

UTILISATION DE L'ÉMISSION ACOUSTIQUE POUR LA SURVEILLANCE DE CIRCUITS FLUIDIQUES *MONITORING OF FLUIDICS SYSTEMS BY ACOUSTIC EMISSION*

JAUBERT L. ⁽¹⁾, DESCHAMPS M. ⁽¹⁾, MAILLARD S. ⁽¹⁾, SULIS V. ⁽¹⁾

⁽¹⁾CETIM – Pôle Ingénierie Contrôle et Mesures – 52, avenue Félix Louat
60300 SENLIS – France

Tél. : 03 44 67 31 97 – Fax. : 03 44 67 33 52

E-mail : lionel.jaubert@cetim.fr

Samuel.maillard@cetim.fr

valerie.sulis@cetim.fr

Résumé

Les circuits fluidiques dans l'industrie sont encore aujourd'hui des ensembles essentiellement mécaniques nécessitant, pour leur surveillance, une intervention humaine. Grâce aux progrès et à la miniaturisation de l'électronique dans le domaine des CND, il est maintenant possible d'introduire, des systèmes de surveillance dans les organes mécaniques. Ces systèmes permettent une augmentation de la durée de vie ainsi qu'un accroissement des performances des circuits fluidiques.

Cette présentation explicite, les possibilités d'utilisation d'une méthode CND tel que l'émission acoustique pour la surveillance de défaillances (cavitation naissante, fuite...) sur des composants d'un circuit hydraulique (vanne, pompe...).

Abstract

Nowadays fluidics systems in industry are essentially made with mechanical assemblies requiring human intervention only for their monitoring. Thanks to electronic miniaturization and progress in the field of NDT, it is possible to introduce monitoring devices inside mechanical assemblies. These devices extend the life span of fluidics systems and improve their performance.

This article outlines results acquired from the acoustic emission monitoring of a fluidic loop with pump and a butterfly valve. The main phenomenon studied is cavitation with different operating conditions of the fluid loop. The acoustic emission capability to detect incipient cavitation is dis-cussed with respect to the pump and the valve operating conditions.

INTRODUCTION - CONTEXTE DE L'ETUDE

Dans le cadre de son activité en Ingénierie de Contrôle et de Mesures, le CETIM est chargé d'évaluer et de promouvoir les différentes méthodes de contrôle non destructif. Le besoin grandissant, des différents industriels de la mécanique, pour la surveillance d'organes mécaniques a amené de CETIM à initier le grand projet Isyfluid.

Ce projet a pour objectif la mise en place de technique de surveillance capables de détecter des défaillances sur les organes constitutifs d'une boucle fluidique (pompe, vannes...). Les technologies utilisées devront pouvoir être intégrées directement sur les organes à surveiller. Les enjeux d'un tel projet sont :

- De protéger l'installation.
- D'éviter les pannes et les arrêts imprévisibles.
- De diminuer le coût de maintenance.
- D'optimiser le fonctionnement du circuit pour de meilleures performances.

Ce document concerne l'apport de l'émission acoustique pour la détection de phénomènes de cavitation dans deux organes mécaniques différents, un groupe motopompe et une vanne papillon de régulation.

PRINCIPES

La cavitation dans un liquide se produit chaque fois que localement la pression chute à une valeur inférieure à la pression de vaporisation du liquide ou à la pression partielle d'un gaz dissous dans ce liquide. Cette chute de pression provoque alors la formation de bulles de vapeur ou de gaz. Ces bulles se déplacent et disparaissent très brutalement par implosion aussitôt que la pression remonte, comme illustre la figure 1. Les variations locales de pression qui sont à l'origine de la cavitation peuvent être provoquées par la circulation du fluide sans qu'il y ait nécessairement des turbulences. Les variations de dimensions de la conduite, les coudes, les changements de direction, les obstacles, les aspérités des parois, etc. sont autant de causes possibles pour modifier le profil de pression du liquide en écoulement.

