

# LA TECHNIQUE DES FLUIDES

La lettre d'information du Centre d'Etudes et de Recherches de Grenoble de GECALSTHOMACB Octobre 1996 - n° 9

## EDITORIAL

### ISO 9001

Nous avons le plaisir de vous faire part de la certification de notre Système d'Assurance de la Qualité délivrée le 27 mars 1996 par le BVQI, selon la norme internationale BS EN ISO 9001.

Comme vous le savez, ce Certificat est attribué après une analyse rigoureuse du fonctionnement des moyens et méthodes mis en place pour éviter toute non-conformité ou y remédier par les actions correctives appropriées.

Cette certification de GECALSTHOMACB couvre en particulier les activités de notre Centre, à savoir :

«Etudes et essais en mécanique des fluides appliquées aux produits et aux procédés industriels»

Elle récompense une démarche qualité engagée depuis de nombreuses années avec le renouvellement continu depuis 1990 du RAQ 1 délivré par la DGA. Elle marque notre engagement à entretenir le suivi permanent de la Qualité pour assurer votre satisfaction.

M. VISCONTI



### Sommaire :

- Editorial p 1
- Calendrier des stages 1997 p 1
- La prédiction de l'érosion par cavitation dans les turbomachines et les composants hydrauliques p 2
- En bref ... p 3
- Projecteur sur ... p 3
- La prédiction de l'érosion par cavitation (suite) p 4
- Le CERG dispose de nouveaux moyens d'essais p 5
- Motorisations hydrauliques compactes à turbines axiales multiétagées p 6

Voici le calendrier des sessions de formation en hydraulique de l'année 1997 :

Stage	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
H1			3~7			2~6	22~26			1~5
H2									17~21	
H3			17~21					13~17		
H4-H5	Dates sur demande									

H1 : Initiation aux écoulements en charge  
 H2 : Initiation aux écoulements à surface libre  
 H3 : Pompes, coups de bélier et régulation  
 H4 : Pompes  
 H5 : Coups de bélier.

Possibilité de stages sur mesures (contenu, durée et date) intra-entreprise.

Pour toute information complémentaire, une brochure est envoyée sur demande faite auprès de Mme Hélène Mallevall.



## LA PREDICTION DE L'ÉROSION PAR CAVITATION DANS LES TURBOMACHINES ET LES COMPOSANTS HYDRAULIQUES

Une recherche pilotée par le CERG dans le cadre du programme européen BRITE EURAM

### La cavitation

Lorsqu'un liquide se vaporise à température ambiante sous l'effet d'une dépression, on parle de cavitation plutôt que d'ébullition bien que les deux phénomènes soient de même nature. Dans les machines ou les composants hydrauliques, de telles dépressions sont inévitables du fait des grandes vitesses d'écoulement atteintes localement.

Le phénomène apparaît donc classiquement sur les vannes, les turbines hydrauliques, les pompes, les hélices et autres propulseurs marins. Il se manifeste aussi dans des endroits plus inattendus comme les paliers, les réducteurs, les amortisseurs, les jets, les culasses ou segments des moteurs diesels.

Même si quelques applications pratiques des mécanismes impliqués ont vu le jour (nettoyage, sonochimie...), la cavitation est le plus souvent considérée comme une gêne puisqu'elle engendre des chutes de performances, du bruit et surtout de l'érosion qui peut aller jusqu'à provoquer la défaillance d'un matériel.

### L'endommagement des matériaux

La dépression, créée par l'augmentation locale de la vitesse d'écoulement, provoque l'apparition de poches de vapeur ou, dans certains cas, de nuages de bulles de vapeur.

Cette situation est inévitable sur les machines industrielles : on ne pourrait la supprimer qu'à condition de construire des machines de plus grande taille pour réduire les vitesses d'écoulement, ce qui serait

irréaliste économiquement parlant.

Dans un premier temps, ces bulles ou poches ont un comportement explosif, c'est-à-dire qu'elles grossissent de façon linéaire tant que la pression environnante reste inférieure à la valeur de la pression de vapeur saturante de l'eau. Elles accumulent alors une énergie mécanique potentiellement disponible. Lorsque la pression remonte, les cavités ont, au contraire, un comportement implosif (on parle alors du «collapse» des bulles). En phase terminale d'implosion, la vitesse de l'eau devient très importante et des phénomènes locaux extrêmement violents apparaissent qui restituent brusquement l'énergie cinétique emmagasinée.

