

4e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

1, 2, 3 mars 1993 - Nantes

**PRESENTATION D'UNE METHODOLOGIE
SYSTEMATIQUE DE MESURE DU DEBUT
DE CAVITATION**

**A. HELLION, J. PAUCHET, S. LAVIGNE
ACB-CERG
38800 LE PONT-DE-CLAIX**

Résumé

La mesure des conditions d'apparition de la cavitation est une opération délicate et les résultats présentés dans la littérature sont fréquemment dispersés, particulièrement dans le cas des jets cavitants. La définition d'un critère de début de cavitation est d'une part un choix arbitraire et peut d'autre part rendre les résultats dépendant du moyen d'essai. Il est alors difficile de comparer les résultats obtenus avec des critères différents ou de les transposer à d'autres situations. Une méthodologie de mesure du début de cavitation est proposée pour diminuer la part de dispersion, observée dans les résultats expérimentaux, provenant de ces deux difficultés.

Summary

The measurement of the conditions of cavitation inception is a tricky operation and the results in the available literature are frequently dispersed, specially for submerged water jets studies. On the one hand the definition of an inception criterium is an arbitrary choice and on the other hand it could make the results depending on the facilities. It is then difficult to compare the results obtained with different criteria or to transpose them to others situations. A methodology for the measurement of the cavitation inception is proposed in order to improve the part of dispersion, observed in the experimental results, which could be due to these two difficulties.

1. GENERALITES

La cavitation est un phénomène couramment rencontré dans les écoulements hydrodynamiques (vannes de régulation, propulseurs, hélices, turbines, ailes portantes,...). Elle peut provoquer des sources de bruit nuisibles, des chutes de performance et même de l'érosion des parois.

Elle apparait lorsque la pression devient suffisamment faible pour entrainer la vaporisation du fluide. Celle-ci prend toujours naissance en des points faibles du liquide appelés germes de cavitation. Chaque germe est caractérisé par sa pression critique. Lorsque la pression du fluide devient inférieure à cette pression critique, il se développe à partir de ce germe, une cavité de vapeur de géométrie plus ou moins complexe.

Ces cavités sont généralement convectées par l'écoulement (cavitation à bulles, jets cavitants) vers des zones de pression plus élevée où elles deviennent instables et disparaissent en s'effondrant sur elles-mêmes. C'est la phase de collapse. Il arrive parfois que ces cavités s'accrochent et ne soient plus convectées (cavitation à poches, tourbillon marginal). Mais, sauf cas très particulier comme celui du vortex cavitant torique, ces cavités accrochées sont très instationnaires (zone de fermeture des poches, break-down des vortex cavitants) et génèrent de ce fait une succession de cavités libres qui sont entraînées vers l'aval où elles finissent par s'effondrer.

Une des questions fondamentales relatives à la cavitation est la détermination, pour une configuration d'écoulement définie, des conditions pour lesquelles elle apparait ; ceci afin de définir, par exemple, comment utiliser le système étudié sans caviter. Cette détermination se fait, à l'heure actuelle, essentiellement par voie expérimentale.

La confrontation des mesures de début de cavitation obtenues par différents auteurs sur des écoulements similaires montre qu'il existe parfois des écarts très importants comme par exemple dans le cas des jets cavitants. Outre le fait que les écoulements étudiés et présentés dans la littérature ne soient pas toujours directement comparables, la raison de cette dispersion tient également aux éléments suivants :

- Il est difficile de contrôler et de mesurer correctement la population des germes de cavitation transportés par le fluide alors que celle-ci conditionne fortement l'apparition et le développement de la cavitation.
- Il existe diverses façons de mesurer l'apparition de la cavitation (méthodes optiques, acoustiques) et les critères de définition du début de cavitation sont arbitraires voire subjectifs (augmentation du niveau de bruit de x db, nombre d'évènements par seconde supérieur à y évènements/s,...).

L'objet de cette présentation concerne plus particulièrement ce dernier point. Cependant il apparait au §. 4 que ces deux problèmes peuvent être en partie résolus avec des moyens communs.

