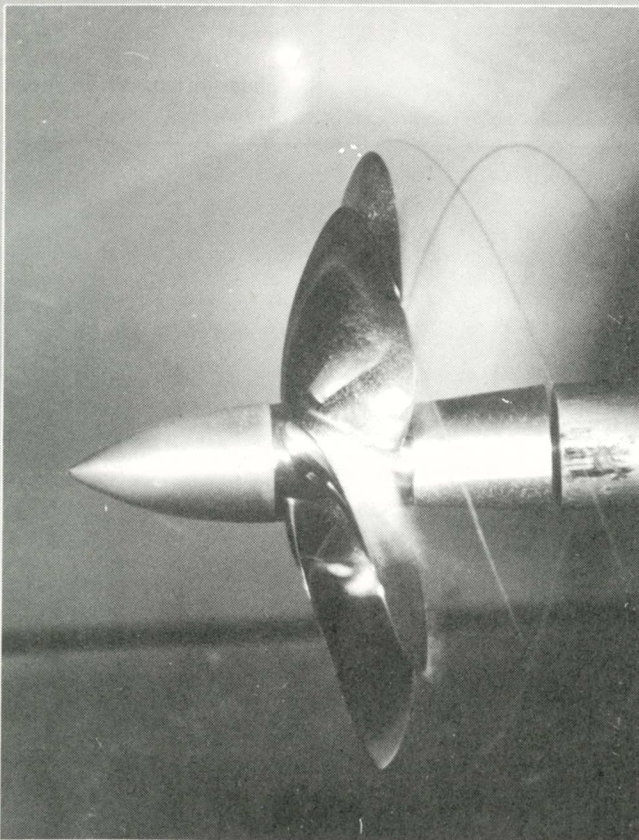
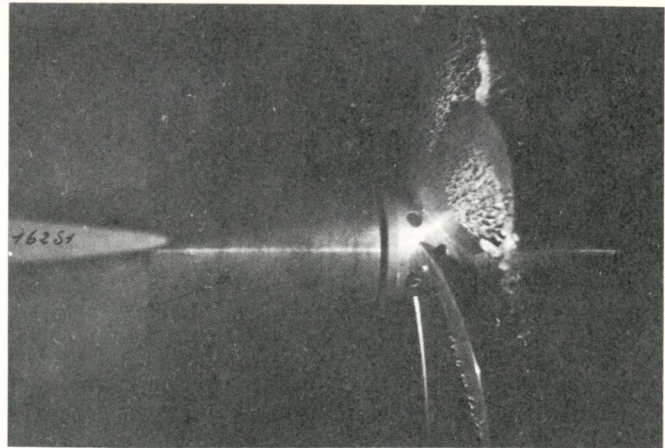


Figure 6 : Cavitation de tourbillon marginal

(dessus et ci-contre)

Cette forme de cavitation est en général la première à apparaître lors de l'accroissement de charge d'une hélice. C'est la forme de cavitation la plus difficile à éviter. Elle ne joue néanmoins pas un rôle important sur les caractéristiques propulsives de l'hélice.



La cavitation par bulles

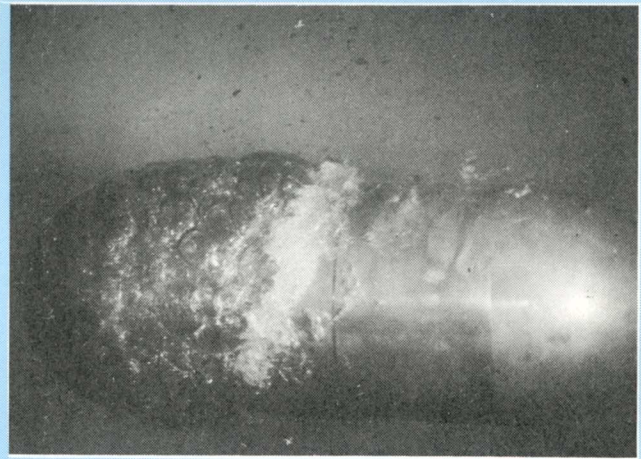
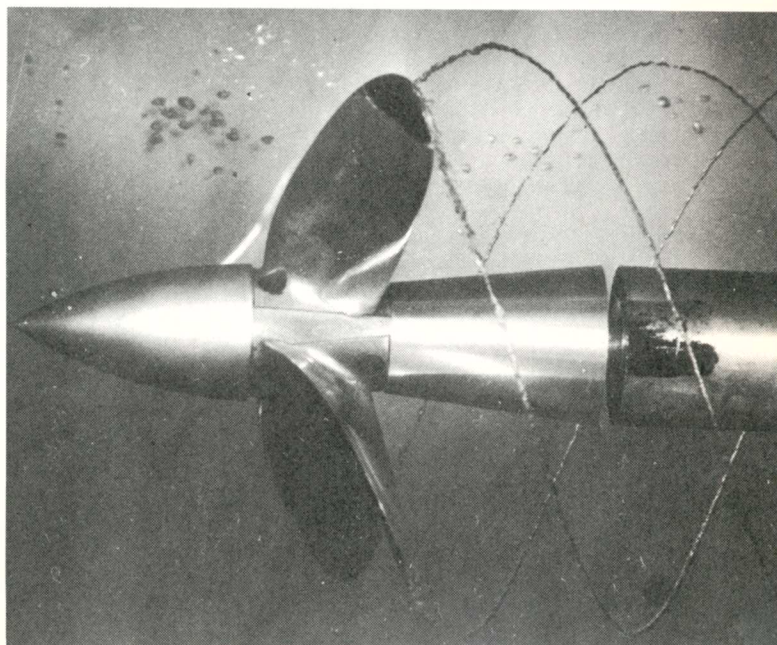


