

Influence de la fréquence de découpage de l'irradiation ultrasonore sur l'apparition d'un champ de cavitation inertielle.

S. Labouret[°], J. Frohly.

IEMN-OAE, UMR CNRS 8520, Université de Valenciennes, le mont Houy, F-59313 Valenciennes cedex 9, France. Email : labouret@meurice.heldb.be

Introduction

Les seuils de cavitation [1-3] et l'importance des effets de la cavitation [4-7] varient selon que le mode d'irradiation ultrasonore est continu ou découpé. Ces modifications de comportement dépendent de la fréquence de découpage.

Au cours de l'irradiation ultrasonore en mode découpé nous avons observé que « le taux de vide » total formé par les bulles de cavitation présente deux régimes d'évolution : le régime initial A durant lequel le taux de vide croît lentement, puis éventuellement, le régime B durant lequel le taux de vide croît bien plus rapidement (figure 1). En même temps que le taux de vide, les spectres d'émission acoustique des bulles sont enregistrés (figure 2)

Les suivis simultanés du spectre acoustique produit par le milieu, de la puissance du bruit de cavitation (PBC) [8-10] et de la puissance électrique absorbée par le transducteur montrent que le régime A est essentiellement un champ de cavitation stable et que le régime B est un champ de cavitation inertielle.

Dispositif expérimental. [8, 9]

Le réacteur

Le réacteur a la forme d'un parallélépipède rectangle ($6 \times 6 \times 3 \text{ cm}^3$). Un transducteur ($6 \times 6 \text{ cm}^2$) de fréquence est 1,089 MHz est collé sur la face externe de sa paroi supérieure irradie directement tout le volume du réacteur. La pression acoustique émise sur la face interne du réacteur en champ progressif est 0,83 bar. La géométrie du réacteur entraîne la formation d'un champ acoustique stationnaire.

Mesure du taux de vide.

Le réacteur est équipé d'une antenne filaire qui lui permet de fonctionner en cavité électromagnétique à une fréquence de résonance électromagnétique proche de 390 MHz lorsque la cavité est remplie d'eau. La mesure du taux de vide est obtenue à partir de la variation de la fréquence de résonance électromagnétique induite par l'apparition du volume des bulles car ce volume de gaz modifie la permittivité globale du milieu.

Mesure de l'activité acoustique du milieu.

L'activité acoustique du milieu est relevée par un hydrophone aiguille (Dapco NP 10-3) dont l'extrémité débouche dans la cavité ; cet hydrophone est branché à un analyseur analogique de spectre qui construit le spectre de puissance avec une vitesse de balayage de 4 MHz/s, sur 20 MHz.

[°] actuellement : Institut Meurice, av. E. Gryzon, B-1070 Bruxelles.

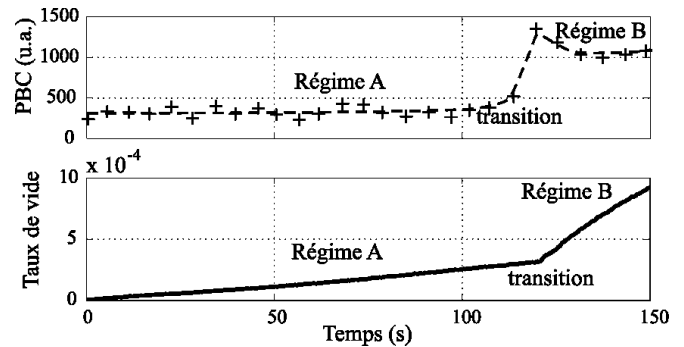


Figure 1 : Exemple de transition rapide du régime A vers le régime B pour le taux de vide et la puissance du bruit de cavitation ($\tau_{1/2}=180 \text{ ms}$).

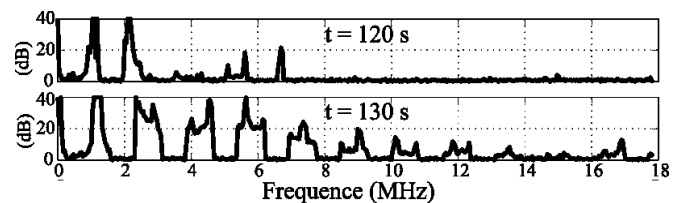


Figure 2 : Spectre acoustique avant et après la transition du régime A vers le régime B de la Figure 1 ($\tau_{1/2}=180 \text{ ms}$). Les larges coupures dans les spectres sont dues aux phases de silence de durée 180 ms.