La méthodologie proposée ici repose sur une présentation des résultats non plus en termes de début de cavitation mais plutôt en termes de niveau de cavitation. Le début de cavitation est en fait un point particulier de la courbe donnant l'évolution du niveau de cavitation en fonction du ou des paramètres caractérisant l'écoulement (Sigma, Reynolds, etc...), dont la définition à l'aide d'un seuillage de ce niveau est arbitraire.

Pour mesurer le niveau de cavitation, il est nécessaire de définir une grandeur mesurable caractérisant ce niveau. Le choix de cette grandeur devra être guidé par le respect des fonctionnalités suivantes :

- répétitivité de la mesure,
- transposabilité de la mesure d'un moyen d'essais à un autre
- facilité de mise en oeuvre,
- rapidité de la mesure,
- automaticité de la mesure.

2. DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE RETENUE

Les propriétés hydroacoustiques du collapse des cavités de vapeur sont souvent utilisées pour la mesure du début de cavitation. En effet, l'effondrement de la poche de vapeur sur elle-même se produit avec une accélération constamment croissante du fluide environnant. Lorsque le volume de la cavité s'annule, le fluide est brutalement stoppé en provoquant une onde de pression très intense de type coup de bélier.

La détection et le comptage des collapses fondés sur une détection acoustique est une opération qui peut paraître simple, car il s'agit d'événements brefs de type impulsif. Néanmoins, deux phénomènes entraînent des difficultés pour réaliser cette opération :

- l'amplitude des impulsions présente une dynamique très importante,
- les impulsions ne sont observables que filtrées par des résonances de volume et des résonances mécaniques qui entraînent des réponses oscillatoires.

Ainsi, il peut arriver, comme dans le cas d'une cavitation à poche, que les événements ne soient plus séparables. La grandeur à mesurer, correspondant au niveau de cavitation, peut alors être un niveau RMS dans une bande de fréquences donnée. Cette mesure présente l'inconvénient de ne pas être transposable à un autre moyen d'essais qui ne posséderait pas la même réponse fréquentielle.

En revanche, lorsque les événements sont parfaitement séparables la grandeur retenue sera le nombre N d'évènement par seconde. Cette quantité ne dépend ni du niveau du signal ni de son contenu fréquentiel. La mesure du niveau de cavitation sera donc transposable d'un moyen d'essais à un autre. Elle se prêtera, de plus, à la pratique classique en hydrodynamique de l'analyse dimensionnelle et des règles de similitude.

Par exemple, si l'on considère que cette grandeur est fonction des paramètres suivants :

$$\dot{N} = f(\rho, V, L, (P-P_v), \nu, n(P_c-P_v), G, \dots)$$

| | | |
|----|--------------|--|
| où | ρ | est la masse volumique du fluide |
| | V | une vitesse particulière de l'écoulement |
| | L | une dimension particulière de la géométrie des parois |
| | P | un niveau de pressurisation |
| | P_v | la pression de vapeur |
| | ν | la viscosité cinématique |
| | $n(P_c-P_v)$ | la répartition cumulée de la concentration n des germes en fonction de l'écart entre leur pression critique P_c et la pression de vapeur |
| | G | la géométrie des parois |

et en prenant ρ , V et L comme les 3 grandeurs dimensionnelles indépendantes de référence, on obtient :

$$St = f(\sigma, Re, n'(\sigma_c), G', \dots)$$

avec

$$St = \frac{\dot{N}V}{L} \quad \text{le nombre de Strouhal bâti avec } \dot{N}$$

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad \text{le nombre de cavitation}$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad \text{le nombre de Reynolds}$$

$$n' = nL^3 \quad \text{la concentration adimensionnelle des germes}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c - P_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad \text{le sigma critique des germes}$$

$$n'(\sigma_c) \quad \text{représente la répartition non dimensionnelle de la population des germes}$$

$$G' = \frac{G}{L} \quad \text{la forme géométrique des parois}$$

La comparaison des résultats relatifs à différentes configurations d'écoulement devra se faire à l'aide du Strouhal et non pas à l'aide de N . Cette remarque est également valable pour choisir le seuil du niveau de cavitation définissant le début de cavitation.

