La prévision de la cavitation en fonction de l'état de nucléation de l'eau et des conditions hydrodynamiques

Cas de l'écoulement autour d'une aile bidimensionnelle

L. Briançon-Marjollet - J. P. Franc - J. M. Michel

Institut de mécanique de Grenoble

1. Introduction

La cavitation sur un profil bidimensionnel se manifeste principalement sous deux formes, soit sous la forme de bulles séparées entraînées par l'écoulement, soit sous la forme de poches de vapeur attachées aux parois cavitantes. Ces deux types de cavitation sont contrôlés par deux facteurs principaux, la qualité de l'eau d'une part et les conditions hydrodynamiques d'autre part. Le présent exposé est consacré à la présentation de critères permettant de prévoir, à partir de ces deux facteurs déterminants, sous quelle forme la cavitation se développera dans un écoulement donné.

La qualité de l'eau en ce qui concerne la cavitation est essentiellement caractérisée par son contenu en microbulles. Ce sont en effet les microbulles d'air et de vapeur d'eau transportées par l'écoulement qui, déstabilisées dans les zones de basse pression, donnent naissance à une cavitation par bulles séparées.

Quant aux conditions hydrodynamiques telles que la vitesse, le niveau général de pression, le taux de turbulence, c'est par l'intermédiaire de la couche limite qu'elles gouvernent, qu'elles peuvent influencer sur le type de cavitation. Selon que la couche limite est laminaire ou turbulente, décollée ou non, un type de cavitation peut se développer aux dépens de l'autre.

Prediction of cavitation as a function of water nuclei content and hydrodynamic conditions

(case of the flow around a two-dimensional hydrofoil)

Numerous tests have been carried out recently on the hydrodynamic tunnel of the « Institut de mécanique de Grenoble » to investigate the coupled effects of nuclei and viscosity on cavitation. Several water nuclei contents are tested by means of the injection of air microbubbles in variable quantity upstream of the test section. The spectra of injected cavitation nuclei, characterized by a histogram of critical pressures, is measured by means of a venturi. The influence of the water nuclei content is analysed for different types of boundary layers obtained in varying the angle of attack of a two-dimensional Naca 16209 hydrofoil : laminar boundary layer with laminar separation, transition boundary layer, turbulent boundary layer, laminar separation bubble. For each configuration, we study the conditions of inception of cavitation and the type of cavitation which develops — travelling bubbles or attached cavity — as a function of the water quality.

In addition, we studied the transition from an attached cavity to travelling bubble cavitation which may occur when the nuclei concentration exceeds a critical value. Several rapid films allowed us to analyse in details the influence of nuclei explosion on the boundary layer and on the cavity, and to point out the physical mechanisms responsible for the transition from one type of cavitation to the other one.

All these tests permit now to predict the conditions of inception and development of cavitation on a two-dimensional hydrofoil as a function of the water nuclei content and the hydrodynamic conditions, and particularly of the state of the boundary layer which develops on the foil. The present paper is devoted to the presentation of the criteria on which the prediction is based.

La procédure de prévision du type de cavitation présentée ici est issue de nombreux essais et calculs réalisés ces dernières années à l'Institut de mécanique de Grenoble souvent en liaison avec le Centre d'études et de recherches de Grenoble des Etablissements ACB. En particulier, récemment l'interaction entre couche limite, germes et cavité a été analysée (voir L. BRIANÇON-MARJOLLET 1987). Nous avons choisi ici de présenter sous forme synthétique les critères de prévision sans faire référence aux résultats d'essais sur lesquels ils reposent. Le lecteur pourra cependant se reporter à la thèse de L. BRIANÇON-MARJOLLET qui comporte en outre de nombreuses références bibliographiques. Précisons toutefois que tous les essais ont été réalisés sur une géométrie bidimensionnelle constituée par un profil monté en veine d'essais. Les critères présentés s'appliquent donc de prime abord à ce type de configuration. Notons cependant que la cavitation observée dans les machines hydrauliques ou sur les pales d'hélices semble très proche de celle observée sur profil bidimensionnel.