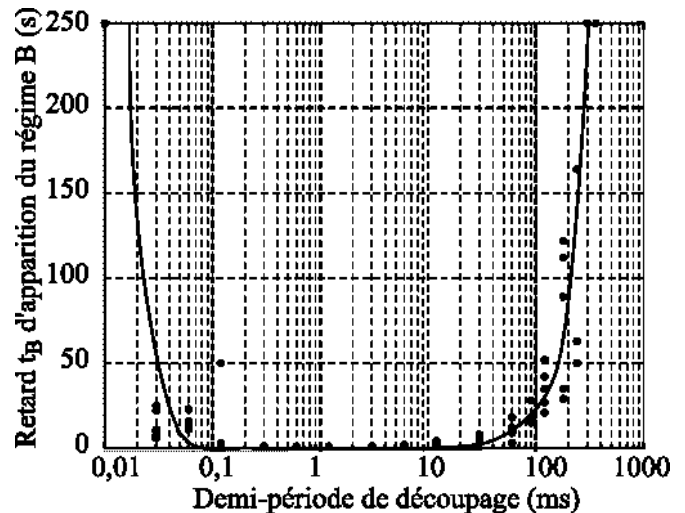


Figure 3 : Evolution du retard de l'apparition du régime B en fonction de la demi-période de découpage de l'émission acoustique.

Ce spectre, exprimé en dB, est ensuite intégré sur l'intervalle [0 ; 16] MHz. La valeur de cette intégrale permet de caractériser la puissance du bruit de cavitation exprimée en unité arbitraire [13]. Elle sera dans la suite appelée Puissance du Bruit de Cavitation (PBC). Elle rend compte de l'activité acoustique de la cavitation et est déterminée toutes les 6 secondes environ.

Observations

Le retard d'apparition du régime B (Figure 3) dépend de la demi-période de découpage $\tau_{1/2}$ ($\tau_{1/2}$ = durée des trains d'onde = durée des silences) [11-13].

Pour la grande majorité des valeurs de $\tau_{1/2}$, la durée de la transition du régime A vers le régime B est de l'ordre de la résolution temporelle de la mesure du taux de vide soit environ 0,5 seconde (figures 1 et 2).

Les figures 4 et 5 donnent un exemple de transition lente du régime A vers le régime B. La variation de cette vitesse traduit l'influence de la fréquence de découpage sur l'évolution de la population des germes de cavitation dans leurs cycles de croissance – dissolution qu'ils subissent en mode d'irradiation découpée [14].

La transition lente du régime A vers le régime B permet d'observer distinctement que l'accroissement de l'activité acoustique du milieu cavitant précède l'accélération de la croissance du volume des bulles.

L'évolution des spectres au cours du temps présente des similitudes avec l'évolution obtenue en augmentant rapidement la pression acoustique [15] ; cependant leur résolution n'est pas suffisante pour suivre avec précision l'évolution de chaque composante et analyser plus précisément la nature de l'évolution du milieu qui cavite.

Conclusions

L'apparition d'un champ de cavitation inertielle peut être ralenti par le choix de la fréquence de découpage de l'irradiation. Le choix de cette fréquence permet de ralentir l'apparition du régime B et de faciliter l'étude expérimental des évolutions de activité acoustique du champ de cavitation et de la distribution en tailles de ses bulles.

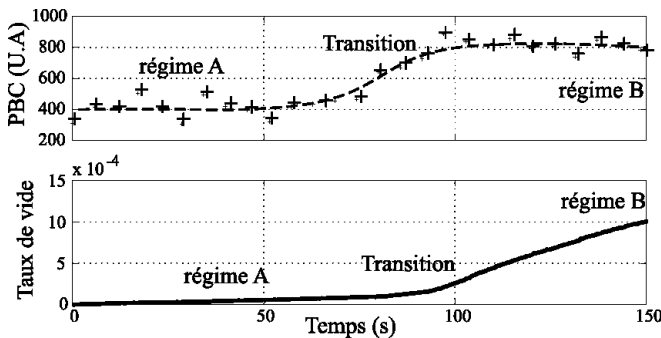


Figure 4 : Exemple de transition progressive du régime A vers le régime B pour le taux de vide et la puissance du bruit de cavitation ($\tau_{1/2}=180$ ms).