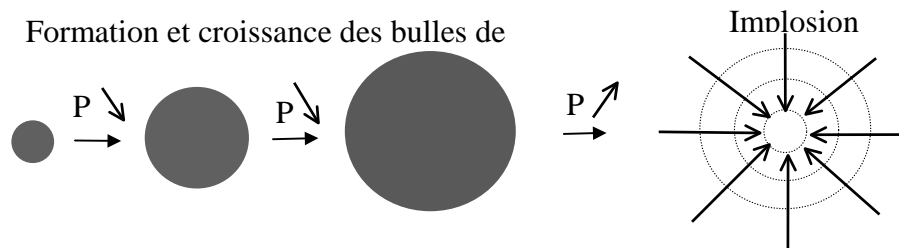
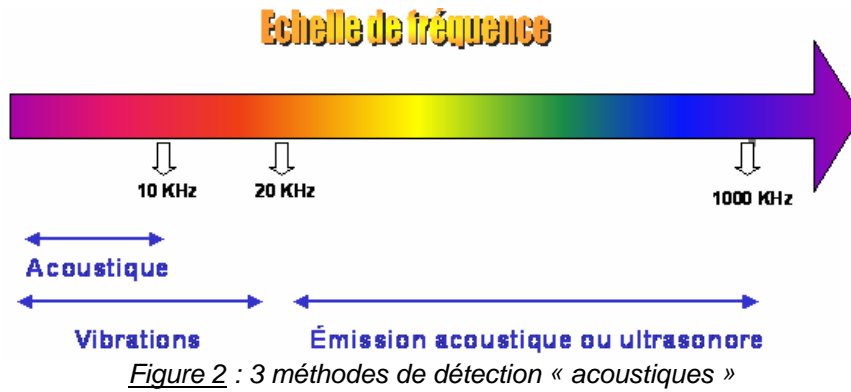


Figure 1 : Cavitation dans un liquide

L'implosion des bulles génère alors une onde de pression de forte intensité (qui peut atteindre 1000 MPa) et de courte durée (de l'ordre de quelques μs). On retiendra, que d'un point de vue émission acoustique, la cavitation se traduit par des événements discrets, plus ou moins discernables dans le temps par les appareils de mesure classiques, dont l'énergie acoustique est au moins supérieure à un ordre de grandeur de celle engendrée par le phénomène de turbulence.

L'étendue spectrale des implosions étant large (quelques kHz à quelques MHz), plusieurs méthodes « acoustiques » peuvent les détecter dans différentes bandes de fréquence (figure 2).

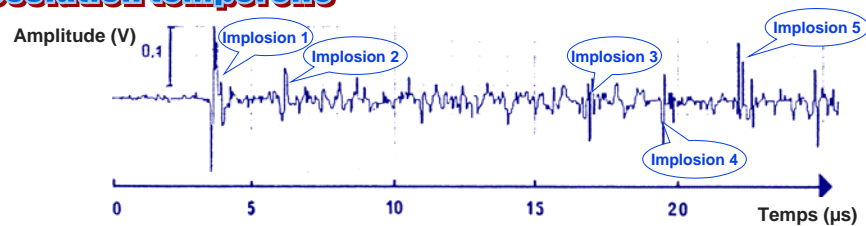


Par rapport aux méthodes acoustique et vibratoire, la technique de l'émission acoustique présente deux avantages, comme montre la figure 3 :

- une meilleure sensibilité du fait que le bruit environnant est fortement atténué dans les fréquences ultrasonores,
- une meilleure résolution temporelle pour discerner les impulsions brèves (une impulsion = une implosion).

Un système d'émission acoustique comporte plusieurs parties : capteur + préamplificateur, acquisition et traitement des signaux. Sur chaque capteur, il analyse en temps réel l'activité (le nombre), l'intensité, la puissance et la durée des implosions de bulles.