Figure 7

La cavitation sur une ogive modèle en tunnel hydrodynamique donne une idée sur les problèmes pouvant apparaître sur les torpilles à haute vitesse. A l'aval de la poche de cavitation, les cavités, qui s'échappent, donnent des coups violents à la structure, néfastes à bien des égards.



pour certaines hélices de bateaux rapides, que l'on nomme hélices supercavitantes. Dans cette configura-

tion, l'extrados est noyé dans une poche de vapeur qui s'étale à l'aval sur une grande distance.

monde entier. Les recherches sont de type théorique ou expérimental. La théorie en hydrodynamique navale, dans le domaine de la cavitation, a pour but essentiel de comprendre les mécanismes fondamentaux qui sont impliqués et d'en déduire des conséquences chiffrées sur le rayonnement acoustique et les performances des propulseurs.

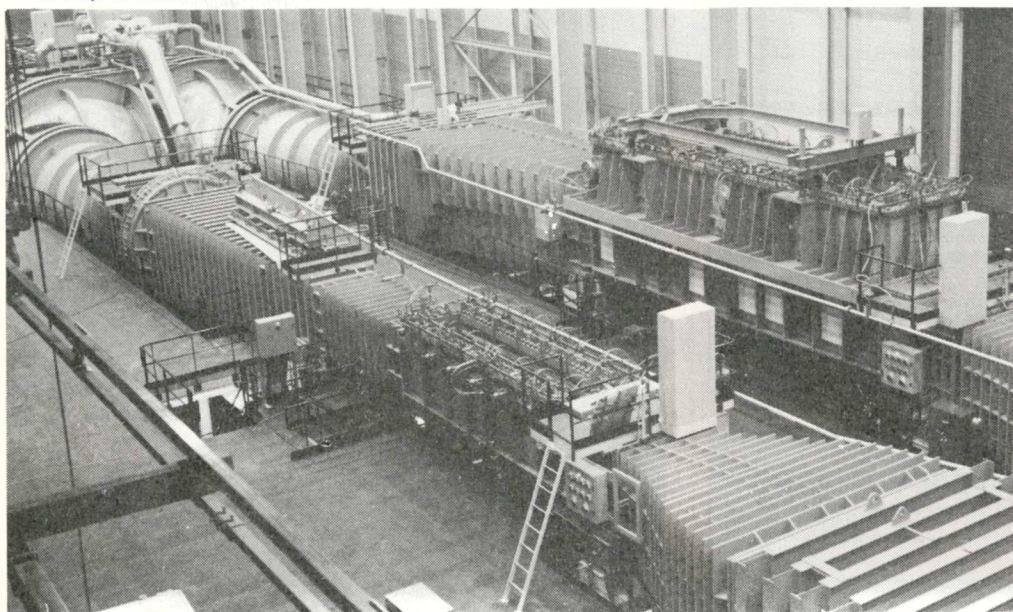
La cavitation interagit avec d'autres phénomènes comme la turbulence de l'écoulement, l'état de surface des pales d'hélices, les distorsions de l'écoulement incident sur l'hélice dues à la présence du navire, les vibrations naturelles des pales et avec d'autres facteurs qui peuvent encore intervenir. Les études théoriques sur la cavitation se heurtent donc souvent à la complexité de la situation dans laquelle on la rencontre.

