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 $c_s = 1{,}5 \times 10^3\ \text{m·s}^{-1}$.

1. Définir l'effet Doppler.

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.

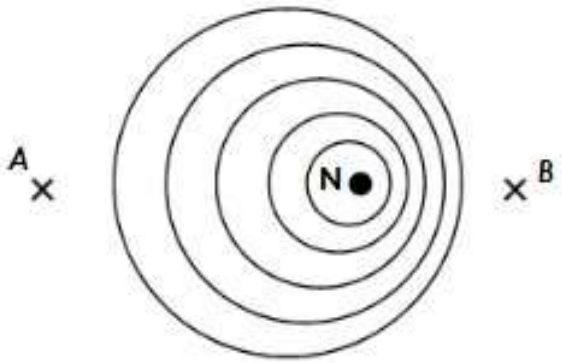


Figure 1 – Schématisation dans un plan de coupe horizontal des surfaces d'ondes ultrasonores émises périodiquement.

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

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.

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

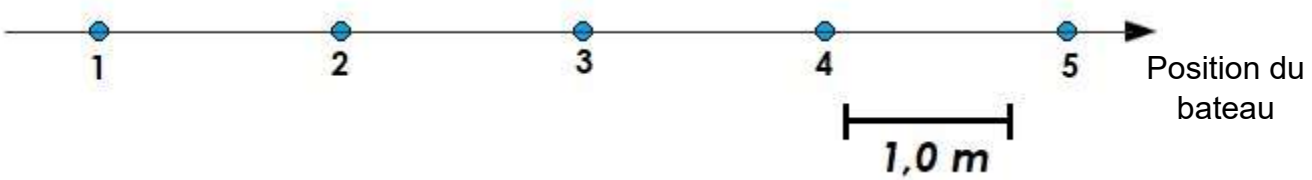


Figure 2 – Positions successives du bateau. L'intervalle de temps entre deux positions successives du bateau est de 6,0 s.

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).

6. Sachant que pour un bateau, de masse $5{,}0 \times 10^4$ 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.