Crevettes et cavitation

inspiré de l'article "How Snapping Shrimp Snap: Through Cavitating Bubbles" by M.Versluis, B. Schmitz, A. Heydt, D. Lohse, Science, 289, 2114-2117 (22-Sept-2000)

Contrairement aux idées reçues, le "monde du silence" est parfois bruyant. Une variété de crevettes des mers tropicales est par exemple responsable d'un crépitement intense et continu qui perturbe l'utilisation des sonars. Les crevettes font en effet claquer leur pince hypertrophiée (Fig.1) afin de communiquer entre elles (défense du territoire) et d'assommer leur proies par le bruit produit. Des illustrations sonores et filmographiques sont disponibles sur le site: http://stilton.tnw.utwente.nl/shrimp/

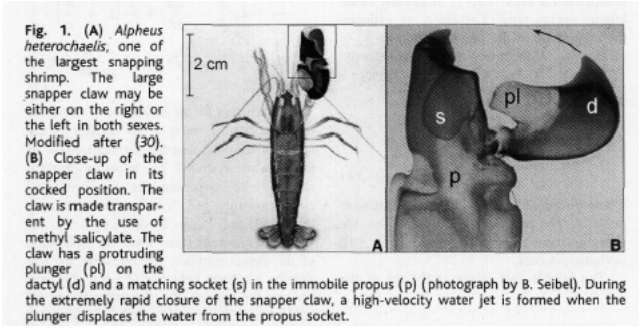


Fig. 1. (A) *Alpheus heterochaelis*, one of the largest snapping shrimp. The large snapper claw may be either on the right or the left in both sexes. Modified after (*30*). (B) Close-up of the snapper claw in its cocked position. The claw is made transparent by the use of methyl salicylate. The claw has a protruding plunger (pl) on the dactyl (d) and a matching socket (s) in the immobile propus (p) (photograph by B. Seibel). During the extremely rapid closure of the snapper claw, a high-velocity water jet is formed when the plunger displaces the water from the propus socket.

Fig. 1

1 - Analyse

1.1 - A partir de la figure 2-(B) déterminer l'origine du pic de pression enregistré par l'hydrophone [Fig 2-(A)].

1.2 - En analysant la chronophotographie de la figure 2-(B), déterminer la vitesse caractéristique de disparition de la bulle de cavitation.

1.3 - En déduire le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement de l'eau autour de la bulle.

1.4 - Pourquoi l'écoulement d'eau peut-il être considéré comme incompressible et irrotationnel ?

1.5 - Dans ce régime, rappeler les équations qui décrivent le mouvement de l'eau.

1.6 - Analyser ces équations en loi d'échelle et en déduire une vitesse "minimale" de cavitation. Discuter la compatibilité entre la vitesse mesurée en 1.2 et le pic de pression de la figure 2-(A).

1.7 - Toujours par analyse en loi d'échelle, trouver l'expression du temps caractéristique de disparition de la bulle τ.

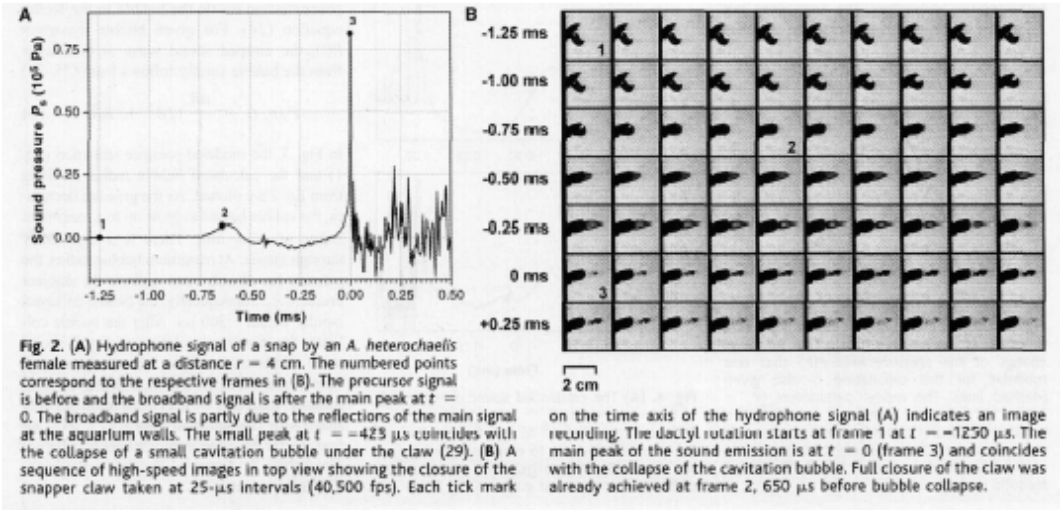


Fig. 2. (**A**) Hydrophone signal of a snap by an *A. heterochaelis* female measured at a distance $r = 4$ cm. The numbered points correspond to the respective frames in (**B**). The precursor signal is before and the broadband signal is after the main peak at $t = 0$. The broadband signal is partly due to the reflections of the main signal at the aquarium walls. The small peak at $t = -423$ µs coincides with the collapse of a small cavitation bubble under the claw (*29*). (**B**) A sequence of high-speed images in top view showing the closure of the snapper claw taken at 25-µs intervals (40,500 fps). Each tick mark on the time axis of the hydrophone signal (A) indicates an image recording. The dactyl rotation starts at frame 1 at $t = -1250$ µs. The main peak of the sound emission is at $t = 0$ (frame 3) and coincides with the collapse of the cavitation bubble. Full closure of the claw was already achieved at frame 2, 650 µs before bubble collapse.