Dans les paragraphes 2 et 3, on s'intéresse successivement aux deux formes principales de cavitation considérées ici : la cavitation par bulles séparées et la cavitation par poche attachée. On s'attache essentiellement à préciser les conditions d'obtention de l'un ou de l'autre type de cavitation. Le paragraphe 4 est consacré à la transition d'un type de cavitation à l'autre et à la coexistence éventuelle des deux types de cavitation. La procédure générale de prédiction est résumée au paragraphe 5. Enfin, le paragraphe 6 présente quelques cas particuliers mettant en évidence les limitations des critères présentés, qui sont le contrecoup immanquable de toute tentative de synthèse.

2. Cavitation par bulles séparées

Une cavitation par bulles séparées ne peut évidemment se développer que si l'eau contient des microbulles, germes de cavitation. Pour préciser les conditions de développement d'une cavitation par bulles séparées, il convient donc d'abord de préciser les conditions de déstabilisation des microbulles.

Celles-ci sont correctement traduites par le modèle quasi-statique de Rayleigh (voir par exemple KNAPP *et al.* 1970). Il met en évidence, pour toute microbulle d'air et de vapeur d'eau, une pression critique p_c en dessous de laquelle le germe ne peut que subir une croissance explosive. Si l'on choisit comme taille de référence du germe, le rayon R qu'il a lorsqu'il est en équilibre à la pression de vapeur p_v , sa pression critique p_c est donnée, à partir de la tension superficielle $S = 0.072$ N/m, par la relation :

$$p_c = p_v - \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{S}{R}.$$

Pour que des germes explosent, il faut donc leur appliquer une pression inférieure à la pression de vapeur, et même une tension ($p_c < 0$) pour les plus petits d'entre eux de diamètre inférieur à 50 μ m environ.

Du point de vue de la cavitation, un germe est donc essentiellement caractérisé par sa pression critique. Un échantillon d'eau est caractérisé quant à lui par son histogramme de pressions critiques qui a l'allure générale présentée sur la figure 1. Sur les moyens d'essais qui sont équipés d'un dispositif de contrôle de la concentration de l'eau en germes, comme le tunnel de l'IMG, on peut mesurer directement l'histogramme des pressions critiques de l'eau (voir par exemple LECOFFRE 1986).

L'une des caractéristiques importantes de l'histogramme des pressions critiques vis-à-vis de la cavitation naissante est constituée par la pression critique des germes les plus gros que l'eau contient, dite pression de susceptibilité. En effet, les microbulles les plus grosses sont les germes les plus fragiles que contient l'eau. Dès que la pression minimale $P_{\min}$ dans l'écoulement tombe en dessous de la pression de susceptibilité p_s de l'eau, les microbulles les plus grosses explosent. Lorsque la pression diminue, des germes de plus en plus petits sont progressivement activés.

Le critère fondamental d'apparition d'une cavitation par bulles séparées est donc que la pression minimale de l'écoulement soit inférieure à la pression de susceptibilité de l'eau :

$$P_{\min} < p_s \quad (1)$$

Sous forme adimensionnelle, en introduisant le paramètre de cavitation σ_v basé sur la pression de vapeur saturante p_v de l'eau et le coefficient de pression minimal $C_{p \min}$ définis par :

$$\sigma_v = \frac{P_{\text{ref}} - p_v}{1/2 \rho V_{\text{ref}}^2} \quad c_{p \min} = \frac{P_{\min} - P_{\text{ref}}}{1/2 \rho V_{\text{ref}}^2}$$

(p_{ref} et V_{ref} désignent respectivement une pression et une vitesse de référence de l'écoulement), ce critère d'apparition d'une cavitation par bulles se formule comme suit :

$$\sigma_v < -c_{p \min} - \Delta\sigma \quad (2)$$

Le facteur $\Delta\sigma$ prend en compte l'écart entre la pression de vapeur et la pression de susceptibilité ; il s'écrit

$$\Delta\sigma = \frac{p_v - p_s}{1/2 \rho V_{\text{ref}}^2}$$

Il traduit un retard à la cavitation dû au fait qu'il ne suffit pas que la pression passe en dessous de la pression de vapeur saturante pour que les premières bulles grossissent ; le seuil réel est constitué par la pression de susceptibilité de l'eau. Ce retard $\Delta\sigma$ est d'autant plus faible que l'eau contient des gros germes et que la vitesse de l'écoulement est grande.

