

1. Expérience de Ballot

Vidéo : <https://youtu.be/wrzWAox8NCM>

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 ?

Document 1 – Abaissement de ton au passage d'un train

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.



Kevin Parrish, *Standard Splendour*, 2008.

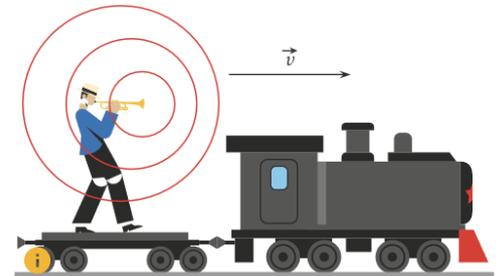
On perçoit donc à chaque passage du train un abaissement de ton. Des expériences de ce genre ont été faites sur les chemins de fer hollandais par M. Buys-Ballot, et plus tard en Angleterre par M. Scott-Russel.

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

Document 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 *la3*.

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 *si3* soit une note plus aiguë d'un demi-ton.

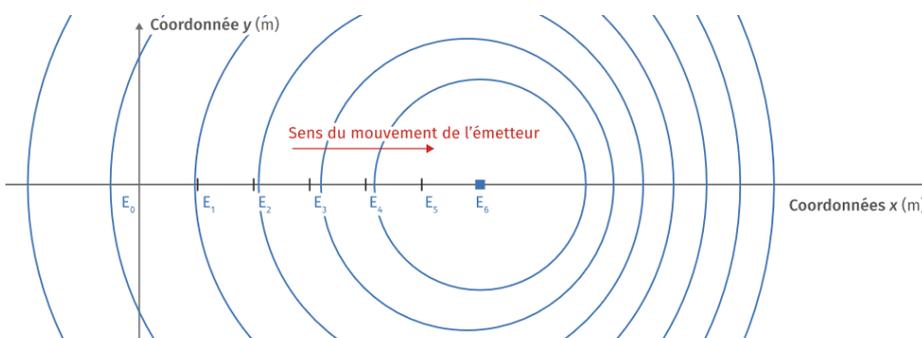


Document 3 – Effet Doppler

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

Document 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.

Document 5 - Fréquences de quelques notes de musique

Note	sol_3	$sol\#_3$	la_3	$si\flat_3$	si_3	do_4	$do\#_4$ ⋮
Fréquence (Hz)	392	415	440	466	494	523	554

Q1- Expliquer pourquoi les musiciens restés à quai ont entendu une note plus aiguë que celle jouée sur le train. [Val]

Q2- Calculer la vitesse à laquelle ce train se déplaçait. On prendra $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour la vitesse du son dans l'air. [App-Réa]

Q3- En déduire la note entendue par les musiciens à quai lorsque le train s'éloignait. [Ana]

2. Détection d'exoplanètes

Une exoplanète est une planète située hors du système solaire. Les recherches scientifiques sur ce sujet ont débuté au cours du XIX^e siècle. Aujourd'hui, on recense près de 4000 exoplanètes.

Comment détecter la présence d'une planète gravitant autour d'une étoile sans pouvoir la voir directement ?

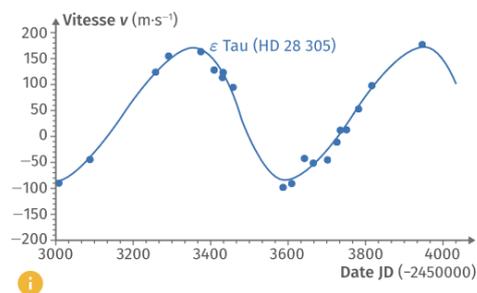
Document 1 – Exoplanètes

Les principales méthodes de détection sont des méthodes indirectes : la méthode des vitesses radiales qui permet, depuis la fin des années 1990, de découvrir plusieurs dizaines d'exoplanètes par an et la méthode du transit qui a permis, grâce au télescope Kepler, de découvrir plus de 2500 exoplanètes entre 2014 et 2018.

La méthode du transit consiste à observer la diminution périodique de la luminosité d'une étoile lorsqu'une planète passe devant.

