

Egoutte l'écoute – LP2I

Les petites gouttes font de grandes symphonies

Lorsqu'une goutte d'eau percute la surface de l'eau, nous pouvons entendre un son très caractéristique, souvent agaçant lorsqu'il est répétitif, mais qui peut devenir mélodieux si on en comprend l'origine. C'est ce qu'a cherché à faire un groupe d'élèves du LP2I, Lycée Pilote Innovant International de Jaunay Clan.

La rencontre entre la goutte d'eau et la surface de l'eau n'est pas seulement bavarde, elle laisse en plus des traces visibles. C'est en inspectant ces traces que les élèves ont obtenu un premier prix lors de la finale nationale des Olympiades de physique qui s'est déroulée à Nancy le 30 et 31 janvier 2015.

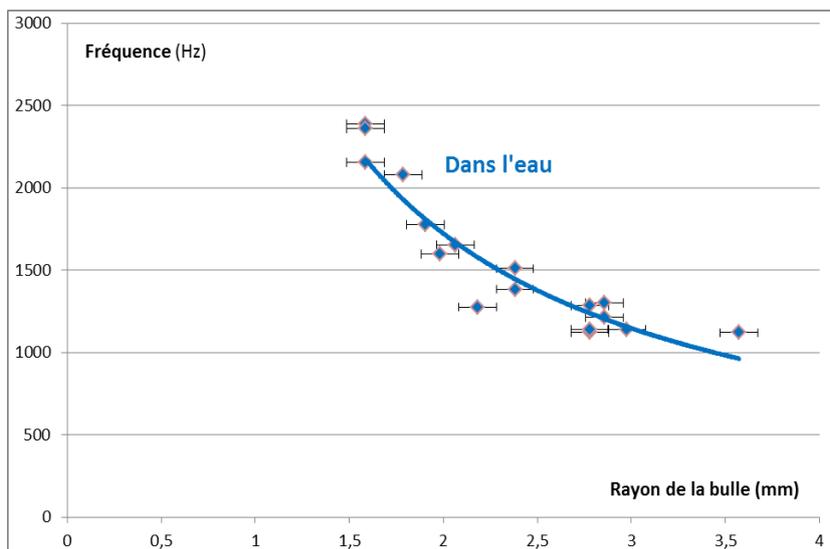
La trace dont il est question ici est une bulle de gaz (figure 1) qui se forme et se montre de manière furtive à la surface de l'eau après l'impact de la goutte. D'où vient cette bulle ? Qu'a-t-elle à nous apprendre ? Une observation attentive a permis de se rendre compte que l'apparition d'une bulle de faible rayon s'accompagne d'un son aigu, alors que celles de grands rayons parlent d'un ton plus grave. Il existe donc un lien étroit entre fréquence du son et rayon de la bulle.



figure 1 - Photos des bulles à la surface de l'eau, vu de profil (à gauche) et vu de dessus (à droite).

Une étude quantitative a alors permis aux élèves d'établir une relation entre la fréquence F du son et le rayon R de la bulle formée :

$$F \times R = Cste$$



Comment exploiter alors cette relation pour répondre à la problématique ? Plusieurs pistes ont été explorées, comme par exemple une analyse dimensionnelle de la constante, suivie d'analogies avec d'autres systèmes physiques connus. Mais en fin de compte, aucun d'entre eux n'étant possibles d'un point de vue quantitatif, l'exploitation de la relation précédemment établie n'a pu être possible qu'en suivant une autre démarche.

L'idée fut de modifier les conditions expérimentales, comme la viscosité (figure 3 – bulle d'air à la surface de l'huile), la température, la masse volumique ou encore la tension superficielle du liquide dans lequel tombait la goutte d'eau. Si la relation $F \times R = Cste$ est modifiée lors d'une variation d'un de ces paramètres, c'est que ce paramètre en question intervient dans le processus à l'origine de l'émission du son. Parmi tous ces facteurs possibles cités, c'est la tension superficielle qui s'est montré la plus perturbante (figure 3).