Un outil de base : le tunnel hydrodynamique

Le phénomène de cavitation a suscité déjà plus de 30 000 publications et con-

tinue d'occuper de nombreux laboratoires et centres de recherches dans le

Le grand tunnel hydrodynamique : on distingue sur cette photographie les deux veines d'essais munies de hublots de visualisation, les convergents qui alimentent les veines et, dans le fond, la cuve aval que l'on utilise pour éliminer les bulles d'air.



La meilleure approche reste encore, de nos jours, la voie expérimentale, qui consiste à essayer des modèles réduits de navires ou d'hélices et, par la voie de l'empirisme et de la théorie, de déduire à partir de ces essais les performances de l'hélice en vraie grandeur. L'instrument typique du chercheur dans le domaine de la cavitation est le tunnel hydrodynamique (figure 8). Véritable « soufflerie à eau », il permet de fixer la maquette dans une « veine d'essais » et de faire couler l'eau autour. Cette configuration permet d'effectuer facilement un grand nombre d'observations et de mesures.

GRAND TUNNEL HYDRODYNAMIQUE

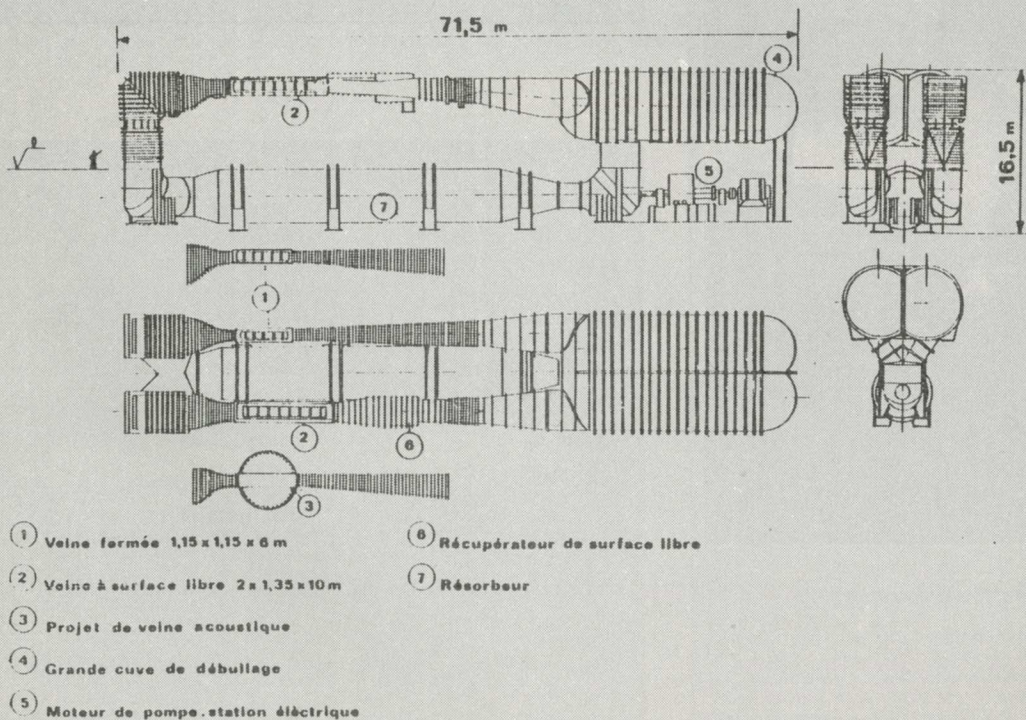


Figure 8 : Le Grand Tunnel Hydrodynamique (G.T.H.)

Ce tunnel de cavitation, nouvellement installé à Val de Reuil, ville nouvelle située à 30 km à l'est de Rouen, est l'un des plus grands du monde. Sa réalisation a été faite par Alsthom sous la maîtrise d'ouvriers de l'ETCA. Il sera géré par le Bassin d'essais des carènes.

Il possède deux veines d'essais, dont la plus grande a une section de 2 m par 1,35 m, qui peuvent fonctionner indépendamment l'une de l'autre.

Il est prévu pour effectuer des essais en modèle réduit de maquettes diverses, sous-marins, hélices, coques de navires de surface, tous composants susceptibles d'être soumis au phénomène de cavitation. On envisage également de réaliser des analyses du bruit émis par des structures placées dans les écoulements et des essais de mécanique des fluides traditionnels, incluant l'aérodynamique.