Meilleure résolution temporelle



Meilleure sensibilité

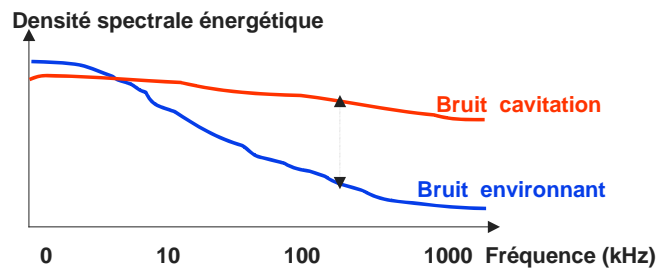


Figure 3 : Avantages de la technique de l'émission acoustique

DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET TRAITEMENT DES DONNEES

Ce paragraphe regroupe les informations concernant la boucle fluide, le mode opératoire de simulation des défauts et les caractéristiques du système de surveillance par émission acoustique.

Boucle isyfluid

La figure 4 représente le schéma d'ensemble de la boucle fluide utilisée pour cette étude.

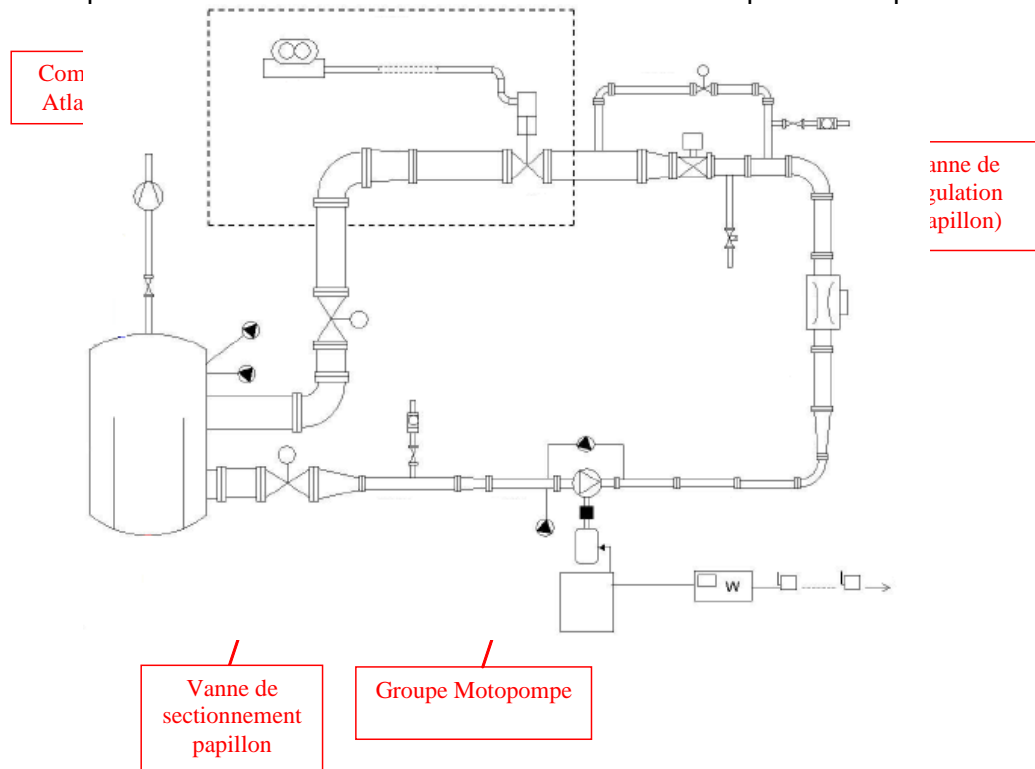


Figure 4 : schéma de la boucle fluide

Simulation des défaillances

- Vanne de régulation.

Une première campagne de mesures est réalisée lors des essais de qualification de la vanne. Une deuxième campagne d'essais de cavitation est ensuite réalisée directement sur la boucle isyfluid. Les essais initiaux nous ont permis d'avoir une première idée des paramètres pertinents de détection. Dans ce rapport, seuls les résultats des essais sur la boucle isyfluid seront décrits.

La cavitation est simulée pour plusieurs ouvertures du papillon de la vanne : 20°, 40° et 60°. Le phénomène de cavitation est créé par une variation du débit. Deux types d'essais sont réalisés :

- Essais réalisés à un débit fixe, pour une cavitation à 3 % et 6 % du NPSH.
- Essais réalisés par balayage dynamique du débit.