Les premières modélisations analytiques du phénomène de grossissement et de collapse de bulles de vapeur ont montré qu'en fin d'implosion, la pression au cœur de la bulle pouvait monter brutalement jusqu'à 10000 bars. On est donc en présence de phénomènes d'ondes de choc et on conçoit que de telles ondes puissent endommager le matériau si la bulle est proche d'une paroi.

Des modélisations numériques et des visualisations ont mis en évidence un autre mécanisme d'endommagement : à proximité d'une paroi rigide, les bulles se déforment en cours d'implosion et un «jet rentrant» se forme dont la vitesse peut dépasser les 100 m/s. L'impact de ce microjet est également susceptible de déformer la paroi puis de l'endommager par effet de marteau d'eau.

### L'agressivité d'un écoulement cavitant

Les scénarios présentés ci-dessus ont été établis à partir d'expé-

riences de laboratoire. La réalité au sein d'une machine est bien sûr plus complexe : en aval d'une poche de vapeur se forment en réalité des tourbillons allongés de vapeur qui, par nature, s'étendent jusqu'aux parois. Le CERG a pu montrer expérimentalement que de tels tourbillons avaient également un pouvoir érosif important.

Face à cette réalité complexe, on retiendra qu'un écoulement cavitant est caractérisé par son agressivité -on parle aussi d'intensité de cavitation (HCI : Hydraulic Cavitation Intensity)- qui est une grandeur physique purement hydraulique, c'est-à-dire indépendante du matériau dont est constituée la paroi soumise au phénomène d'érosion.

### L'enjeu économique lié à l'érosion par cavitation

Il serait abusif de prétendre que l'érosion par cavitation est le facteur déterminant qui impose des choix technologiques majeurs sur une turbomachine. Par comparaison, les effets liés à la corrosion ou à l'abrasion peuvent s'avérer plus déterminants. Néanmoins, comme on l'a déjà dit, tous les fabricants et utilisateurs de turbomachines sont confrontés de près ou de loin à ce problème.

Cette question concerne à la fois la maintenance des machines en service et la conception de nouvelles installations. On estime, par exemple, le coût direct de réparation des endommagements dus à l'érosion par cavitation (hors industrie nucléaire) à plus de 20 millions de francs par an pour un pays industrialisé comme la France, sans compter les pertes indirectes imputables à l'immobilisation des installations.

Suite en page 4.

## EN BREF ... EN BREF ... EN BREF ...

### Le CERG reçoit la revue GEO

Le CERG a accueilli en novembre 95 une équipe de la revue GEO préparant un article sur le thème des simulations sur maquette des phénomènes physiques naturels.

Les activités de simulation de la pollution atmosphérique, l'un des axes d'études du CERG depuis de nombreuses années, ont particulièrement intéressé nos visiteurs.

Ils ont retenu, pour l'article publié dans le numéro de mars 96 de GEO, une double page photo de l'étude d'impact d'une chaufferie urbaine.

La visite des autres installations du laboratoire d'essais a permis d'envisager dans le futur d'autres opportunités en fonction des projets rédactionnels et des thèmes d'études développés au CERG.

### Une distinction attribuée à un Ingénieur du CERG

Le jury du Grand Prix d'HYDROTECHNIQUE, réuni le 23 mai 1996 sous la présidence de Monsieur P. CAZENAVE, Président du Comité Scientifique et Technique de la SOCIETE HYDROTECHNIQUE DE FRANCE, a décidé de décerner son Grand Prix 1996 à Monsieur Paul CHANTREL, Ingénieur au CERG, pour l'ensemble de ses travaux dans les domaines des machines tournantes et de l'hydrodynamique navale.

La médaille d'argent concrétisant ce mérite a été remise à Paul CHANTREL le 18 septembre 1996, au cours de la Séance Inaugurale des 24 émes JOURNEES DE L'HYDRAULIQUE organisées par la SHF.

Ce prix couronne une déjà longue carrière, menée au sein du CERG depuis 1970, au service de la recherche en mécanique des fluides. Cette distinction concrétise la reconnaissance du milieu scientifique pour un Ingénieur dont les qualités et la compétence sont depuis longtemps appréciées par tous ses collègues du CERG.

### Une délégation chinoise au CERG

Le CERG a reçu, le 26 juillet 1996, une mission d'étude, composée de 20 directeurs des principaux organismes relevant du Ministère de l'Energie Hydraulique de Chine, pour un échange sur le fonctionnement de la recherche scientifique en France et sur les possibilités de coopération entre la France et la Chine dans le domaine de l'hydraulique.

### Le CERG exporte vers le LIBAN

Le CERG vient de recevoir, dans la cadre de la reconstruction du LIBAN, une commande de 9 bancs didactiques destinés à l'Université Notre Dame de BEYROUTH.

