

Activité 1 : Expérience de Ballot

En 1842, le physicien autrichien Christian Doppler modélise un phénomène caractéristique des ondes émises par des sources en mouvement, et le présente à l'Académie royale des sciences de Bohême. En 1845, le physicien autrichien Christoph Buys-Ballot réalise une expérience pour tester la théorie de Doppler.

Comment Ballot a-t-il mis l'effet Doppler en évidence en 1847 ?

Objectif

- Interpréter les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.
- Établir et exploiter l'expression du décalage Doppler.

Doc. 1

Abaissement de ton au passage d'un train



► Kevin Parrish, *Standard Splendour*, 2008.

On peut observer, à chaque station de chemin de fer, un effet de ce genre extrêmement instructif, au moment du passage d'un train à grande vitesse. Pendant qu'il approche, les ondes émises par le sifflet sont virtuellement ou équivalement raccourcies, parce qu'il en arrive un plus grand nombre à l'oreille, dans un temps donné.

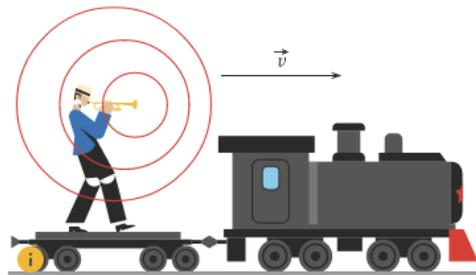
Quand il s'éloigne au contraire, les ondes sonores sont virtuellement ou équivalement rendues plus longues. La conséquence de ce raccourcissement et de cet allongement est que, lorsque le train s'approche, le sifflet rend un son plus aigu, et que lorsqu'il s'éloigne le sifflet rend un son plus grave que lorsque le train est au repos.

On perçoit donc à chaque passage du train un abaissement de ton. Des expériences de ce genre ont été faites sur les chemins de fer hollandais par M. BuysBallot, et plus tard en Angleterre par M. Scott-Russel.

John Tyndall, *Le son : cours expérimental fait à l'Institution Royale*, 1869, p. 83.

Doc. 2

Expérience de Buys-Ballot



Le 3 juin 1845, afin de tester les théories de Christian Doppler, Christoph Buys-Ballot place des musiciens sur un train et leur demande de jouer un la_3 .

Il place sur le quai, à intervalles réguliers, des groupes d'autres musiciens capables de distinguer très finement les différences de hauteur de notes. Lorsque le train s'est approché, les musiciens restés à quai ont affirmé avoir entendu un si_{b3} soit une note plus aiguë d'un demi-ton.

Doc. 3

Effet Doppler

Lorsqu'un émetteur d'onde est en mouvement à une vitesse v par rapport à un récepteur fixe, la fréquence f_{rec} reçue par le récepteur diffère de la fréquence f_{em} émise selon les formules suivantes :

- si l'émetteur et le récepteur se rapprochent :

$$f_{rec} = \frac{f_{em} \cdot v_{onde}}{v_{onde} - v}$$

- si l'émetteur et le récepteur s'éloignent :

$$f_{rec} = \frac{f_{em} \cdot v_{onde}}{v_{onde} + v}$$

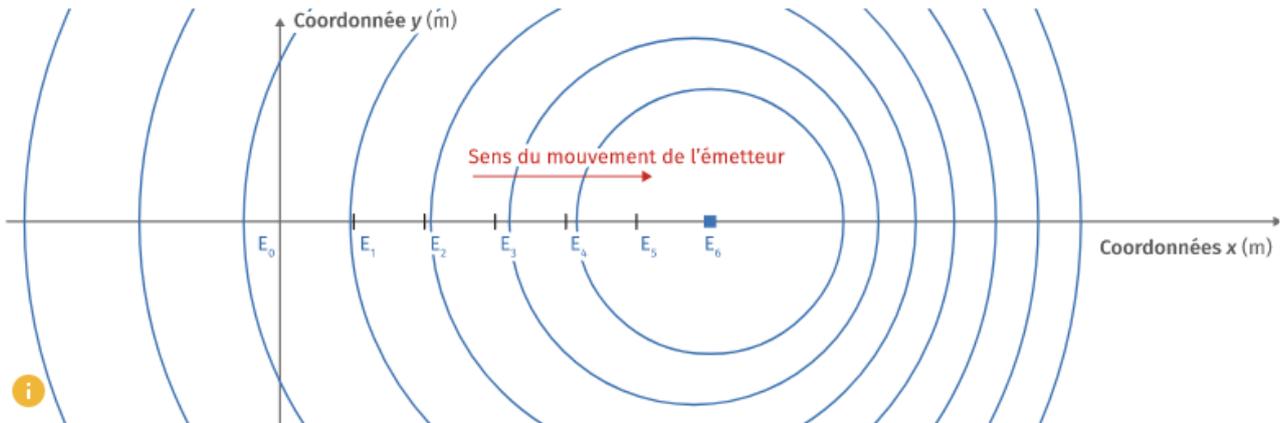
f_{rec} : fréquence reçue par le récepteur (Hz)

f_{em} : fréquence émise par le récepteur (Hz)

v_{onde} : vitesse de l'onde ($m \cdot s^{-1}$)

v : vitesse de rapprochement ou d'éloignement entre l'émetteur et le récepteur ($m \cdot s^{-1}$)

Doc. 4
Source sonore en mouvement

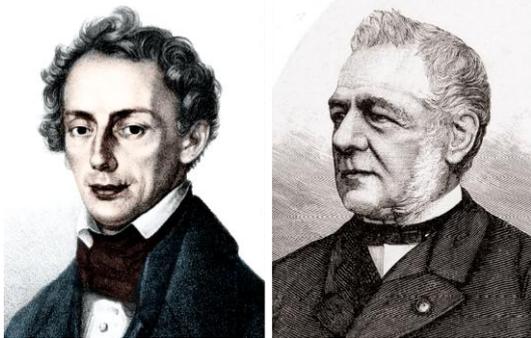


La représentation spatiale d'une onde dont la source est en mouvement montre que les écarts spatiaux entre les fronts d'onde n'ont pas la même valeur si la source s'approche ou s'éloigne du récepteur.

Doc. 5
Fréquences de quelques notes de musique

Note	sol3	sol#3	la3	si \flat 3	si3	do4	do#4
Fréquence (Hz)	392	415	440	466	494	523	554

Doc. 6
Christian Doppler et Christoph Buys-Ballot



Données

- **Vitesse du son dans l'air** : $v_{\text{son}}=340\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- **Masse molaire du cobalt** : $c=3,00\times 10^8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Questions

1. Exprimer la longueur d'onde de l'onde reçue λ_{rec} par l'observateur en fonction de f_{rec} et v_{onde} dans le référentiel terrestre.
2. Expliquer pourquoi les musiciens restés à quai ont entendu une note plus aiguë que celle jouée sur le train.
3. Calculer la vitesse à laquelle ce train se déplaçait.
4. En déduire la note entendue par les musiciens à quai lorsque le train s'éloignait.
5. Calculer la vitesse que le train devrait avoir pour que les musiciens entendent un do4. Commenter.