Le deuxième type d'essais permet de mettre en évidence le seuil de détectabilité de la cavitation par émission acoustique.

Définition : le NPSH (**Net Positive Suction Head**) est une mesure permettant de quantifier la hauteur manométrique d'aspiration disponible pour éviter la vaporisation au niveau le plus bas de la pression dans la pompe. Dans notre étude nous avons volontairement induit un écart à la valeur NPSH afin de créer de la cavitation.

- Groupe Motopompe

Les essais de cavitation de la pompe sont simulés au débit nominal de la pompe soit 240 m³/h. La cavitation du groupe motopompe est créée par une chute de la pression d'aspiration. Deux types d'essais sont réalisés :

- Essais réalisés à une pression d'aspiration fixe, pour une cavitation à 3 % et 6 % du NPSH.
- Essais réalisés par balayage dynamique de la pression d'aspiration

Le deuxième type d'essais permet de mettre en évidence le seuil de détectabilité de la cavitation par émission acoustique.

Systeme d'acquisition.

La chaîne de mesure d'émission acoustique est constituée d'un capteur résonnant à 300 kHz, d'un préamplificateur PAC 0/6/10/20 et d'une carte d'acquisition ayant les caractéristiques suivantes :

- marque : National Instruments
- type : PCI NI 6115
- résolution : 12 bits
- nombre de voie de mesure : 4
- fréquence d'échantillonnage max : 10 million S / s

PRINCIPAUX RESULTATS

Ce paragraphe regroupe les résultats concernant des essais de cavitation sur une vanne de régulation papillon, puis sur un groupe motopompe. Pour tous les essais présentés ci après les résultats sont donnés avec des unités arbitraires.

- Vanne de régulation

La figure 5 représente le niveau de signal RMS en émission acoustique lors d'essais de cavitation sur une vanne de régulation. Ces mesures sont réalisées pour différentes ouvertures du papillon.

Pour ces essais, nous avons fait augmenter de façon continue le débit de fluide passant à l'intérieur de la vanne de régulation.

Quelque soit l'angle d'ouverture du papillon (20°, 40° 60°), le niveau de bruit de fond provoqué par l'écoulement du liquide est toujours du même ordre de grandeur et se situe aux alentours de 100.

Un suivi par émission acoustique avait préalablement été effectué sur cette même vanne lors de ces essais de qualification hydraulique. Le niveau RMS relevé, alors, pour le début de la cavitation était de l'ordre de 2000.

Les résultats obtenus sur la figure 5 montrent que dès que la vanne commence à caviter le signal émission acoustique augmente instantanément. Compte tenu, de la valeur relevée lors des essais de qualification hydraulique (début de cavitation à 2000), il est même possible de détecter la cavitation naissante. La détection de cavitation par émission acoustique est de plus possible quelque soit l'angle d'ouverture de la vanne, puisque le bruit de circulation du fluide d'une part, et le niveau RMS en régime cavitant d'autre part, sont du même ordre de grandeur pour tous les essais