## PROJECTEUR SUR ...

### Inauguration de la boucle d'essais des pompes BERGERON

Les essais de réception du modèle réduit des dix pompes Volute Béton fournies par BERGERON pour la station de pompage de KATIA en Egypte se sont déroulés au CERG les 10 et 11 juin 1996.

Etaient présents des représentants du client (le Ministère Egyptien des Travaux Publics et des Ressources en Eau), de son ingénieur-conseil (la société INGENICO) et les personnels concernés de BERGERON et du CERG (photo).

Les résultats des essais ont donné toute satisfaction au client.



"La prédiction de l'érosion par cavitation dans les turbomachines et les composants hydrauliques"

Suite de la page 2.

Une meilleure maîtrise des phénomènes d'érosion peut donc induire des économies d'exploitation directes et le besoin, exprimé dans ce contexte, concerne surtout la capacité à surveiller les machines en détectant les configurations de fonctionnement qui pourraient s'avérer particulièrement érosives.

Pour ce qui est de la conception de nouvelles machines, les retombées économiques qu'on peut attendre d'une possibilité de prévoir, avec une relative précision, la durée de vie d'un matériau sont essentiellement de trois ordres :

- d'une part, la taille de la machine peut être choisie judicieusement de manière à garantir sa durée de vie tout en optimisant le coût de fabrication,
- d'autre part, les matériaux constitutifs sont sélectionnés à bon escient en fonction du meilleur compromis entre leur résistance à l'érosion, leur facilité d'usinage et leur coût d'approvisionnement,
- enfin et surtout, les infrastructures nécessaires au fonctionnement de la machine (génie civil, motorisation...) sont réduites grâce à une marge de sécurité plus serrée.

## Le programme BRITE-EURAM

Des recherches sur l'érosion par cavitation ont été entreprises dès 1980 en France par le CERG, en collaboration avec EDF/DER et l'Institut de Mécanique de Grenoble, avec l'appui de la Direction des Recherches, Etudes et Techniques de la Délégation Générale pour l'Armement.

Ces recherches ont abouti à la proposition d'une méthode de pré-

diction de l'érosion dont la vérification nécessitait le recours à des campagnes d'essais, en particulier sur machines industrielles.

L'importance des travaux à entreprendre justifiait la demande d'une contribution de la part du programme BRITE-EURAM de la Communauté Européenne.

Trois objectifs essentiels ont été assignés au programme à partir des considérations ci-dessus :

- *définir complètement une méthodologie de prédiction de l'érosion par cavitation* qui puisse s'insérer facilement dans le schéma de développement classique d'une machine hydraulique ou être mise en oeuvre rapidement s'il s'avère nécessaire de prévoir la durée de vie résiduelle d'une machine en exploitation,
- *définir complètement une méthodologie de détection rapide et non intrusive* des régimes de fonctionnement d'une machine hydraulique en exploitation qui peuvent s'avérer dangereux du point de vue de l'érosion,
- *valider ces méthodologies* par des cas d'application réels en laboratoire et sur des machines industrielles.

Pour cela, un groupement de par-

tenaires européens a été formé avec le CERG comme coordinateur, comprenant :

- des laboratoires industriels et universitaires pour la définition des méthodes opérationnelles, l'interprétation des résultats et la réalisation des essais de validation en laboratoire, à savoir : outre le CERG, EDF/DER (France), l'I.M.H.E.F. (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse) et l'Université Technologique de Darmstadt (Allemagne),
- des entreprises industrielles pour l'application et la validation des méthodologies : KSB pour les pompes (Allemagne), RIVA HYDROART et l'ENEL (Italie) pour les turbines et le C.E.H.I.P.A.R. (Espagne) pour les hélices marines.

Le programme a démarré en 1992 et s'est achevé début 96 avec succès dû, en particulier, à une coopération active et constructive de tous les partenaires et les résultats seront publiés dans les prochains mois en complément des présentations partielles déjà faites.

Nous donnerons un aperçu des principaux résultats acquis dans le prochain numéro de la *Technique des Fluides*.

Si un article a retenu votre attention, ou si vous souhaitez en savoir plus sur nos activités, contactez Christine MARTI :

par courrier à :

GEC ALSTHOM ACB - CERG  
Christine MARTI  
Rue Lavoisier  
38800 LE PONT DE CLAIX

par téléphone au :

(33) 04 76 40 90 40



par fax au :

(33) 04 76 98 08 81

à l'attention de C. MARTI



## LE CERG DISPOSE DE NOUVEAUX MOYENS D'ESSAIS

Dans le cadre de l'optimisation de la gestion des moyens d'essais du Groupe Fluides et Mécanique de la Division des Equipements Industriels de GEC ALSTHOM, le CERG regroupe dans son Centre de PONT DE CLAIX de nouveaux moyens d'essais et de démonstration.