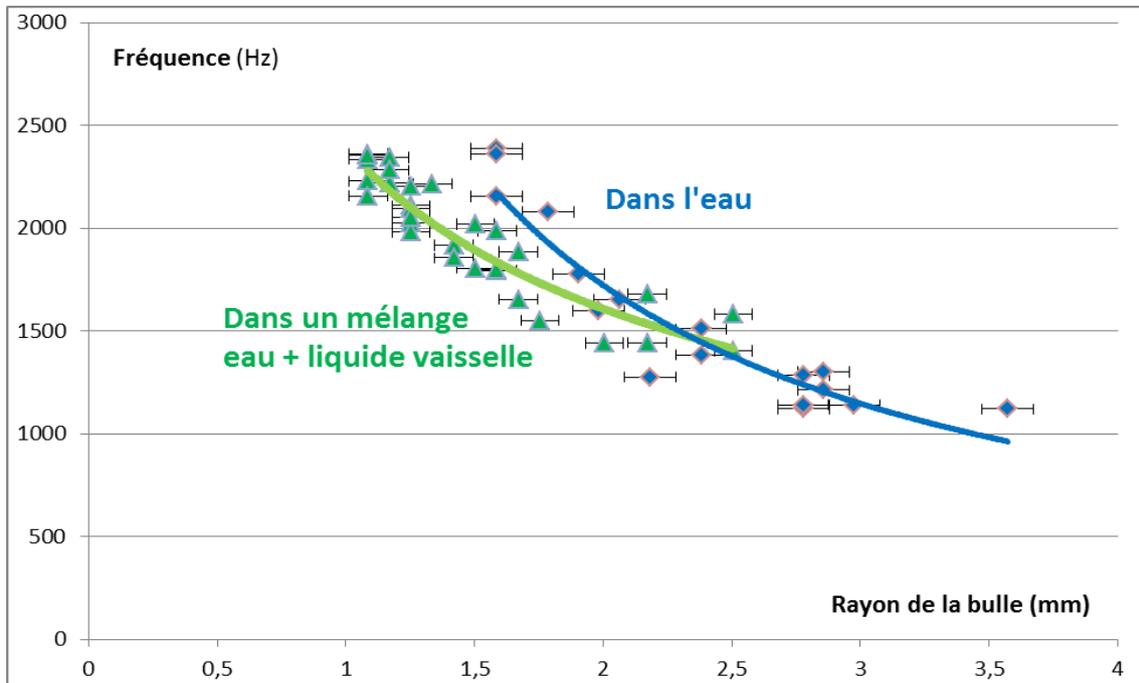


Figure 3 – Chute de gouttes d'eau dans un mélange eau + liquide vaisselle.

C'est ce qui a permis aux élèves de comprendre que la bulle d'air est la diva de notre quête. C'est elle qui vibre et qui émet alors ce chant si particulier. Le son produit par la rencontre entre la goutte d'eau et l'eau n'est donc pas un bruit d'impact, mais celui d'une vibration d'une petite bulle de gaz qui se forme dans l'eau, suite à l'impact entre la goutte d'eau et l'eau dans laquelle elle se noie.

Des questions demeurent quant à la formation de cette bulle d'air, car même s'il est possible de l'observer, elle reste pudique et profite du tumulte créé par l'impact pour prendre forme. Elle a toutefois accepté de se laisser prendre en photo, grâce à un appareil prenant 240 images par seconde.



Figure 4 – Bulle d'air résonante sous la cavité.

L'expérience montre alors que lors de l'impact, une cavité se forme dans l'eau, tandis qu'une couronne apparaît sur la surface de l'eau. Lorsque la cavité se referme, il apparaît cette bulle qui descend en vibrant pendant environ 50 ms, avant de prendre un dernier soupir à la surface de l'eau.

Une fois compris ce scénario, il a été possible de le mettre à l'épreuve en coinçant une bulle d'air faite avec une seringue (Figure 5), sous l'eau, et faisant alors vibrer l'eau du récipient qui la contient, à différentes fréquences, de 1000 à 1400 Hz, à raison de 1 Hz par seconde.



Figure 5 – Dispositif pour l'étude de la vibration forcée d'une bulle d'air

Après s'être affranchi des résonances du récipient en ajustant l'amplitude d'excitation (figure 6), l'expérience a montré que lorsque cette fréquence d'excitation correspond à celle à laquelle la bulle veut vibrer naturellement, c'est-à-dire sa fréquence de résonance préalablement mesurée, son enveloppe se met alors à trembler de façon très significative et audible : elle chante sa note préférée en quelque sorte !

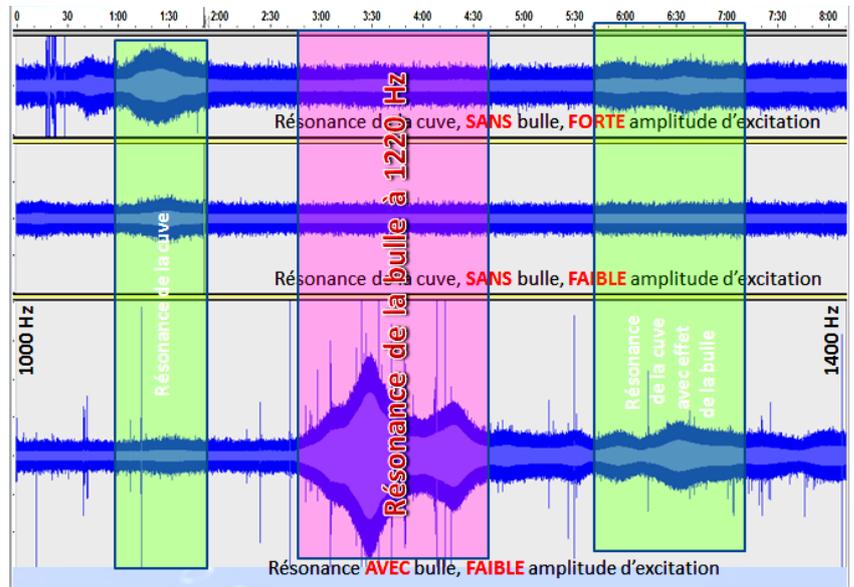
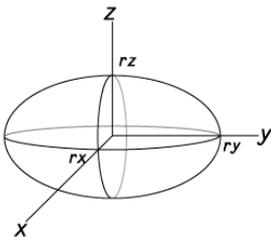