3. Cavitation par poche attachée

Si le facteur à prendre en compte en ce qui concerne la cavitation par bulles séparées est la qualité de l'eau, la cavitation par poche attachée dépend principalement de l'état de la couche limite.

1. Histogramme des pressions critiques.

2.

En effet, une cavité ne peut rester en équilibre mécanique sur une paroi à courbure continue que si elle se détache dans une zone à très faible vitesse. Sinon, la cavité se comporte comme un obstacle pour l'écoulement qui lui applique une force de traînée et la balaie. Une telle zone, d'« eau morte », ne peut exister que derrière un décollement de couche limite. Par ailleurs, si la pression dans cette zone décollée tombe en dessous de la pression de vapeur saturante, alors une cavité attachée s'y installera.

Le critère fondamental pour qu'une poche de cavitation puisse apparaître et s'attacher à une paroi est donc constitué par la double condition suivante : *la couche limite décolle de la paroi et la pression au point de décollement est inférieure à la pression de vapeur saturante*. Ce critère appelle les quelques remarques suivantes.

Dans le cas de profils bidimensionnels placés à incidence voisine de zéro dans un écoulement à faible vitesse, il est fréquent d'observer, si la couche limite est laminaire, un décollement laminaire de la couche limite à l'arrière du profil. En régime cavitant et en l'absence de germes, une poche de cavitation se développe dans la zone décollée conformément au critère présenté précédemment. Si la couche limite initialement laminaire transitionne à la turbulence du fait par exemple d'une augmentation de l'incidence ou d'une augmentation du nombre de Reynolds, elle peut remonter le gradient adverse de pression sans décoller. La disparition du décollement laminaire, en supprimant le point d'arrêt associé, ne permet plus à la cavité de rester attachée à la paroi. La transition à la turbulence a donc un effet négatif sur la cavitation par poche.

Il convient également de remarquer que le critère de cavitation par poche présenté est en fait un critère d'apparition d'une poche de cavitation dans un écoulement initialement non cavitant. La même remarque s'applique d'ailleurs au critère proposé de cavitation par bulles. Lorsque la poche se développe, sa présence

modifie la répartition de pression qui, à son tour, réagit sur la couche limite. Cependant, dans la plupart des cas, l'interaction entre la couche limite et la poche de cavitation n'est en rien modifiée qualitativement. Un décollement de couche limite précède toujours la poche, la différence essentielle par rapport au cas de la cavitation naissante étant généralement une remontée conjointe vers l'amont du décollement de la couche limite et du détachement de la cavité. Nous reviendrons au paragraphe 6 sur un autre volet de l'influence d'une poche de cavitation sur la couche limite.

Remarquons enfin que le décollement d'une couche limite nécessitant un gradient adverse de pression, il existe donc nécessairement en amont de la poche une zone de pression inférieure à la pression dans la cavité. La pression de cavité étant égale à la pression de vapeur saturante, à une pression partielle d'air près, il existe tout un domaine de l'écoulement dans lequel la pression est inférieure à la pression de vapeur en amont de la poche (voir fig. 2). Selon la qualité de l'eau, il se peut donc que le critère de cavitation par bulles séparées soit également vérifié et que les deux formes de cavitation entrent alors en compétition.

4. Cavitation mixte et transition d'un type de cavitation à l'autre

Dans certaines circonstances telles que celles qui viennent d'être présentées, il se peut que les deux conditions, celle de cavitation par bulles et celle de cavitation par poche, soient simultanément vérifiées. Quel type de cavitation en résultera alors ?