### Installation de démonstration de matériels d'irrigation

Cette installation BERGERON, appelée «canal bleu», comporte une cuve amont et deux portions de canaux équipées de divers composants-modèles de démonstration et d'essais des matériels vendus par BERGERON pour les réseaux d'irrigation : soupape antibélier, siphon partialisé, vanne cylindrique, vannes de réglage à niveau constant amont ou aval, modules à masques...

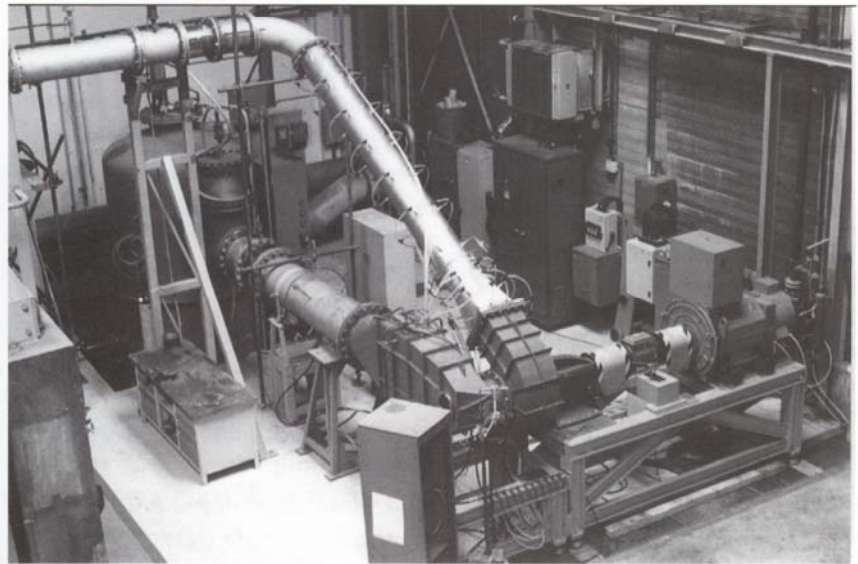


### Boucle d'essais des pompes BERGERON

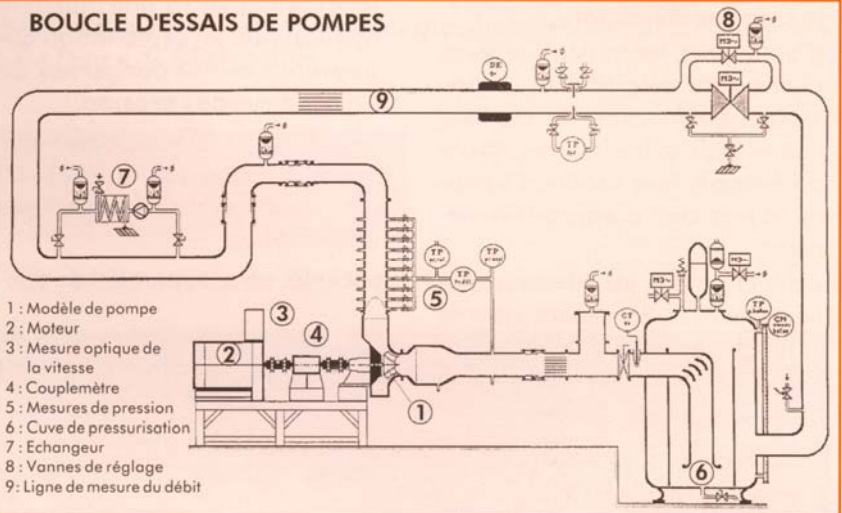
Cette installation est destinée aux essais sur modèle de recherche, de qualification et de recette des pompes conçues et fournies par l'établissement BERGERON de GECALSTHOMACB.

Caractéristiques principales :

- débit max : 1 m<sup>3</sup>/s
- pression max : 10 bars
- moteur 200 kW - 1500 rpm
- NPSH minimum : 1 m
- tous types de pompes (modèles Ø = 200 à 500 mm environ)



### BOUCLE D'ESSAIS DE POMPES



### Boucle de démonstration et d'essais de matériels d'adduction d'eau de GEC ALSTHOM SAPAG

Cette boucle PN16 permet de faire des démonstrations de fonctionnement et des essais de caractérisation de composants de contrôle des débits et pressions :

- vanne de réglage multijets MONOVAR® avec sa commande par automate préprogrammé MODUVAR®,

- clapet de non-retour de sécurité silencieux CLASAR® avec comparaison à un clapet à battant classique,
- appareil de contrôle de débit indépendamment de la pression amont EQUIVAR,
- tout composant de robinetterie industrielle.

