Bac 2026 Sciences physiques pour les sciences de l'ingénieur.e
Correction https://labolycee.org Exercice B – L'effet Doppler au service des bateaux

Le principe de l'effet Doppler est utilisable dans de très nombreux domaines, que ce soit en astronomie, médecine, mécanique, acoustique ou en navigation. Dans ce dernier domaine, une des applications concerne l'accostage des gros navires à leur arrivée au niveau d'un port. En effet, pour les plus grands bateaux, il y a nécessité de mesurer avec précision leur vitesse d'approche avant leur contact avec le quai afin d'éviter une énergie cinétique excessive qui risquerait d'induire des dommages aux installations portuaires. Un des systèmes de mesure de la vitesse porte le nom de « Loch Doppler » ou simplement loch.

On admet, en première approximation, que le décalage Doppler en fréquence Δf_D pour le signal reçu par un observateur fixe vérifie la relation

$$\Delta f_D = \frac{2 f_E v_0}{c_S}$$

avec f_E : fréquence d'émission du signal ;
v_0 : vitesse de déplacement de l'objet ;
c_s : célérité du signal.

La célérité des ondes acoustiques dans l'eau est $c_s = 1{,}5 \times 10^3$ m·s^{-1}.

1. Définir l'effet Doppler.

Lorsqu'un émetteur d'onde est en mouvement relatif par rapport au récepteur alors la fréquence émise f_E et la fréquence reçue f_R sont différentes. Il y a un décalage en fréquence Δf_D.

Le bateau s'approche du quai à vitesse constante. La **figure 1** modélise, de manière simplifiée, l'allure des surfaces d'ondes ultrasonores émises dans l'eau par le navire N lors de son approche du quai.

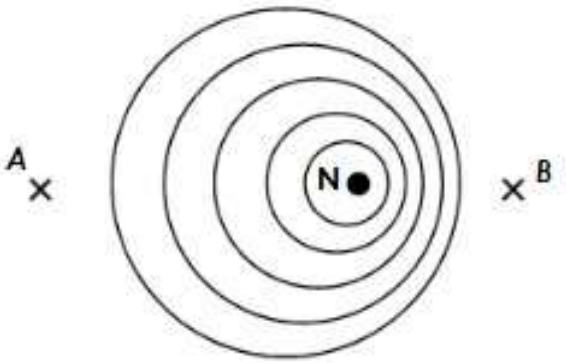


Figure 1 – Schématisation dans un plan de coupe horizontal des surfaces d'ondes ultrasonores émises périodiquement.

2. Déterminer, en expliquant votre raisonnement, si le quai peut être situé au point A ou au point B.

Sur la figure 1, on remarque que la longueur d'onde du coté du point B est plus petite que du côté du point A.

$\lambda_B < \lambda_A$

$\frac{c_S}{f_B} < \frac{c_S}{f_A}$ donc $f_B > f_A$.

On constate qu'en B la fréquence reçue est supérieure à celle reçue en A.
Ceci est caractéristique du fait que N s'approche du point B et s'éloigne du point A.
Ainsi le point B constitue le quai.
(*avoir en tête que le son est plus aigu à l'approche*)

3. Sachant que la fréquence d'émission est de 40 kHz et que la valeur mesurée pour le décalage Doppler en fréquence est de 14 Hz, en déduire la vitesse d'approche v_{app} du bateau.

$\Delta f_D = \frac{2 f_E v_0}{c_S}$ donc $v_0 = \frac{\Delta f_D c_S}{2 f_E}$

$v_0 = v_{app} = \frac{14 \times 1{,}5 \times 10^3}{2 \times 40 \times 10^3} = 0{,}26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



4. Vérifier la valeur de cette vitesse d'approche v_{app} à l'aide de la figure 2 ; expliciter les calculs. Commenter le résultat.

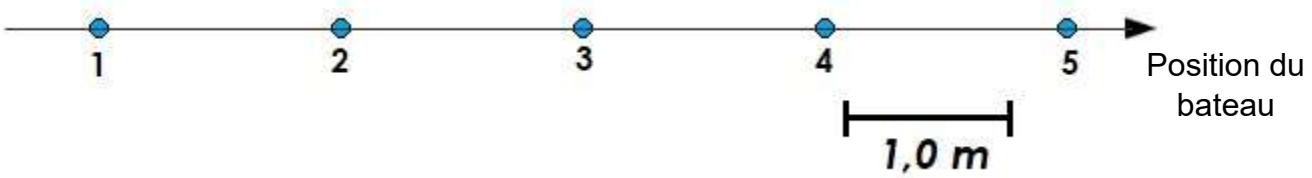


Figure 2 – Positions successives du bateau. L'intervalle de temps entre deux positions successives du bateau est de 6,0 s.

$v_{app} = \frac{N_2N_4}{2\tau}$

On mesure N_2N_4 = 6,4 cm sur le schéma, et l'échelle montre que 2,1 cm représente 1,0 m en réalité.

6,4 cm → ? m
2,1 cm → 1,0 m

$N_2N_4 = \frac{6{,}4 \text{ cm} \times 1{,}0 \text{ m}}{2{,}1 \text{ cm}} = 3{,}0 \text{ m}$

$v_{app} = \frac{3{,}0476}{2 \times 6{,}0} = 0{,}25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



On trouve un résultat très proche de celui obtenu en Q3. Le léger écart est dû à une éventuelle erreur de mesure des distances sur la figure 2.

La vitesse d'approche n'est pas une grandeur suffisamment pertinente pour déterminer si un navire risque de provoquer des dégâts sur les infrastructures portuaires ou sur lui-même. Comme indiqué dans l'introduction, l'énergie cinétique est la grandeur utile pour répondre à cette question.

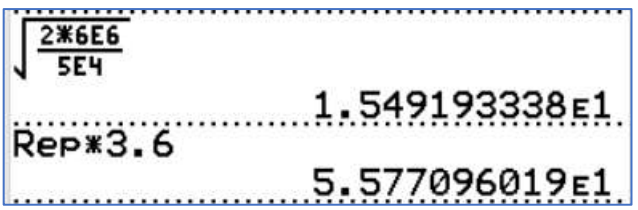
5. Rappeler l'expression de l'énergie cinétique E_c en fonction de la masse m du système considéré et de sa vitesse v (on se limite à un mouvement de translation).

$E_C = \frac{1}{2} m v^2$

6. Sachant que pour un bateau, de masse 5,0 × 10^4 kg, l'énergie cinétique maximale pour éviter des dégâts est d'environ 6 × 10^6 J, déterminer la vitesse maximale d'approche autorisée pour le navire. Comparer à la valeur v_{app} déterminée auparavant. Conclure.

7. $E_{C,max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$ donc $v_{max}^2 = \frac{2E_{C,max}}{m}$

Soit $v_{max} = \sqrt{\frac{2E_{C,max}}{m}}$



$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 6 \times 10^6}{5{,}0 \times 10^4}} = 2 \times 10^1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en arrondissant à un seul chiffre significatif.

On trouve $v_{app} < v_{max}$ donc le bateau arrive assez lentement pour ne pas causer de dégâts.

Remarque : Cette vitesse de 56 km·h^{-1}semble bien trop élevée. La masse du bateauindiquée dans le sujet est sans doute trop petite.