Cinq paramètres de similitude, et toujours Froude et Reynolds.

Outre le coefficient de poussée donné en exemple dans le corps du texte ; on utilise les paramètres de similitude suivants :

★ Le coefficient de poussée :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

où ρ est la masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³)

★ Le coefficient de couple :

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

★ Le rendement :

$$R = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q}$$

Les paramètres K_T , K_Q et R déterminent ce que l'on appelle les caractéristiques dynamométriques de l'hélice, que l'on espère retrouver au réel à partir des essais sur maquette.

★ Le paramètre de cavitation :

$$\sigma = \frac{P_c - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

où P_v est la pression de vapeur saturante (figure 1).

P_c est la pression du tunnel à laquelle la cavitation apparaît sur l'hélice à n et V fixés. A priori, la connaissance de P_c permet de donner la vitesse du bateau pour laquelle la cavitation apparaîtra.

A ces paramètres, il faut rajouter les nombres de Reynolds (Re) et de Froude (F) qui caractérisent la nature de l'écoulement de l'eau autour du navire.

— Le nombre de Froude : influence de la surface libre de l'océan et de l'immersion des hélices.

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

La constante de gravitation g joue le rôle d'un ressort de rappel à l'équilibre sur les mouvements de la surface, c'est pourquoi le nombre de Froude est toujours impliqué dans les problèmes concernant la houle et les vagues d'accompagnement des navires. Les essais en bassin de traction des maquettes de navire permettent d'étudier la conséquence de ces phénomènes sur les performances générales du navire en relation avec la forme de la coque et la répartition des masses. Pour l'étude en cavitation des hélices, l'influence de la surface libre sur les performances des

hélices est plus locale. La pression hydrostatique du moyeu de l'hélice s'écrit :

$$P_s = \rho g h + P_{\text{atmosphérique}}$$

h est l'immersion du moyeu de l'hélice et joue un rôle sur l'apparition de la cavitation. Plus h est grand moins l'hélice cavit.

Pour un sous-marin, la pression hydrostatique limite les risques de cavitation et plus il est profond plus il peut aller vite sans caviter. Pour un navire de surface, l'immersion variable de chaque section de pale favorise une cavitation instationnaire qui est responsable de bruits intenses et de vibrations. Par ailleurs, la présence de la surface libre au voisinage des hélices modifie l'écoulement de l'eau autour des pales.

Pour illustrer cette influence, on peut se servir d'un exemple : une bougie allumée dans un local noir et de dimensions très grandes ne produira pas la même lumière que la même bougie placée dans une salle munie de miroirs sur chaque mur. L'ensemble des miroirs renvoie une série infinie d'images éclairantes qui changent l'intensité lumineuse reçue en un point quelconque de la salle. De façon équivalente, l'image de l'hélice par rapport à la coque du navire et la surface libre de l'océan modifie le champ des vitesses de l'eau au voisinage des pales par rapport à ce que l'on obtiendrait pour une hélice isolée dans un milieu dit « infini » c'est-à-dire sans frontières.

Les valeurs d'immersion d'une hélice modèle dans un tunnel de cavitation sont évidemment limitées par la dimension de la veine d'essais, les vitesses d'écoulement d'eau représentant le bon nombre de Froude peuvent donc varier dans un intervalle assez restreint.

— Le nombre de Reynolds Re : l'effet de la viscosité et la turbulence du fluide.

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

où ν est le coefficient de viscosité cinématique de l'eau.

Ce paramètre traduit l'influence du frottement des molécules d'eau sur la coque du navire et sur les pales d'hélice. La viscosité est aussi responsable d'une agitation aléatoire de l'eau communément appelée « turbulence ». L'étude des écoulements turbulents constitue une branche très active de la mécanique des fluides et fait appel à des concepts et un formalisme élaborés.

L'état de la turbulence influe sur le mécanisme d'apparition de la cavitation. Un moyen de modéliser le phénomène consiste parfois à coller des grains de sable sur le bord d'attaque des sections de pale. Cette rugosité artificielle produit des microfluctuations de vitesse de l'eau qui simulent la turbulence naturelle rencontrée à l'échelle du prototype.

* NDLR. Dans les symboles utilisés ici, pour des raisons typographiques, ρ traduit la lettre grecque ro, ν traduit la lettre grecque gamma, R traduit la lettre grecque éta et σ traduit la lettre grecque sigma qui sont habituellement utilisés.