La réponse à cette question dépend essentiellement de la qualité de l'eau et plus précisément de la concentration totale en germes activés par la zone dépressionnaire. Les essais menés par L. BRIANÇON-MARJOLLET ont mis en évidence l'existence d'une valeur critique de la concen-

tration en germes actifs, caractéristique de l'écoulement en question.

Si la concentration en germes actifs est inférieure à cette concentration critique, les deux types de cavitation coexistent. La cavitation est mixte, des bulles de cavitation grossissant devant la poche.

Si la concentration en germes actifs est relativement grande, en l'occurrence supérieure à cette concentration critique, c'est la cavitation par bulles séparées voyageuses qui l'emporte aux dépens de la cavitation par poche attachée. La question est alors de savoir comment le critère de cavitation par poche présenté précédemment est mis en cause.

Ces mêmes essais ont montré que c'est l'effet de transition à la turbulence, discuté au paragraphe 3 dans d'autres circonstances, qui est responsable de la disparition du décollement laminaire et, corrélativement, de la disparition de la poche de cavitation. En effet, les visualisations ont montré que l'explosion d'un germe de cavitation à la paroi crée localement, en amont de la bulle, une bouffée turbulente. Celle-ci est convectée avec la bulle et provoque le recollement temporaire de la couche limite à la paroi et par voie de conséquence le balayage temporaire de la cavité. Après un certain laps de temps, le décollement laminaire se rétablit avec la cavité qu'il abrite. Si la fréquence de passage des bulles correspond à un temps inférieur au temps caractéristique de rétablissement de la poche, c'est-à-dire pour une concentration en germes actifs suffisante, on assiste à la disparition définitive de la poche de cavitation au profit de bulles séparées voyageuses.

La complexité des phénomènes physiques mis en jeu fait que, à l'heure actuelle, cette concentration critique en germes actifs ne peut être déterminée précisément que par voie expérimentale. Il est cependant possible, à partir de calculs simples reposant sur des hypothèses drastiques, d'estimer grossièrement cette concentration critique (voir à ce sujet la thèse de L. BRIANÇON-MARJOLLET).

5. Procédure de prédiction résumée

Le tableau ci-contre résume les différentes configurations possibles selon l'état de la couche limite et la qualité de l'eau.

Une prédiction du type de cavitation peut donc être théoriquement entreprise. Elle nécessite en premier lieu la mise en œuvre d'un calcul de répartition de pression sur la paroi en régime non cavitant. Ensuite, il faut procéder d'une part à un calcul de couche limite visant essentiellement à mettre en évidence un décollement éventuel, et d'autre part à une évaluation des possibilités de cavitation par bulles compte tenu du spectre de germes incident. En utilisant les deux critères précédents, on peut alors prévoir le type de cavitation qui se développera réellement. Il se peut, dans le cas d'une cavitation très développée, qu'il faille réitérer la procédure non plus à partir du régime non cavitant mais en tenant compte de la cavitation, afin d'obtenir une prédiction plus précise.

Une telle procédure issue d'essais sur profils bidimensionnels en tunnel hydrodynamique devra d'abord être testée par comparaison avec des expériences sur modèles réduits si on veut pouvoir l'appliquer systématiquement et avec confiance à l'étude des machines.

6. Cas particuliers

Ce paragraphe est consacré à la discussion de quelques cas particuliers qui mettent en évidence certaines limitations dans l'application de la procédure précédente. Deux cas particuliers sont considérés ici.