Le moyen mis en oeuvre pour la mesure de \dot{N} , et donc de St , est constitué d'un capteur et d'une carte de traitement du signal. L'information de sortie de cette carte peut être recueillie par un micro-ordinateur au même titre que les autres grandeurs de l'écoulement (V , P , P_v , ...) afin de tracer la ou les courbes d'évolution du St "visualisant" l'apparition de la cavitation.

3. DESCRIPTION DU MOYEN DE MESURE

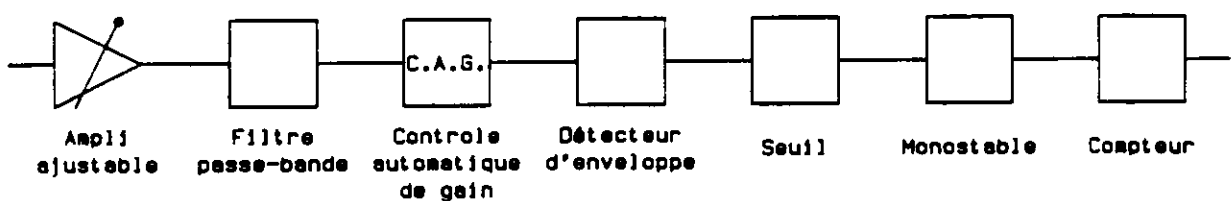
3.1 Capteurs

Différents capteurs ont été utilisés dans nos applications (§.4) : capteur de pressions fluctuantes, accéléromètre... Ce dernier présente l'avantage d'être facilement adaptable sur un moyen d'essais quelconque.

Il faut veiller dans la mesure du possible à positionner les capteurs le plus près possible de la zone cavitante.

3.2 Méthode de traitement du signal

Une représentation simplifiée de la méthode est donnée sur le schéma ci-dessous :



Les principaux éléments sont :

- * Filtre passe-bande : filtre de 100 kHz à 1 MHz : zone où le rapport signal sur bruit est satisfaisant.
- * Boucle de contrôle automatique de gain : de dynamique 60 dB. Compte tenu de la dynamique des signaux mesurés, cette fonction permet de comptabiliser des événements dont le niveau varie de 1 à 1000.
- * Le monostable permet de ne compter que les événements distants d'au moins 120 μs ; dans nos applications, cette condition évite de comptabiliser les résonances du système mécanique.

4. EXEMPLES D'APPLICATIONS

4.1 Le Venturi Analyseur de Germes (V.A.G.)

Le V.A.G. a été développé au CERG principalement sous contrat DRET [1]. Il permet de caractériser la population des germes de cavitation contenus dans un fluide, en déterminant la répartition cumulée de la concentration des germes en fonction de leur pression critique.

Cette information est fondamentale pour les études de cavitation puisque cette population conditionne fortement le comportement cavitant d'un écoulement donné.

Le principe de fonctionnement du VAG consiste à prélever un certain débit du fluide à analyser pour le soumettre momentanément à une pression contrôlée inférieure à la pression de vapeur du fluide. Par définition, tout germe caractérisé par une pression critique supérieure à ce niveau de pression donne naissance à une bulle de cavitation qui, après une phase de grossissement, implose bruyamment. La méthode décrite au §. 3.2 associée à un capteur constitué d'une pastille céramique collée en paroi extérieure du Venturi permet de compter par unité de temps le nombre de germes ainsi activés. Cette grandeur peut facilement être convertie en concentration en la divisant par le débit de fluide prélevé.

En faisant évoluer ce niveau de pression par modification du débit circulant dans le Venturi, on peut tracer la répartition cumulée recherchée.

La figure 1 donne un exemple d'une telle répartition mesurée à l'aide de cet appareil.

