Recensement, description et examen critique des méthodes d'essais de cavitation sur modèle réduit

PAR J. CHEVALIER,

CHEF DE LA DIVISION « STATION D'ESSAIS DE TURBINES »
DU SERVICE « LABORATOIRES ET ESSAIS HYDRAULIQUES » D'E.D.F., CHATOU

(Texte résumé, le texte intégral devant être publié ultérieurement)

Alors que la mesure des performances des turbomachines sur modèle réduit est à peu près semblable dans tous les laboratoires, aux différences d'appareillage et d'installation près, et que les méthodes de mesure en sont actuellement standardisées par la Commission Electrotechnique Internationale en ce qui concerne les turbines et les pompes, et par l'International Towing Tank Conference en ce qui concerne les hélices, les méthodes d'essais des turbomachines à la cavitation semblent à l'heure actuelle bien plus dissemblables d'un laboratoire à l'autre et jusqu'à présent, à notre connaissance, aucune tentative de standardisation les concernant n'a été entreprise, au moins en ce qui concerne les pompes et les turbines. Le Code d'Essais sur modèle réduit de la Commission Electrotechnique Internationale ne mentionne le problème des essais de cavitation de turbines que pour mémoire.

C'est dans le but de préparer une standardisation des essais de cavitation des turbomachines que la Commission de la cavitation de la Société Hydrotechnique de France a lancé une enquête auprès de différents laboratoires afin de connaître leurs moyens, leurs méthodes et leur avis en ce qui concerne les essais de cavitation qu'ils effectuent.

Avec l'aide de ces documents, ce texte a été élaboré par un groupe de travail comprenant deux personnes travaillant en laboratoire, un exploitant de turbines industrielles, un maître-d'œuvre et un constructeur.

La composition du groupe de travail était la suivante:

MM.

CHEVALIER, rapporteur, E.D.F. Station d'essais de turbines;
CAMPMAS, E.D.F., Division technique générale;
CAZENAVE, C.N.R.;
FÈVRE, S.F.A.C.;
ORTLIEB, Vevey.

De nombreux conseils nous ont d'autre part été donnés par :

MM.

BINDEL (Bassin d'essais des carènes);
FAUCONNET (Charmilles);
GUITON (Maison Bergeron).

Les organismes qui ont été contactés et qui ont bien voulu nous aider dans ce travail en répondant à notre enquête sont les suivants :

— Bassin d'essais des carènes, à Paris;

— Electricité de France - Station d'essais de turbines;
— Etablissements Bergeron;
— Etablissements Charmilles;
— Etablissements Escher-Wyss;
— Etablissements Franco-Tosi;
— Etablissements Riva;
— La SO.GR.E.A.H.;
— Etablissements Vevey.
— Laboratoire d'Hydraulique de l'Ecole des Arts et Métiers, à Paris;
— National Engineering Laboratory.

✱

Le rapport établi par le groupe de travail a été divisé en trois parties, traitant respectivement :

— des installations d'essais,
— de la similitude dans les essais de cavitation,
— de la détermination d'un critère de cavitation normalisé.

La première partie décrit les différents types d'installations d'essais et les diverses méthodes utilisées pour faire varier la pression absolue sur le modèle. Les propriétés physiques de l'eau et leur mesure font l'objet d'un paragraphe particulier, notamment en ce qui concerne la teneur en air et la température.

La seconde partie traite des paramètres intervenant dans la similitude des essais de cavitation et fait ressortir les différences de préoccupation entre les laboratoires qui étudient des pompes, des hélices ou des turbines. Ces différences entraînent automatiquement des différences de principes et de méthodes d'essais. On montre ainsi que, bien que la similitude de Froude soit en fait nécessaire de principe, il est de nombreux cas où son influence peut être négligée, et il en est par contre où il est primordial de la respecter.

La troisième partie fait le point des méthodes actuelles de calcul des coefficients de cavitation et des méthodes de présentation des résultats qui sont, en fait, semblables pour les turbines, les pompes et les hélices.

✱

L'analyse des procédés de détermination du σ critique et de détermination du σ d'installation montre par contre une grande diversité et une grande hétérogénéité dans les méthodes qui, toutes, semblent basées sur des observations subjectives.

