

## TD6 : Crevettes et cavitation

Florentin Daniel\*, Mathilde Reyssat

Les "crevettes pistolets" peuvent assommer leur proie à distance en claquant leur pince hypertrophiée. La fermeture de la pince produit un jet d'eau de vitesse telle que la pression descend en-dessous de la pression de vapeur saturante et une bulle de vapeur se forme : ce phénomène porte le nom de cavitation. La bulle grandit puis implose, générant une onde de choc capable d'assommer un petit crustacé. On s'intéresse ici à la dynamique de cette bulle.

**Référence** : M. Versluis, B. Schmitz, A. Heydt, D. Lohse. "How snapping shrimp snap : through cavitating bubbles", *Science* (2000).

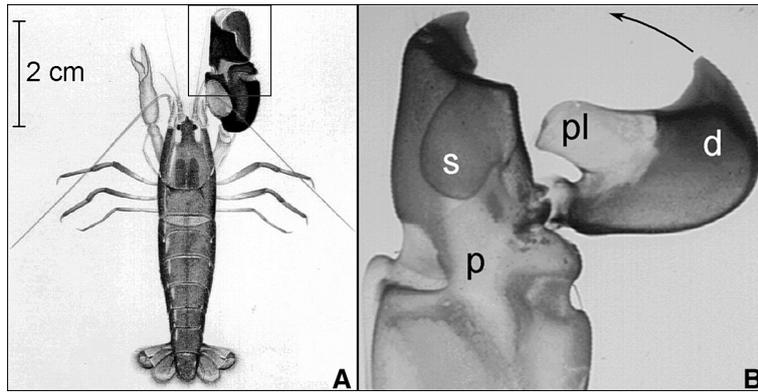


FIGURE 1 – (A) *Alpheus heterochaelis*, one of the largest snapping shrimp. The large snapper claw may be either on the right or the left in both sexes. Modified after (30). (B) Close-up of the snapper claw in its cocked position. The claw is made transparent by the use of methyl salicylate. The claw 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.

1. Quelle doit-être la vitesse du jet d'eau dû au claquement de la pince pour qu'il y ait formation d'une bulle de cavitation ?
2. A partir de la figure 2, déterminer le temps d'implosion de la bulle. En déduire le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement.
3. Pourquoi l'écoulement peut-il être considéré incompressible et irrotationnel ?
4. Dans ce régime, rappeler les équations qui décrivent le mouvement de l'eau.
5. Trouver par un raisonnement en loi d'échelle le temps d'implosion de la bulle  $\tau$ .

On étudie maintenant le problème de façon quantitative. On considère une bulle sphérique de rayon  $R = R_0$  à  $t = 0$ . On fait l'hypothèse qu'elle commence à s'effondrer à vitesse nulle ( $\dot{R}(t = 0) = 0$ ). La pression de vapeur dans la bulle  $P_a$  est petite devant la pression  $P_0$  dans le liquide loin de la bulle. On note  $\gamma$  la tension de surface eau-air.

6. Déterminer le potentiel des vitesses  $\phi$  et en déduire le champ de vitesse  $u(r, t)$  en fonction de  $R(t)$ .
7. En intégrant l'équation d'Euler, montrer que  $R(t)$  vérifie l'équation de Rayleigh-Plesset :

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 + \frac{2\gamma}{\rho R} = -\frac{P_0}{\rho}. \quad (1)$$

\*florentin.daniel@phys.ens.fr

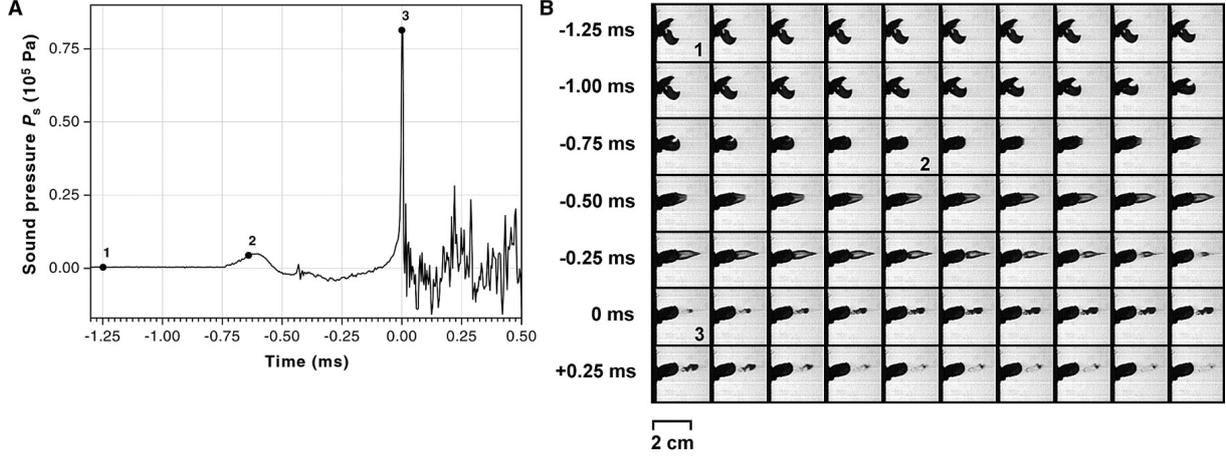


FIGURE 2 – (A) Hydrophone signal of a snap by an *A. heterochaelis* female measured at a distance  $r = 4$  cm. The numbered points correspond to the respective frames in (B). The precursor signal is before and the broadband signal is after the main peak at  $t = 0$ . The broadband signal is partly due to the reflections of the main signal at the aquarium walls. The small peak at  $t = -425 \mu\text{s}$  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  $25 \mu\text{s}$  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  $t = -1250 \mu\text{s}$ . 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  $\mu\text{s}$  before bubble collapse.

8. Montrer que le terme de tension de surface est négligeable dans les conditions considérées.  
En déduire que

$$\frac{d(\dot{R}^2 R^3)}{dt} = -\frac{2P_0}{3\rho} \frac{dR^3}{dt}. \quad (2)$$

9. Calculer le temps  $\tau$  d'implosion de la bulle et vérifier la cohérence avec les données expérimentales. On donne

$$\int_0^1 \sqrt{\frac{x^3}{1-x^3}} dx \approx 0.747. \quad (3)$$

**Données :** Pression de vapeur saturante de l'eau :  $P_{vap} = 2.10^3 Pa$