Fig. 2

2 - Modélisation

Pour modéliser le phénomène on simplifie la géométrie et l'on considère l'implosion d'une bulle de cavitation sphérique telle que celle présentée sur la figure 3-(a). La bulle est produite à $t = 0$ avec une taille $R(t = 0) = R_0$ et l'on fait l'hypothèse qu'elle commence à s'effondrer avec une vitesse nulle $\dot{R}(t = 0) = 0$ ($\dot{R} \equiv dR/dt$). Dans l'ensemble de notre analyse, nous considérons que la pression de vapeur dans la bulle P est petite devant la pression P_∞ dans le liquide loin de la bulle.

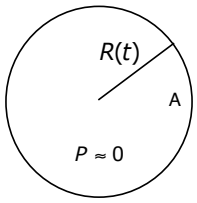
2.1 - Utilisez la symétrie sphérique du problème pour trouver l'expression du potentiel des vitesses ϕ qui décrit l'écoulement.

2.2 - Utilisez les équations du mouvement pour décrire l'évolution du rayon $R(t)$.

2.3 - Pour intégrer cette équation, on fait l'approximation $R\ddot{R} + 3/2\dot{R}^2 \approx \ddot{R}^2/2$. Comparer les résultats obtenus à ceux présentés sur la figure 3-(c).

2.4 - Comparer le temps de résorption obtenu à l'expression déduite de l'analyse en loi d'échelle.

(a) (b) (c)



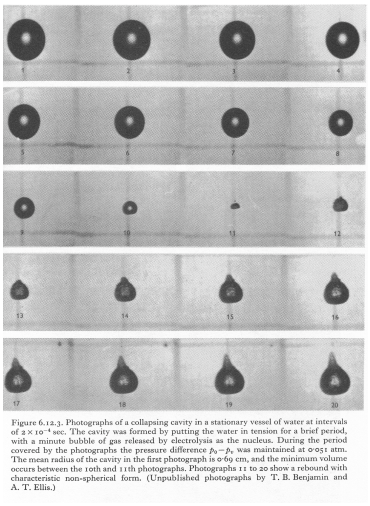


Figure 6.12.3. Photographs of a collapsing cavity in a stationary vessel of water at intervals of 2×10^{-4} sec. The cavity was formed by putting the water in tension for a brief period, with a minute bubble of gas released by electrolysis as the nucleus. During the period covered by the photographs the pressure difference $p_0 - p_v$ was maintained at 0·051 atm. The mean radius of the cavity in the first photograph is 0·69 cm, and the minimum volume occurs between the 10th and 11th photographs. Photographs 11 to 20 show a rebound with characteristic non-spherical form. (Unpublished photographs by T. B. Benjamin and A. T. Ellis.)

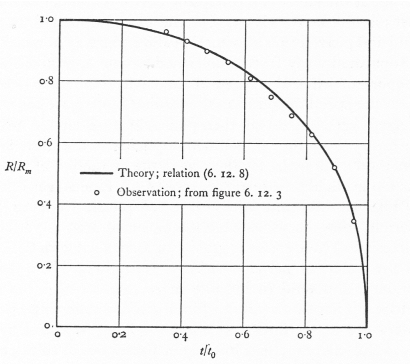


Fig3

3 - Rebond

Discuter qualitativement l'origine physique du rebond observé sur les figures 2 - (B) et 3-(b).

4 - Paroi

Près d'une paroi, la bulle n'implose pas de façon symétrique mais produit un jet dirigé vers la paroi comme le montre la figure 4.

4-1 Discuter l'origine physique de ce jet et évaluer sa vitesse en loi d'échelle.

4-2 Donner l'expression du potentiel décrivant l'écoulement.

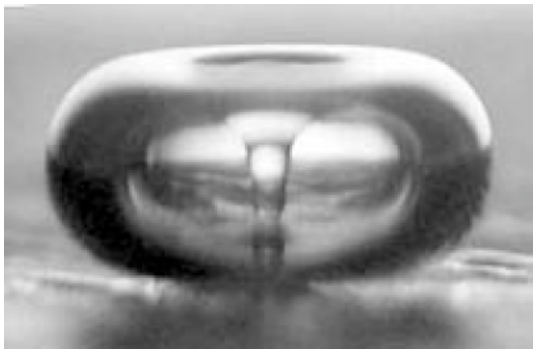


Fig. 4