Figure 6 – Résonance de la bulle



Mais visiblement, cette petite bulle a plus d'une corde à sa voix, comme le montrent les deux fréquences de résonances observées dans le cadre rose de la figure 6. Cela doit provenir de sa forme ovoïdale, la bulle étant retenue par le haut. La multiplicité des plans de symétrie engendrent alors plusieurs modes propres de vibration.

Enfin, les élèves ont profité de cette expérience pour envoyer des salves de différentes fréquences (figure 7) sur la bulle. Lorsque la fréquence de la salve correspond à la fréquence de résonance, la bulle continue de vibrer durant environ 50 ms après la fin de la salve. Et lorsque la fréquence de la salve est légèrement différente de la fréquence de résonance de la bulle, on peut observer que dans les premiers temps de son excitation, la bulle ne sait plus où donner de la voix. Doit-elle se mettre au diapason avec l'excitation ? Doit-elle rester dans son registre ? Suite à une querelle interne, un phénomène de battements laissera la voix de l'excitation l'emporter.

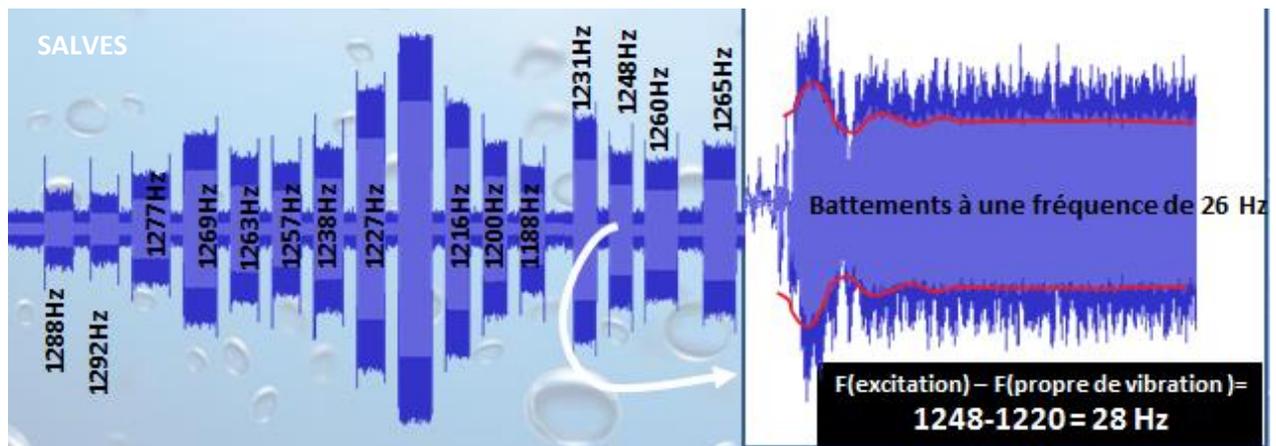


Figure 7 – Battements au début de l'excitation

Lors de la cérémonie de clôture de la finale Nationale des Olympiades de physique, le jury a décerné la palme de l'excellence et un 1^{er} prix au projet « Egoutte l'écoute », en ajoutant cette phrase :

Pour avoir montré que les petites gouttes font de grandes symphonies, le jury vous a attribué le prix Plic Ploc.

- La présentation du projet des élèves devant le jury est visible à l'adresse suivante :

<http://videos.univ-lorraine.fr/index.php?act=view&id=1898>

- Les élèves qui ont participé à la finale sont :

Mélissa POLLENNE, Elodie LEROY, Quentin MEYER, Arthur BOULAY, Martial SANTORELLI, Lucas BURLLOT.
Professeur : Jean-Brice MEYER



- Nous remercions les partenaires qui nous ont accompagnés lors de ce projet :
 - Nadine CANDONI – Professeur chercheur au CINAM (Centre Interdisciplinaire de Nanosciences de Marseille)
 - Marc Henry – Chercheur à l'Université de Strasbourg
 - Olympiades de physique
 - Fondation Cgénial
 - Université de Poitiers

Rédacteur : Jean-Brice Meyer
Professeur de sciences physiques au LP21