Références

[1] Iernetti G.: Pulsed ultrasonic cavitation. Part I : Cavitation noise and sonoluminescence thresholds, nuclei distribution ; *Acustica* **23**, 189-207 (1970).
 [2] Fowlkes J.B. and Crum L.A.: Cavitation threshold measurements for microsecond length pulses of ultrasound ; *J. Acoust. Soc. Am.* **83**, 2190-2201 (1988).
 [3] Madanshetty S.I., Roy R.A., Apfel R.E.: Acoustic microcavitation : its active and passive acoustic detection ; *J. Acoust. Soc. Am.* **90**, 1515-1526 (1991).

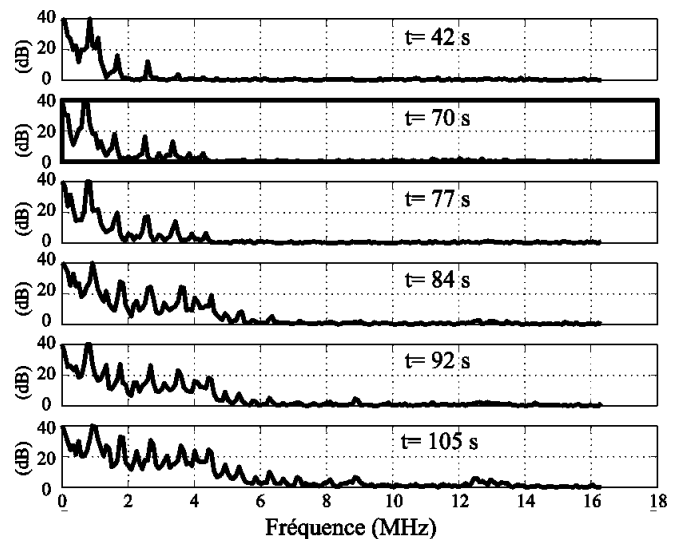


Figure 5 : Evolution du spectre acoustique durant le démarrage progressif du régime B de la figure 4 ($\tau_{1/2}=60$ μ s). On observe une apparition progressive de la composante de bruit.

[4] Clark P.R. And Hill C.R. : Physical and chemical aspect of ultrasonic disruption of cells ; *J. Acoust. Soc. Am.* **50**, 649-653 (1970).
 [5] Ciaravino V., Flynn H.G., Miller M.W. : Pulsed enhancement of acoustic cavitation : A postulated model ; *Ultrasound Med. Biol.* **7**, 159-166 (1981).
 [6] Heinglein A. Sonochemistry : historical developpement and modern aspect ; *Ultrasonics* **25**, 6-16 (1987).
 [7] Mitome H. Hatanaka S.I. : Optimization of a sonochemical reactor using a pulsing operation ; *Ultrasonics* **40** (1-8), 683 - 687 (2002).
 [8] Labouret S. : Détermination du taux de vide d'un champ de bulles de cavitation ultrasonore par une méthode hyperfréquence. Corrélation du taux de vide et de la puissance du bruit de cavitation ; thèse de doctorat, Université de Valenciennes, France (1998).
 [9] S. Labouret, J. Frohly : Study in an UHF resonant frequency cavity of a bubble field induced by ultrasonic cavitation ; *European Physical Journal – Applied Physics* **10** (3), 231-238 (2000).
 [10] J. Frohly, S. Labouret, C. Bruneel, I. Looten-Baquet, R. Torguet : Ultrasonic cavitation monitoring by acoustic noise power measurement ; *J. Acoust. Soc. Am.* **108** (5), 2012-2020 (2000).
 [11] Labouret S., J. Frohly : Influence de la pression acoustique transitoire sur la formation d'un champ de bulles de cavitation dans une onde stationnaire ultrasonore émise en mode découpé ; actes du Congrès Français d'Acoustique, Lille, France (2002).
 [12] Iernetti G., Cuiti P., Calligaris F., Franscuscuto A., Dezhkunov N. V. : Cavitation dependence on the rate of the transducer voltage variation ; *Ultrasonics* **34**, 193-195 (1996).
 [13] Cuiti P., Dezhkunov N., Iernetti G., Kulak A. I. : Cavitation phenomena in pulse modulated ultrasound fields. ; *Ultrasonics* **36** (1-5), 569-574 (1998).
 [14] Flynn et Church : A mechanism for the generation of cavitation maxima by pulsed ultrasounds ; *J. Acoust. Soc. Am.* **76**, 505-512 (1984).
 [15] Lauterborn W ; Cramer E. Subharmonics route to chaos observed in acoustics ; *Phys. Rev. Lett.* **47** (20) (1981).