Cette revue des procédés montre bien qu'il est néces-

Fig. 1

saire en ce qui concerne les turbines d'établir une définition d'un σ de référence qui soit :

— *Significative* : le critère utilisé doit correspondre à un état de cavitation déjà amorcé, mais non dangereux;

— *Fidèle* : le seuil ainsi trouvé doit pouvoir l'être avec fidélité quelle que soit la méthode utilisée d'un laboratoire à l'autre;

— *Générale* : il doit être possible d'utiliser la même définition pour tout point d'essai de la colline de fonctionnement quelle que soit la forme de la courbe relevée.

Assez fréquemment, on obtient des courbes ayant l'aspect de la figure 1. Le rendement reste d'abord à peu près constant, présente un léger accroissement, puis s'effondre brusquement. C'est la figure qui apparaît en principe sur les turbines Kaplan aux grandes ouvertures de roue, pour des angles d'attaque importants pour lesquels la cavitation apparaît assez brusquement sur l'ensemble de l'extrados de la pale.

Pour des ouvertures plus faibles, la cavitation s'établit progressivement sur des zones de plus en plus étendues, de sorte que le rendement présente une altération continue pouvant débiter pour des valeurs importantes de σ (fig. 2).

Il peut enfin arriver que la courbe présente plusieurs paliers ou même quelques oscillations avant de s'effondrer (fig. 3).

Avant la cavitation développée, et notamment pour les cas compliqués comme celui de la figure 3, il est fréquent que les points soient instables et non reproductibles d'un essai à l'autre. En fait, il n'y a plus, dans cette zone, de courbe à proprement parler, mais un nuage de points apparemment désordonnés. Dans ces conditions, il paraît illusoire pour ces formes de courbe de définir un σ critique en se donnant un écart par rapport au régime non cavitant ou au régime maximal. La valeur ainsi trouvée serait assez mal définie, même pour un laboratoire donné et, *a fortiori*, il n'y aurait que peu d'espoir de trouver des valeurs comparables d'un laboratoire à un autre.

On constate en revanche que, lorsque la cavitation est franchement amorcée, les points de mesure se reproduisent avec plus de fidélité et sont sensiblement alignés sur une droite de forte pente descendante. C'est pourquoi nous proposons de prendre comme valeur d'un σ que l'on pourrait appeler « *sigma standard* », l'abscisse

Fig. 2

Fig. 3

de l'intersection de cette droite D avec la droite $\eta = \eta_\infty$ (fig. 4).

La valeur ainsi définie est bien déterminée et présente toute assurance de fidélité. C'est une valeur assez basse qui correspond en général à une cavitation déjà développée. Il faut noter également que l'altération du rendement au point ainsi déterminé est parfois plus grande que celle qui serait admise dans un critère faisant référence à la valeur du rendement en régime non cavitant ou à cette valeur réduite de 1 %.

L'intérêt d'une telle méthode de détermination réside dans le fait que si le sigma critique est choisi avec une part importante d'appréciation personnelle, ce sigma standard devrait par contre permettre de comparer des machines différentes en utilisant une méthode conduisant, sans modification des installations existantes dans les différents laboratoires, à des résultats pouvant facilement se comparer directement entre eux.

Le sigma d'installation donné par le constructeur serait alors présenté comme la somme du sigma standard et d'un $\Delta\sigma$ (positif ou négatif). Ce $\Delta\sigma$ représenterait la part d'appréciation personnelle du constructeur résultant de son expérience dans le domaine en question et déterminée par les méthodes traditionnelles qui sont propres à ses observations et à son installation.

Ce rapport présente l'ensemble des méthodes d'essais en montrant leur diversité apparente et en essayant d'en tirer cependant les raisons qui conduisent à une telle diversité.

Les réponses à la dernière des questions que nous avons posées à chaque laboratoire et demandant l'avis de chacun concernant les modifications qu'il estimait nécessaires, montrent nettement le désir de chacun de pousser les recherches sur les moyens permettant de rendre les essais de cavitation au laboratoire plus efficaces et plus sûrs en ce qui concerne la prédiction du comportement de la machine industrielle.