Le premier est relatif aux effets dynamiques. Le cas le plus typique est celui d'un profil bidimensionnel placé à grande incidence. Il existe alors un pic de dépression au voisinage du bord d'attaque qui est d'autant plus profond et plus localisé que l'incidence est grande. Bien que le niveau de pression soit suffisamment bas pour que la plupart des germes puissent être activés conformément à l'approche quasi-statique adoptée jusqu'ici, il se peut que le temps de traversée du pic de dépression soit trop court pour qu'ils grossissent sensiblement et donnent naissance à des bulles de taille macroscopique. Dans un tel cas, l'approche quasi-statique basée sur la notion de pression critique doit être remplacée par la résolution complète de l'équation de Rayleigh-Plesset qui seule est adaptée à la description de l'évolution temporelle du rayon d'un germe dans un champ de pression rapidement variable.

Le deuxième cas particulier considéré ici est relatif à des conditions parfois réalisées en tunnel pour lesquelles la couche limite ne subit aucun décollement et transitionne à la turbulence en écoulement non cavitant alors que pour certaines valeurs du paramètre de cavitation, une cavité attachée peut être observée. Une telle observation est a priori contradictoire avec le critère de cavitation attachée présenté au paragraphe 3. Pour des profils de type Naca 16-012 ou Naca 16-209 testés à

Germes \ Couche limite	non décollée ou décollée mais $\sigma_v > -C_{pd} (*)$	décollée avec $\sigma_v < -C_{pd}$
	$\sigma_v > -C_{p\text{ mini}} - \Delta\sigma$	
pas de germes actifs i.e. $\sigma_v > -C_{p\text{ mini}} - \Delta\sigma$	non cavitant	poche
des germes actifs i.e. $\sigma_v < -C_{p\text{ mini}} - \Delta\sigma$	bulles	bulles + poche si $n < n_{\text{crit}}$ bulles si $n > n_{\text{crit}}$

(*) C_{pd} : coefficient de pression au point de décollement
 $n (n_{\text{crit}})$: concentration (critique) en germes actifs.

l'IMG, cela se produit dans un domaine d'incidence étroit autour de 3 ou 4 degrés environ. Dans de telles conditions, on observe souvent en tunnel une alternance parfois rapide et violente entre un écoulement non cavitant turbulent et un écoulement avec poche de cavitation déjà sensiblement développée. Des calculs réalisés sur profil Naca 16-012 (FRANC & MICHEL 1985) ont montré que la prise en considération d'une poche de cavitation peut, en influant sur la répartition de pression,

complètement modifier l'état de la couche limite et faire apparaître en amont de la poche un décollement laminaire qui n'existe pas en régime non cavitant. Ce cas particulier met donc en évidence combien il est important, pour une prédiction correcte d'une cavitation développée, de ne pas se baser sur l'écoulement non cavitant mais de prendre en compte la réaction de la cavitation sur la distribution de pression et l'état de couche limite.

Références

- L. BRIANÇON-MARJOLLET, octobre 1987 : « *Couches limites, germes et cavités en interaction : étude physique* », Thèse Université scientifique, technologique & médicale de Grenoble.
- J. P. FRANC, J. M. MICHEL, 1985 : « Attached cavitation and the boundary layer : experimental investigation and numerical treatment », *Journal of Fluid Mechanics*, **154**, pp. 63-90.
- R. T. KNAPP, J. W. DAILY, F. G. HAMMITT, 1970 : « *Cavitation* », Mc Graw-Hill Book Company.
- Y. LECOFFRE, 1986 : « Méthodes pratiques de contrôle de la teneur en air libre et dissous dans les moyens d'essais », *Symposium AIRH*, Montréal.

Adresse des auteurs :

Messieurs L. Briançon-Marjollet
J. P. Franc
J. M. Michel
Institut de mécanique de Grenoble
BP 68
38402 Saint-Martin d'Hères Cedex
Tél. : (16) 76-82-50-00

Discussion

Président : M. P. HENRY

M. le Président : Je remercie M. FRANC pour son intéressant exposé, lequel j'en suis sûr, va susciter des questions.

M. FRUMAN : Pouvez-vous indiquer comment sont pris en compte les taux de turbulence ?

M. FRANC : C'est dans le calcul de couche-limite pour savoir à quel moment il y aura transition à la turbulence. Le programme de calcul que nous avons utilisé a été mis au point par l'ONERA. Il y a, comme donnée d'entrée, le taux de turbulence qui conditionne le nombre de Reynolds critique.

