

EXERCICE RÉSOLU 2**Un train pour une expérience historique****Énoncé**

3 juin 1845 [...] : la ligne de Maarsen est désaffectée dans un but scientifique, sur ordre du ministre de l'Intérieur ; trois musiciens, installés dans le wagon découvert, accordent leurs cornets à pistons, et plusieurs groupes d'observateurs, dotés de l'oreille absolue, d'un carnet et d'un crayon, sont disséminés à des intervalles bien déterminés le long de la voie. Dès que le train atteindra sa vitesse maximale, soit plus de 70 km/h, les musiciens joueront, à l'unisson et aussi fort que possible, de façon à couvrir le bruit de la locomotive, un *la* dont les observateurs placés le long de la voie tenteront d'estimer l'altération, en demis et quarts de ton, sous l'effet de la vitesse. [...] L'expérience sera rééditée deux jours plus tard avec un protocole légèrement différent (on ne sait jamais), des vitesses et des instruments différents (des trompettes) tout aussi soigneusement accordés, et elle donnera les résultats que tout le monde attendait [...]. À fond sur sa locomotive, Buys Ballot démontra – avec quel panache ! – ce que chacun tenait pour acquis.

Nicolas Witkowski, *Une histoire sentimentale des sciences*, Éditions du Seuil, 2003.

Données

- Dans la gamme tempérée, l'écart d'un demi-ton entre deux notes correspond à une variation relative de fréquence d'environ 6 %.
- Célérité du son : $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Quel nom porte l'effet que cherche à vérifier Buys Ballot dans cette expérience ?
2. Expliquer en quoi il consiste et comment l'expérience doit permettre de le vérifier.
3. Lorsque la locomotive est en approche à la vitesse v_L , le son perçu est plus aigu que celui émis et le niveau sonore augmente.

Parmi les relations (1) et (2) ci-dessous, quelle est celle qui lie la fréquence f de l'onde émise par les musiciens à la fréquence f_0 de l'onde perçue par les observateurs lorsque la locomotive s'approche d'eux à la vitesse v_L ?

$$\text{Relation (1) : } f_0 = \frac{v}{v - v_L} f \quad \text{Relation (2) : } f_0 = \frac{v}{v + v_L} f$$

4. En supposant que la note jouée par les musiciens soit l'une des notes présentées dans le tableau ci-dessous, justifier que l'expérience puisse donner un résultat concluant.

Note	Ré ₃	Mi ₃	Fa ₄	Sol ₃	La ₄
Fréquence (Hz)	294	330	349	392	440

Une solution

1. Buys Ballot cherche, au travers de son expérience, à vérifier l'effet Doppler.
2. Cet effet correspond à un décalage non nul entre la fréquence du signal reçu et la fréquence du signal émis par la source, lorsque la source et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Dans l'expérience de Buys Ballot, un décalage de fréquence doit se traduire par une différence de hauteur. Les auditeurs doivent percevoir une variation de note : la note émise doit être différente de celle perçue.
3. Le son est plus aigu lorsque la locomotive approche. La fréquence f_0 est donc plus élevée que f . La relation (1) est compatible avec les propos précédents.
4. D'après le texte, les musiciens jouent un « la » : $f = f_{\text{La}_4} = 440 \text{ Hz}$.

$$\text{D'après (1), } f_0 = \frac{v}{v - v_L} f = \frac{340}{340 - \frac{70}{3,6}} \times 440 = \mathbf{467 \text{ Hz}}.$$

Connaissances

→ Décrire l'effet Doppler. Celui-ci intervient dans le domaine des ondes quelle que soit leur nature.

Raisonner

→ Associer la hauteur d'un son à sa fréquence.

Raisonner

→ Extraire et exploiter les informations utiles des documents proposés.

Raisonner

→ Faire preuve d'esprit critique.

→ L'écart relatif entre les deux notes est de 6 %. Les observateurs peuvent percevoir un écart d'un demi-ton entre les deux notes. L'expérience peut être concluante, encore faut-il que les instruments soient bien accordés, que le bruit de la locomotive ne recouvre pas le son émis par les musiciens, que celui-ci soit produit ni trop loin ni trop près des auditeurs et que les auditeurs soient effectivement dotés d'une oreille absolue sachant identifier n'importe quelle note de la gamme tempérée.