A notre avis, un des premiers pas à faire dans cette voie est un effort de systématisation qui permette à tous de parler un langage commun en ce qui concerne l'essai de cavitation lui-même, son interprétation restant une affaire de jugement personnel à chaque opérateur.

Nous espérons avoir ainsi jeté les bases d'un texte qui pourrait conduire à une standardisation de la technique des essais de cavitation applicable, en général, dans les différents laboratoires, sans modification majeure des pratiques actuelles.

Fig. 4

DISCUSSION

Président : M. BERGERON

M. le Président remercie M. CHEVALIER, qui a su présenter un rapport parfaitement objectif qui ne peut être contesté ni par les constructeurs, ni par les utilisateurs. Un des points originaux du rapport est la définition d'un σ standard, sur lequel il serait nécessaire d'obtenir l'assentiment d'une majorité afin qu'il puisse éventuellement être utilisé contractuellement.

La Commission ayant défini le σ standard et non le σ critique, M. CAZENAVE demande à M. CHEVALIER ce qu'il faut comprendre lorsqu'il signale que les constructeurs prennent comme σ industriel minimal la valeur $1,1 \sigma$ critique. A son sens, le σ critique devrait précisément désigner la valeur minimale du σ industriel.

M. CHEVALIER répond que le σ critique a été déterminé au Laboratoire par un procédé particulier à celui-ci et que, dans un cas bien défini, la marge de sécurité, prise entre le σ critique déterminé sur le modèle et le σ minimal d'implantation, est de 10 %.

A partir d'une définition basée sur le σ standard, l'écart entre le σ d'installation et le σ standard se traduira par un $\Delta\sigma$ positif ou négatif propre à chaque laboratoire et traduisant le jugement de l'opérateur sur la transposition entre le σ standard modèle et le σ d'implantation.

M. CAZENAVE demande s'il y aura deux collines de σ .

M. CHEVALIER répond qu'il y aura en effet la colline des σ standards mesurée au laboratoire et la transposition de cette colline en σ d'installation. La première est aisément contrôlable et comparable entre deux machines, alors que la seconde ne pourra se contrôler que par des observations industrielles. C'est un processus qui est à rapprocher de la comparaison entre les collines de rendement sur modèle et sur machine industrielle.

M. le Président estime que ces considérations sortent du cadre de la réunion d'aujourd'hui, ce qui fait dire à M. CHEVALIER que le souci de M. CAZENAVE est de rattacher quelque chose que l'on connaît bien à quelque chose que l'on a besoin de connaître : le σ d'implantation.

M. COMOLET dit que la notion de critère, correspondant au σ standard (ou normalisé), paraît être d'un grand intérêt en vertu de sa définition, qui est précise.

Cependant, comme on désigne habituellement sous le même vocable σ plusieurs rapports de nombres : coefficient de Thoma, quotient (NPSH/H)... il serait souhaitable de préciser lequel de ces rapports doit servir dans la définition de ce critère standard.

M. CHEVALIER répond que, pour les turbines, c'est le σ de Thoma utilisé dans l'essai de cavitation. Le (NPSH/H) est particulier aux pompes, mais, dans ce cas, il est peu probable qu'on soit amené à utiliser une telle méthode pour la détermination du σ critique, car on s'arrête très tôt dans la cavitation des pompes. Chaque utilisateur définira sans doute son σ comme il le fait d'habitude.

M. BINDEL félicite M. CHEVALIER et son groupe de travail pour l'excellente synthèse qu'ils ont réalisée en partant de points de vue et d'usages aussi différents que ceux qu'on rencontre dans l'étude des turbines, des hélices et des pompes. Il indique que, si le σ standard a été défini à propos des turbines, il paraît parfaitement adapté au cas des hélices quand on s'intéresse à la chute des caractéristiques de fonctionnement; M. BINDEL exprime donc le souhait que l'International Towing Tank Conference reprenne un jour à son compte ce standard.

M. le Président remercie M. CHEVALIER de son travail, ainsi que les personnes ayant pris part à la discussion.