M. FRUMAN : Un travail récent a montré que si une bulle se trouve soumise à un crêneau de pression auquel se superpose une oscillation d'amplitude beaucoup plus faible que le saut de pression, les conditions de croissance sont différentes de celles qu'on peut espérer avoir dans les cas où il y a un saut de pression seulement. Donc, les fluctuations de pression dues à la turbulence peuvent donner lieu à une différence importante de comportement de la bulle. Les critères classiques ne sont alors plus valables ; il faut tenir compte de l'amplitude et de la fréquence de la fluctuation. Cela indique aussi que les fluctuations de vitesse imposées à l'écoulement en amont peuvent conditionner la croissance des bulles...

M. FRANC : Nous avons utilisé la notion classique de pression critique issue du modèle quasi statique de Rayleigh. Il est possible que les fluctuations turbulentes modifient un peu les conditions de croissance des bulles. Mais les grandes tendances nous semblent bien prises en compte par le modèle de Rayleigh.

M. MICHEL : Dans les calculs faits par Mme BRIANÇON, la dynamique a été largement prise en compte. On ne tenait pas compte des fluctuations de vitesse ou de pression induites par la turbulence, mais du régime des pressions en valeur moyenne.

Ce qu'on peut dire, c'est que les calculs et les observations expérimentales semblent assez bien coïncider. Cette sensibilité aux perturbations n'apparaît pas comme fondamentale quand on compare l'effet des calculs avec les observations sur l'écoulement...

M. FRANC : Il y a aussi un cas où l'on a à prendre en compte les effets dynamiques, chose qu'on ne fait pas ici : c'est le cas des profils à grande incidence où l'on a un pic de dépression profond et très étroit au bord d'attaque. Là, les bulles peuvent ne pas avoir suffisamment de temps pour grossir et exploser.

Il est exact que dans ce cas le simple critère de pression critique peut être insuffisant.

M. HERGT : Vous parlez des germes qui se trouvent dans l'eau... Ces germes sont-ils seulement des bulles d'air... et rien d'autre ?

M. FRANC : Dans notre cas, on utilise sur le tunnel le système d'injection de germes développé chez Neyrtec ; et les germes sont pour nous des microbulles d'air et de vapeur d'eau injectées dans l'écoulement.

M. BONNIN : D'après votre exposé cependant fort clair, il y a quelque chose qui me gêne : c'est que si l'on augmentait la vitesse de telle manière qu'on soit toujours en régime turbulent, ce qui est bien souvent le cas, on n'aurait jamais de cavitation à poche.

M. FRANC : C'est une des choses qui n'apparaît pas parce que j'ai pris le côté « prévision de la cavitation » à partir de la cavitation naissante.

Il est exact que si l'on a une couche-limite turbulente, normalement on n'a pas de cavitation par poche. Mais si l'on avait suffisamment de dépression, on finirait par voir une cavitation apparaître. On le constate en tunnel : on a en fait une cavitation par poche qui peut apparaître ; mais alors il y a une réaction très forte de la poche de cavitation sur toute la répartition de la pression qui fait — du moins à partir des essais qu'on a pu faire sur notre tunnel — qu'il apparaît en amont de la poche un décollement laminaire, c'est-à-dire un point de vitesse nulle devant la poche, en raison de l'effet d'obstacle que fait la poche.

Il faut évidemment prendre garde à ne pas extrapoler les choses un peu trop loin. On peut très bien avoir une poche de cavitation en écoulement turbulent mais il y a le feedback de la cavitation sur la répartition de pression qu'il faut alors prendre en compte pour répondre à ce problème.

M. BONNIN : Vous avez montré, sur une de vos photos, qu'il y avait une moitié de l'écoulement avec injection de germes et une moitié sans injection de germes donc aussi des configurations différentes. Est-ce qu'il n'y a pas influence d'un écoulement sur l'autre ?