4.2 Etude de cavitation dans les jets turbulents

Les études de cavitation dans les jets turbulents menées actuellement au CERG sous contrat DRET visent en particulier à qualifier et à comprendre les effets des principaux paramètres sur l'apparition de la cavitation dans les jets [2]. En effet, l'analyse de la littérature relative à cette question montre une disparité importante des résultats et même des sens d'influence de certains paramètres opposés [3], [4] et [5]. Le contrôle et la mesure des germes dans le tunnel utilisé ainsi que l'exploitation de la méthodologie d'analyse du début de cavitation devrait permettre de progresser dans la compréhension de ce sujet.

Pour ces études, le capteur utilisé était un accéléromètre collé sur la veine en plexiglas du tunnel.

Les résultats relatifs à l'influence des paramètres vitesse V et diamètre L du jet sont représentés sur la figure 2. On remarque que la cavitation apparaît globalement plus tôt pour les jets de grand diamètre et que l'influence de la vitesse du jet s'inverse lorsqu'on change le diamètre.

On observe sur ces tracés la sensibilité du σ de début de cavitation σ_i en fonction du seuil choisi. En particulier, pour la configuration de jet $L = 30$ mm et $V = 13$ m/s, le seuil $St = 0,05$ donne $\sigma_i = 0,76$ alors que $St = 0,02$ donne $\sigma_i = 0,98$.

Par ailleurs, pour les deux configurations suivantes, on remarque que le seuil de début de cavitation $St = 0,01$ est atteint pour des valeurs de \dot{N} fortement différentes.

| Configuration | Critère $St = 0,01$ | |
|---------------------------|---------------------|------------------|
| $L = 20$ mm, $V = 24$ m/s | $\sigma_i = 0,86$ | $\dot{N} = 12,0$ |
| $L = 40$ mm, $V = 11$ m/s | $\sigma_i = 1,20$ | $\dot{N} = 2,7$ |

Il apparaît ainsi qu'un critère de début de cavitation bâti en seuillant \dot{N} au lieu de St donnerait des résultats significativement différents et erronés. Cet écart pourrait devenir encore plus important pour d'autres configurations de jet dont la fréquence de référence V/L serait encore plus éloignée de celles des configurations précédentes. Cette remarque est particulièrement importante lorsque l'on cherche à transposer les résultats de ce type d'essais pour dimensionner des organes hydrauliques ou des machines dont les fréquences de référence sont fortement différentes en raison de l'échelle ou bien des vitesses.

5. CONCLUSION

La méthodologie proposée donne les moyens de caractériser un état cavitant sans introduire la notion trop subjective de début de cavitation. Les techniques décrites permettent d'effectuer cette caractérisation :

- . de manière rapide et répétitive,
- . sans modifier de façon contraignante le moyen d'essais,
- . de façon à pouvoir transposer les résultats obtenus facilement d'un moyen d'essais à un autre.

Bien que ces techniques ne soient utilisables que dans le cas d'évènements séparables, elles sont néanmoins prometteuses et leur emploi généralisé serait souhaitable. De plus, on peut espérer que des efforts supplémentaires de développement permettent d'améliorer encore plus le pouvoir de séparation.

REFERENCES

- [1] Venturi à Ogive Centrale, Rapport de Synthèse
S. LAVIGNE
Rapport DRET n° 21038, 1988

- [2] The Prediction of Cavitation Inception in turbulent water jets
J. PAUCHET - A. RETAILLEAU - J. WOILLEZ
Cavitation and multiphase Flow Forum, ASME, 1992
FED-Vol, Vol 135, 1992

- [3] ROUSE Hunter, "Cavitation in the mixing zone of
a submerged jet". La Houille Blanche, 1953

- [4] OOI K. K., "Scale effects on cavitation inception
in submerged water jets : a new look", J.F.M., vol 151, 1985

- [5] LIN H.J., KATZ J., "Cavitation phenomena in jets",
Proceeding of the 21st ATTC conference, Washington, 1986