Les paramètres physiques, qui sont relevés en tunnel, peuvent être inventoriés en fonction de leurs conséquences :

- V (mètres par seconde) : la vitesse moyenne de l'écoulement dans le tunnel. Elle correspond (au facteur d'échelle près) à la modélisation de la vitesse d'avance du navire.

- P (pascal) : la pression « atmosphérique » du tunnel. Elle peut se régler, en général, de 0.1 bar environ à 5 bars environ. Elle sert à modéliser la profondeur d'un navire (sous-marin), ou encore à faire apparaître le phénomène de cavitation artificiellement.

- n (nombre de tours par seconde) : la vitesse de rotation de l'hélice modèle.

- $N(R)$ le nombre de bulles de taille R par unité de volume. Il permet de contrôler la population de bulles de gaz dans le tunnel. Ce paramètre joue un rôle important pour estimer l'apparition de la cavitation au réel. L'eau du tunnel est « dégazée », ses bulles « naturelles » sont éliminées et des bulles artificielles « calibrées » sont injectées pour représenter la population estimée probable en eau de mer.

- T (Newton) : la poussée de l'hélice mesurée sur l'arbre, qui caractérise ses performances propulsives.

- Q (Newton-mètre) : le couple fourni à l'arbre par le moteur d'entraînement de l'hélice. Il représente l'action des machines sur la ligne d'arbre.

- L (dB) (pression acoustique) : le bruit de cavitation en tunnel. C'est un des renseignements les plus difficiles à extrapoler au réel. Les règles d'extrapolation des spec-

tres de bruit constituent un sujet de recherche très courant dans le monde de l'hydrodynamique navale. Actuellement, on se contente souvent de hiérarchiser le bruit de cavitation en tunnel par rapport au « bruit de fond » sans cavitation. Ceci permet d'optimiser en valeur relative les divers propulseurs sous leur forme maquette.

L'outil d'interprétation : la « similitude »

Les données physiques essentielles du tunnel sont regroupées en diverses combi-

naisons appelées « paramètres de similitude » qui caractérisent le fonctionnement

d'une hélice. Leur connaissance fournit notamment une approche d'interprétation des résultats obtenus dans l'installation pour les appliquer à la réalité. Par exemple, le « degré d'avance » (ou calage), $J = V/nD$ (où D est le diamètre de l'hélice), détermine la façon dont l'hélice se « visse » dans l'eau. Il existe une valeur caractéristique J_0 pour laquelle l'hélice ne pousse pas et ne résiste que

très peu ; lorsque J diminue, la poussée T de l'hélice augmente jusqu'au moment où l'hélice décroche ou cavite. On trouve aussi le « coefficient de poussée », le « coefficient de couple », le « rendement », le « paramètre de cavitation » et les inévitables nombres de Froude et de Reynolds (les deux mammelles de l'hydraulique). Les définitions détaillées de ces paramètres ont été placées en encadré.

qui résument les performances des navires en les classant selon certains critères : puissance des machines, taille et nombre des hélices, etc... Tout nouveau projet a une chance de s'insérer dans ce domaine de variation des paramètres et ses performances se déduisent alors d'interpolations plus ou moins sophistiquées entre les performances de navires de caractéristiques voisines.

Cette démarche est encouragée par les progrès croissants dans le domaine du calcul scientifique. De véritables visualisations « numériques » peuvent être effectuées à moindre coût sur un nouveau projet, ce qui permet d'optimiser sur dessin avant sa construction. Néanmoins, rien ne peut encore remplacer l'expérimentation sur maquettes d'hélices pour ce qui concerne la cavitation.

Le cas du futur porte-avions nucléaire

Le futur porte-avions nucléaire Charles de Gaulle, de 238 m de long et d'une vitesse maximale de 28 nœuds, a été modélisé sous forme de maquette au Bassin d'essais des carènes à l'échelle 1/32^e (donc de longueur 7,4 m) qui évolue à la vitesse de 5 nœuds (= 2.5 m/s) pour respecter la similitude de « Froude » :

$$Fr = \frac{V_{réel}}{\sqrt{g L_{réel}}} = \frac{V_{maquette}}{\sqrt{g L_{maquette}}}$$

En supposant que la cavitation apparaisse à 28 nœuds sur le porte-avions, le paramètre de cavitation prend la valeur « réelle » de :

$$\sigma = 1.02$$

Pour conserver constant ce paramètre en tunnel de cavitation, il faudrait ajuster la pression atmosphérique du tunnel à 0.03 bar. Il est donc nécessaire d'avoir un système de « pompes à vide » pour purger le tunnel de son air jusqu'à obtenir cette pression.