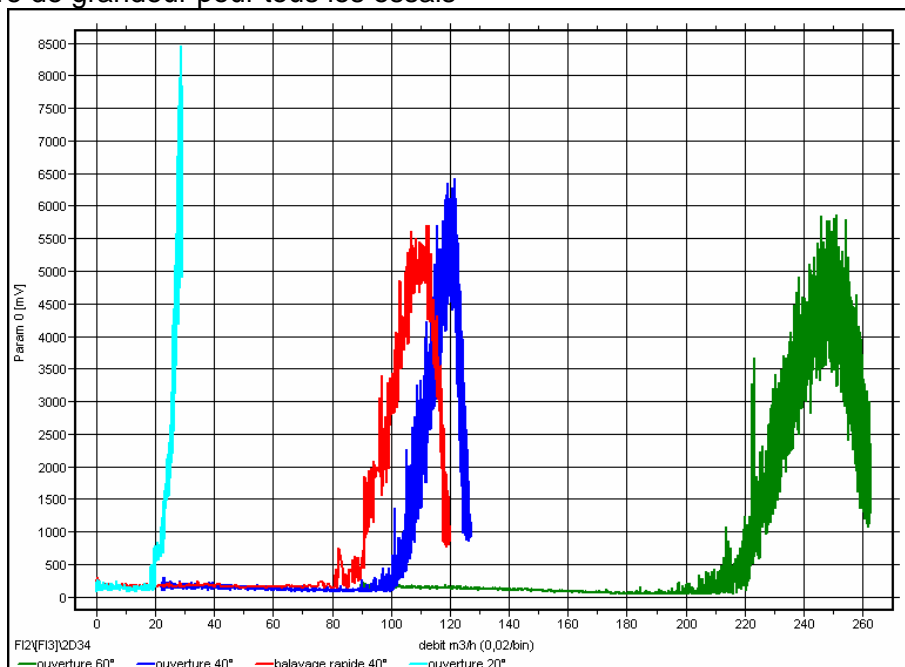


Figure 5 : niveau RMS du signal émission acoustique pour des essais de cavitation sur une vanne de régulation pour différents angles d'ouverture

Pour les essais réalisés pour des ouvertures de 40° et 60°, une chute de la RMS est observée à partir d'un certain débit de fluide passant à travers la vanne. Ce phénomène s'explique par une très forte augmentation de bulles dans le circuit provoqué par l'augmentation de la cavitation. Dans ces conditions, le fluide devient de moins en moins homogène et gêne ainsi la transmission des signaux d'émission acoustique jusqu'au capteur. Ce phénomène peut-être gênant pour la mesure, cependant le niveau minimum atteint par le signal d'émission acoustique dans cette zone de très forte cavitation reste dix fois supérieur au niveau de bruit de fond. La détection de la cavitation n'est donc pas remise en cause mais sa quantification sera difficile.

La finalité de ce projet porte sur une automatisation de la détection de défaut sur les organes constitutifs d'une boucle fluide. Dans le cas de la surveillance de la cavitation d'une vanne de régulation, un simple seuillage du niveau RMS du signal d'émission acoustique suffit pour la détection du défaut.

- Groupe motopompe.

Une campagne d'essai a été réalisée sur un groupe motopompe afin d'évaluer la détectabilité de la cavitation par émission acoustique sur ce type d'organe mécanique.

La figure 6 représente l'évolution du niveau moyen d'émission acoustique enregistré par un capteur placé sur la volute de sortie de la pompe. Au cours de cet essai le groupe motopompe fonctionne à son débit nominal, la cavitation est générée en faisant chuter la pression d'aspiration.

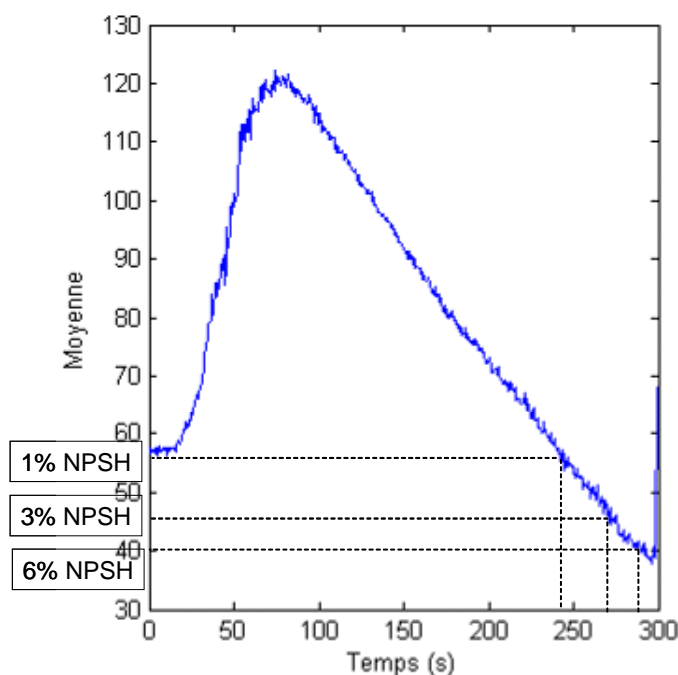


Figure 6 : évolution du niveau d'émission acoustique sur une pompe au cours du temps pendant une chute de la pression d'aspiration.