La méthode des vitesses radiales consiste à mesurer, grâce à l'effet Doppler-Fizeau, le léger mouvement circulaire d'une étoile induit par l'attraction gravitationnelle exercée par ses planètes. On observe ainsi un décalage périodique du spectre de l'étoile.

Document 2 - Évolution de la vitesse radiale de ε Tau



D'après B. Sato et al., « A Planetary Companion to the Hyades Giant ϵ Tauri », *The Astrophysical Journal*, 20 mai 2007.

Document 3 – Jour Julien

Le jour julien (abrégié en JD, pour *julian day* en anglais) est la base d'un système de datation utilisé en astronomie et qui consiste à compter le nombre de jours écoulés depuis une date de référence fixée arbitrairement au premier janvier - 4712 à 12 h

Document 4 – Décalage Doppler – Fizeau

Du fait de l'effet Doppler-Fizeau, la longueur d'onde des radiations émises sera décalée positivement ou négativement selon que l'astre s'éloigne ou se rapproche, selon la relation :

$$|\Delta\lambda| = \frac{v}{c} \cdot \lambda_{em}$$

$\Delta\lambda$: décalage en longueur d'onde (m)

v : vitesse de l'astre ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

c : célérité de la lumière dans le vide égale à $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

λ_{em} : longueur d'onde de la radiation émise (m)

Q1- Expliquer pourquoi les longueurs d'onde des raies d'absorption d'une étoile autour de laquelle gravite une planète subissent un décalage périodique. [App]

Q2- Déterminer la période de révolution, c'est-à-dire la durée pour effectuer un tour autour de l'étoile, de l'exoplanète gravitant autour de l'étoile ε Tau. [App]

Q3- Calculer les extrema du décalage en longueur d'onde du spectre de l'étoile ε Tau pour la raie du sodium ($\lambda_{em}=589 \text{ nm}$). [Ana-App-Réa]

Q4- La précision du dispositif utilisé par les membres de l'équipe de B. Sato ne leur permettait pas de mesurer une vitesse inférieure à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. En déduire la valeur la plus faible du rapport entre le décalage Doppler et la longueur d'onde. [Ana-App-Réa]

3. Synthèse sur l'effet Doppler

Qu'est-ce que l'effet Doppler ?

Qu'appelle-t-on le décalage Doppler Δf (en fréquence) ?

Comparer dans chaque cas les périodes T_{em} , les longueurs d'ondes λ_{em} , et les fréquences f_{em} des sons émis avec les périodes T_{rec} , les longueurs d'ondes λ_{rec} , et les fréquences f_{rec} des sons reçus et donner le signe du décalage Doppler Δf .

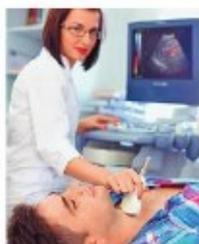
L'émetteur se rapproche du récepteur	L'émetteur est fixe par rapport au récepteur	L'émetteur s'éloigne du récepteur
		
$f_{rec} =$	$f_{rec} =$	$f_{rec} =$
$\Delta f =$	$\Delta f =$	$\Delta f =$

! Il faut savoir **établir l'expression** du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe et d'un émetteur mobile (dans une configuration à une dimension) !

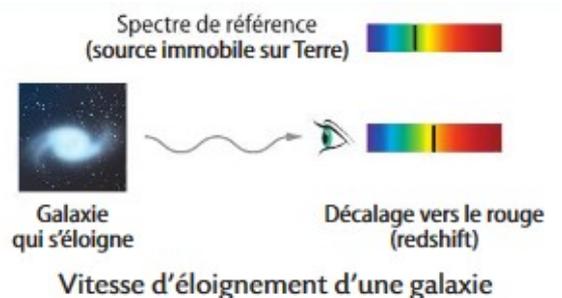
Quelques applications de l'effet Doppler :



Vitesse d'un véhicule



Vitesse d'écoulement du sang



D'après « Hachette éducation – Terminale spécialité physique chimie »

et « le livre scolaire – Terminale spécialité physique chimie »

<https://www.livrescolaire.fr/>