Une taille de maquette de 7,4 m de longueur n'est pas toujours logeable dans un tunnel hydrodynamique. On se contente alors d'essayer une hélice, fonctionnant derrière une forme munie d'appendices appelés « générateurs de sillage » qui permettent de simuler l'écoulement autour de la forme complète du porte-avions.

L'hélice est alors réalisée à une échelle de réduction moins importante que la maquette complète.

La similitude exacte : le rêve impossible

La similitude exacte serait obtenue si l'ensemble des paramètres restait le même pour le modèle et le prototype d'échelle 1.

Cette situation idéale n'est jamais obtenue parfaitement en raison de multiples facteurs dont le plus évident est que l'eau des essais n'est pas en similitude avec l'eau de mer. Pour réaliser une bonne similitude du liquide, il faudrait que la viscosité du liquide « modèle » soit très inférieure à celle de l'eau de mer. Cette condition pourrait être obtenue en effectuant des essais dans l'hélium liquide. En réalité, les essais d'hydrodynamique navale en cavitation se font, en général, à nombre

de Froude constant et à nombre de cavitation constant.

Les autres paramètres de similitude ne pouvant pas être gardés constants, une bonne prédiction des caractéristiques en cavitation de l'hélice réelle nécessite des corrections sur les résultats obtenus sur les maquettes. Ces corrections ont été la plupart du temps empiriques et fondées sur la comparaison effective entre modèle et réalité. Le bon ingénieur concepteur d'hélice fut jusqu'aux années 1950, un maestro dans la cuisine des effets d'échelle.

Ces dernières années, la tendance générale est d'établir des banques de données

Malgré le très grand nombre d'études menées dans le passé et de nos jours sur le phénomène de cavitation, un vaste domaine de questions non résolues reste ouvert à l'investigation des centres de recherches.

Cet article est focalisé sur la cavitation des hélices marines, mais il convient de noter que la majeure partie des mécanismes producteurs d'écoulements de liquide peuvent être atteints. Les composants des circuits hydrauliques du bord — tuyauteries, coudes, pompe — pourront ainsi devenir des sources de bruit qui se propageront dans l'eau à travers la coque.

Les méthodes décrites ici peuvent tout aussi bien s'appliquer à ces composants ; leur fonctionnement peut être prévu en laboratoire. Une règle empirique simple, « la règle du pouce », permet de prévoir les cas où l'on doit se préoccuper du phénomène. Elle s'énonce comme suit : lorsque la vitesse d'un écoulement dépasse 15 m/s

ou qu'une pression de « perte de charge » dépasse 1 bar, il y a lieu de s'interroger sur le risque d'apparition de cavitation. (La perte de charge est la pression caractéristique de résistance d'un composant de circuit hydraulique à un écoulement ; elle joue le rôle d'une tension aux bornes d'un composant de circuit électrique).

Cette règle empirique permet de comprendre que même les circuits d'huile haute pression de commandes mécaniques présents à bord peuvent susciter une cavitation gênante.

Le sujet d'étude « cavitation » reste et restera pour longtemps de type théorique, numérique et expérimental. Il n'est pas prévisible à moyen terme d'éliminer l'expérience au profit du calcul sur ordinateurs, en raison de multiples facettes de l'évolution possible d'un ensemble disparate de « cavités de vapeur », au sein d'un écoulement qui est lui-même de nature très complexe.

Quelques laboratoires spécialisés

Des laboratoires français qui travaillent sur ces questions, on peut donner la liste, non exhaustive, suivante :

- ★ Bassin d'essais des carènes de Paris,
- ★ A.C.B., Centre d'étude et de recherches de Grenoble,
- ★ Institut de mécanique de Grenoble,
- ★ Centre de recherche et d'études de machines hydrauliques de Grenoble,
- ★ Commissariat de l'énergie atomique (Cadarache),
- ★ Ecole nationale supérieure de techniques avancées (Centre de l'Yvette) Palaiseau,
- ★ Ecole nationale supérieure des arts et métiers de Lille,
- ★ Centre d'études aérodynamiques et thermiques de Poitiers,
- ★ La Direction des recherches, des études et techniques (D.R.E.T.) de la D.G.A. finance et coordonne une partie des recherches.