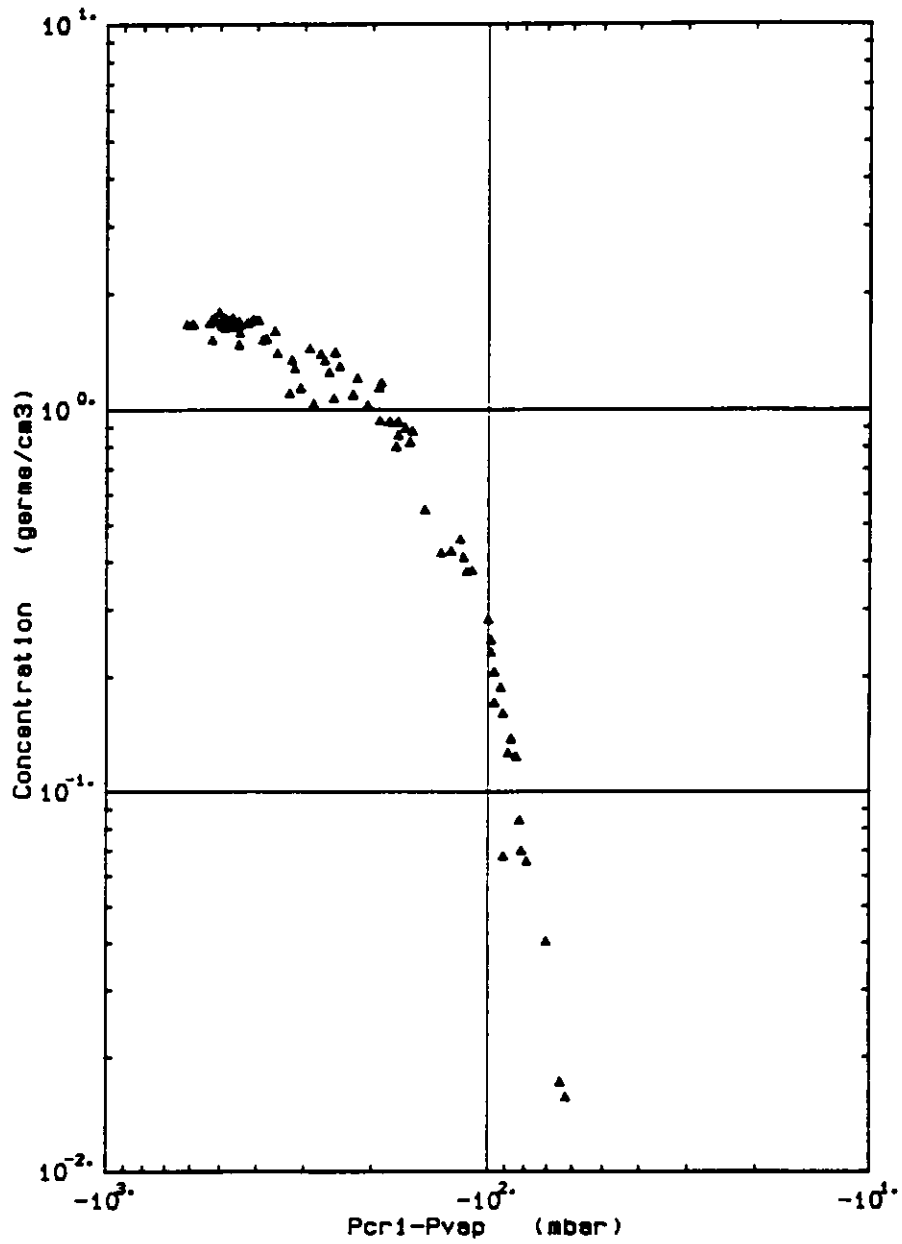


Fig.1 : VENTURI ANALYSEUR DE GERMES
(Exemple de population mesurée)