## MOTORISATIONS HYDRAULIQUES COMPACTES A TURBINES AXIALES MULTIETAGEES

### Présentation

Il y a cent ans, l'anglais PARSONS appliquait son invention à la production d'énergie motrice du navire TURBINIA, en remplaçant les machineries à pistons par des turbines axiales multiétagées.

Depuis, cette idée a conquis de nombreux domaines. Le CERG s'y est impliqué depuis de nombreuses années, en particulier pour l'application au turboforage pétrolier puis à la transmission de puissance pour propulseurs marins.

Nous vous proposons de donner ci-après un aperçu des potentialités de ce type de machine.

### Principe de fonctionnement et de conception

Le moteur hydraulique utilise le plus souvent comme fluide énergétique l'eau sous haute pression fournie par un groupe moto-pompe primaire (d'autres fluides peuvent être également utilisés selon les applications).

Le moteur transforme l'énergie du fluide en couple dans une succession d'étages élémentaires identiques de turbine comportant un rotor associé à un distributeur. Chaque élément distributeur ou rotor est constitué par une couronne d'ailettes (voir photo).

Le distributeur, solidaire du corps du moteur, induit une forte rotation du fluide, transformée en couple par le rotor monté sur l'arbre du moteur.

On peut ainsi empiler un nombre  $n$  d'étages identiques pour consommer, à débit donné, la pression totale disponible et obtenir un couple total proportionnel au nombre d'étages.

Ce principe permet de réaliser des moteurs à encombrement diamétral réduit et constant, avec

une possibilité intéressante d'ajustement des caractéristiques par le choix du nombre d'étages.

La conception de ce type de moteur est simple : les distributeurs sont empilés dans une carcasse cylindrique en alternance avec les rotors solidaires d'un arbre monté sur paliers-butée hydrodynamiques. Le refroidissement et la lubrification sont assurés par le fluide moteur.

### Caractéristiques et domaines d'applications

- . couple important et réglable
- . compacité diamétrale
- . faible niveau vibratoire
- . pas d'endommagement en cas de blocage
- . rendement élevé (0,85 à 0,90)
- . contrôle de la vitesse de rotation par le débit
- . réalisation en matériaux inoxydables
- . absence de fluide polluant
- . refroidissement continu
- . fiabilité et durée de vie importantes

Les domaines d'application et d'intérêt de ces motorisations résultent des caractéristiques ci-dessus :

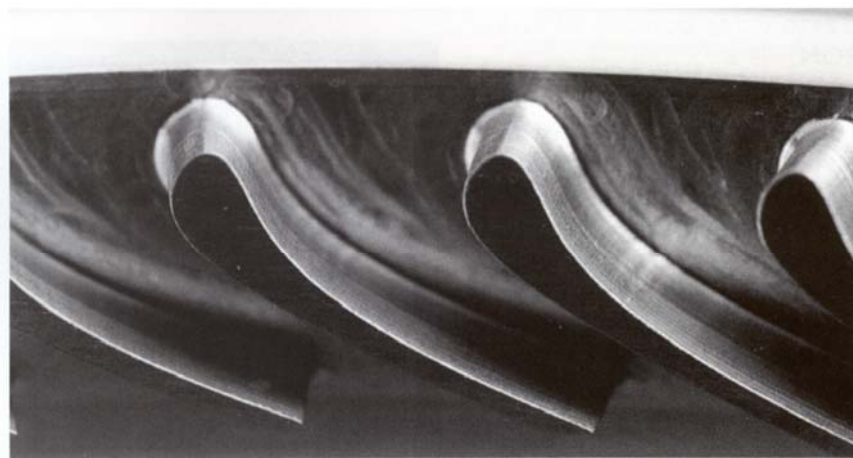
- . moteurs pour forage, entraînement d'hélices, agitateurs, transmissions de puissance, systèmes de mesures...

### Exemple de réalisation

- Moteur de 500 kW
- . nombre d'étages : 15
- . pression d'alimentation : 50 bars
- . couple max : 4000 N.m
- . diamètre : 300 mm
- . longueur : 1500 mm
- . vitesse de rotation max : 1800 rpm.



Rotor complet



Détail d'aubages distributeurs