M. FRANC : On n'a pas pu s'en assurer bien sûr, mais on voit quand même très bien que le type de cavitation est lié à la qualité de l'eau. Sur notre installation, on peut utiliser les injecteurs du fond ou les injecteurs du devant séparément. C'est ce qui nous a permis de prendre cette photo.

M. BONNIN : Cette démonstration est plus qualitative que quantitative.

M. FRANC : C'est exact. C'était pour illustrer les choses.

M. MICHEL : Il me semble que cela veut dire que les deux types de cavitation coexistent l'un à côté de l'autre, avec de faibles effets de bord ce qui conduit à penser que les gradients longitudinaux de pression sont comparables.

M. CHINCHOLLE : Si l'on entre un peu dans les détails, avez-vous tenu compte — sûrement pas — de l'influence de la résonance entre la vitesse de l'écoulement et l'installation ? Je pose la question parce qu'il y a sûrement des variations très importantes. Je les ai relevées en tant qu'érosion de cavitation... Par conséquent, la cause de la cavitation doit intervenir beaucoup. Je vous le montrerai demain.

M. FRANC : Avec notre tunnel d'essai, nous travaillons dans des conditions relativement bonnes ; on s'est aperçu qu'on avait à l'amont des conditions qui dépendent très peu de ce qu'on fait dans la zone d'essai. En particulier, on a fait une étude sur un profil oscillant et on a remarqué que les conditions à l'amont étaient très stables. Il n'y avait pas de phénomènes d'instabilité dus à un couplage de la section d'essais avec l'ensemble du tunnel. Je pense que c'est un peu à cela que vous pensez...

M. CHINCHOLLE : Ce que j'ai remarqué, c'est que lorsque j'ai fait varier la vitesse de l'écoulement, il y avait des variations d'érosion cycliques, ce qui fait penser à une résonance. Je ne suis pas spécialiste en ce domaine, c'est pourquoi je rapporte tout simplement l'information.

M. GRISON : Je voudrais d'abord faire une remarque.

Votre procédure est très intéressante et il faut l'appliquer. On s'aperçoit que lorsqu'on l'applique à des essais sur modèle ou à des essais sur machine on peut trouver des points de décollement complètement différents ; par conséquent, les poches de cavitation qu'on pourra trouver sur modèle seront très différentes de celles qu'on trouvera sur machine réelle. Il me paraît intéressant pour les industriels d'avoir cela en tête.

Quand on a de fortes incidences notamment, on risque de ne pas trouver des différences très grandes, mais par contre sur des profils très bien adaptés, on peut avoir des différences très importantes entre le modèle et la machine réelle. Cela montre l'utilité de votre travail.

D'autre part, je voudrais revenir sur le problème de dynamique évoqué tout à l'heure, parce que c'est un cas industriel relativement fréquent : on travaille avec de l'eau très saturée en air. On sait que cette saturation en air va faire grossir des germes lorsqu'on arrivera dans une zone en dépression. La pression de susceptibilité va donc varier avec le temps de séjour de la petite bulle d'air dans la zone en dépression.

Est-ce que vous avez essayé de mettre en œuvre des procédures qui tiennent compte de ce temps de séjour ?... Est-ce que sur votre tunnel vous avez essayé de mettre ces phénomènes en évidence ?

M. FRANC : Pas du tout. Cela ne fait pas très longtemps qu'on travaille sur les germes. C'est Mme BRIANÇON qui a initié ces études ; on n'a pas encore abordé ces problèmes-là.

M. le Président : Le temps passe vite ; la discussion pourrait être très longue... On remarque que les problèmes de similitude sur les essais de modèles réduits de machines sont loin d'être résolus. On est en train de réviser un code d'essais sur modèle de turbine, mais on n'est pas prêt de pouvoir, je crois, fournir des règles précises quant aux conditions d'essais... Il faudra travailler encore sérieusement.