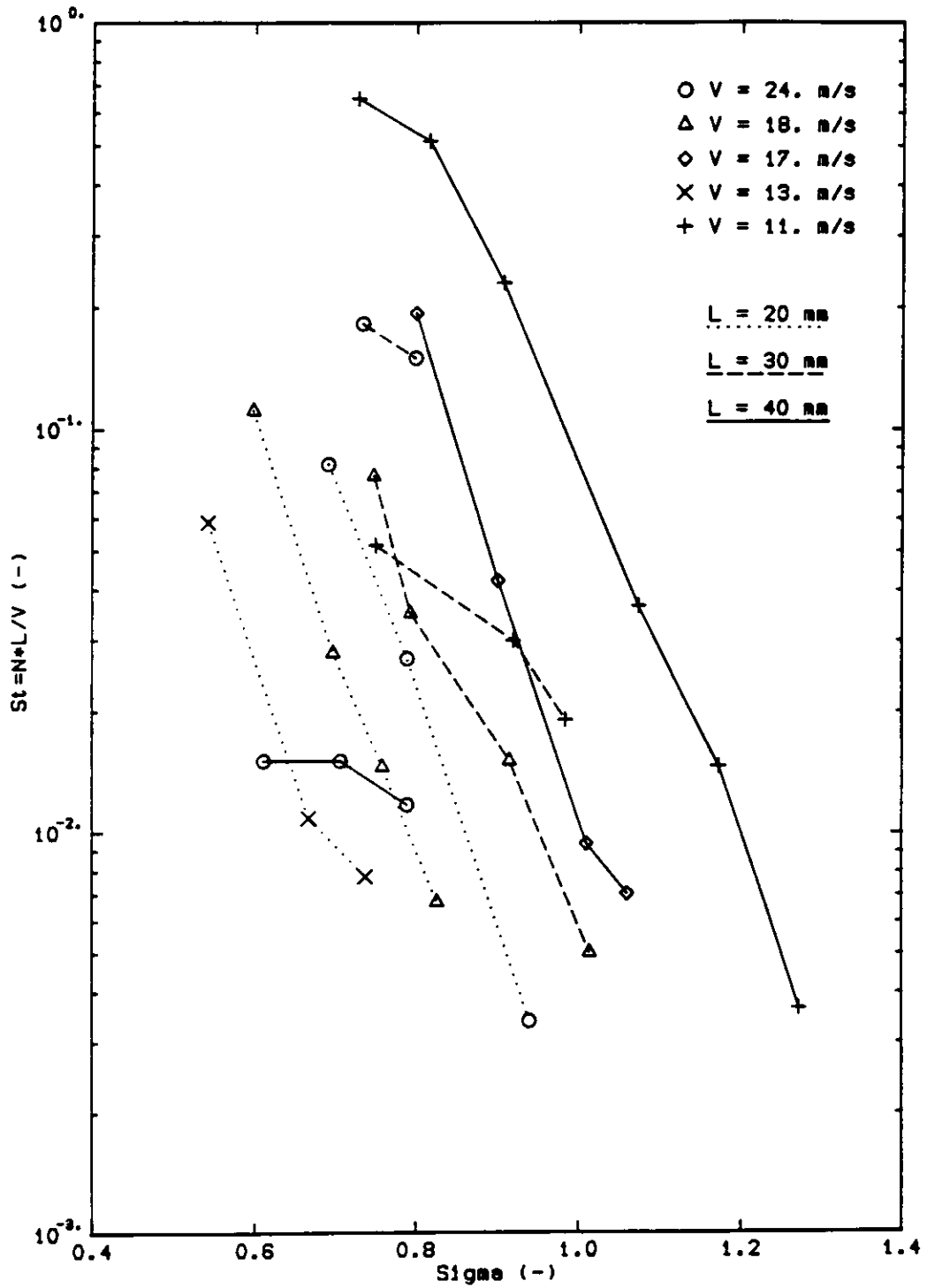


Fig.2 : MESURES DE DEBUT DE CAVITATION DANS DES JETS
(Présentation adimensionnelle $St(\Sigma)$)