Contrairement à l'étude réalisée sur la vanne de régulation, il n'est plus possible de détecter la cavitation grâce à un paramètre simple tel que la RMS ou la valeur moyenne. En effet, la mesure par émission acoustique est perturbée par le bruit de fonctionnement de la pompe et par les changements de régime hydrodynamique à l'intérieur de celle-ci lorsque l'on fait varier la pression d'aspiration. Les signaux générés par la cavitation sont ainsi noyés dans un bruit de fond trop important pour pouvoir être discriminés.

Afin de mettre en évidence la cavitation, il a donc été nécessaire d'utiliser un traitement du signal différent. La figure 7 représente l'évolution du Kurtosis du signal d'émission acoustique enregistré par un capteur placé sur la volute de sortie de la pompe (essai identique à celui présenté précédemment).

Le calcul du Kurtosis du signal permet de faire ressortir un événement impulsionnel d'un bruit de fond continu. Avec ce type de traitement, la détection de l'apparition de la cavitation est parfaitement possible. Il est même possible de détecter de la cavitation naissante (avant le 1% NPSH).

La détection de la cavitation sur un groupe motopompe demande donc un traitement des signaux un peu plus complexe que pour une vanne de régulation. Cependant, la grandeur Kurtosis peut être calculée en temps réel, la détection du défaut se fait ensuite, comme pour la vanne de régulation, par un suivi de dépassement de seuil.

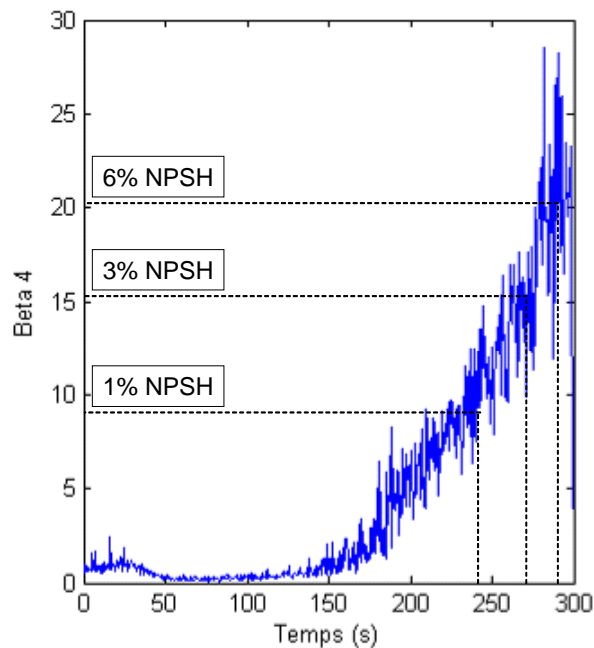


Figure 7 : évolution du Kurtosis du signal d'émission acoustique sur une pompe au cours du temps pendant une chute de la pression d'aspiration.

CONCLUSIONS

Cette étude montre que l'émission acoustique permet de détecter facilement un phénomène de cavitation au niveau d'une pompe ou d'une vanne de régulation. Cette détection peut d'ailleurs être très précoce et permet d'étudier les phénomènes de cavitation naissante. Il faut néanmoins noter que suivant l'élément à surveiller, le traitement du signal ne sera pas le même : calcul de niveau RMS pour une vanne, calcul du Kurtosis pour un groupe motopompe. Ces résultats répondent à la première phase du projet qui consistait à montrer la détectabilité du phénomène.

La technologie émission acoustique ainsi que le conditionnement du signal préconisé dans cette étude doivent être maintenant intégrés à l'organe à surveiller (intégration du capteur et du conditionneur), puis le signal doit être envoyé vers le système de pilotage de la boucle pour un traitement automatique des défaillances. Les informations transitent d'ores et déjà par un bus terrain et des applications sans fil vont aussi être testées. En ce qui concerne la détection automatique du défaut de cavitation, l'information peut directement être traitée au niveau du conditionneur puisque un critère sur un dépassement de seuil du signal suffit.