

## LP 18 – Effet Doppler

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 17 juin 2020

*Merci à Arthur Lasbleiz, Jérémy Sautel et Joachim Galiana pour leur précieuse aide.*

**Mots-clé :** effet Doppler, décalage Doppler, échographie Doppler.

**Niveau :** BCPST 2

**Pré-requis :**

- Effet Doppler [TS]
- Loi de composition des vitesses pour le cas de référentiels en translation rectiligne [BCPST 1]
- Développement limités [BCPST 1]
- Mouvement d'un ressort [BCPST 1]

**Bibliographie :**

- Côte, *Physique-Chimie BCPST 2e année* [Niveau : \* ]
- Taillet, *Dictionnaire de physique* [Niveau : \* ]
- Fruchart, *Physique expérimentale : optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique* [Niveau : \*\* ]

### Plan proposé

<b>I - Présentation de l'effet Doppler</b>	<b>3</b>
A/ Etude expérimentale . . . . .	3
B/ Formule du décalage Doppler . . . . .	4
C/ Mesure d'une vitesse par effet Doppler . . . . .	4
<b>II - Echographie Doppler</b>	<b>4</b>
A/ Formule du décalage Doppler . . . . .	4
B/ Utilisation pour le diagnostic médical . . . . .	5

## Liste de matériel

### Détermination expérimentale du décalage Doppler

- Banc Doppler ;
- Emetteur à ultrasons ;
- Récepteur à ultrasons ;
- GBF ;
- Carte d'acquisition Sysam ;
- Ordinateur équipé du logiciel Latispro.

### Détermination du mouvement d'un ressort par effet Doppler

- Support et pendule ;
- Emetteur à ultrasons ;
- Récepteur à ultrasons ;
- GBF ;
- Carte d'acquisition Sysam ;
- Ordinateur équipé du logiciel Latispro.

## Introduction pédagogique

L'effet Doppler a déjà été présenté aux élèves en terminale. Ils savent exploiter la formule du décalage Doppler, mais ils ont admis son origine. Ce cours permet ainsi de la déterminer rigoureusement avec les connaissances vues en BCPST 1 et BCPST 2.

Effet Doppler.	<p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.</i>          Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.          Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.</p>
----------------	--

**Figure 1** – Extrait du programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique.

Le cours s'ancre dans une séquence sur la production et l'analyse de signaux, dont le but est d'expliquer l'imagerie par échographie ultrasonore. L'effet Doppler est ainsi principalement présenté pour les ondes sonores et ultrasonores, et permet d'aborder l'échographie Doppler pour la mesure du débit sanguin.

### Difficultés :

- signe du décalage Doppler : il faut bien définir le mouvement relatif entre l'émetteur et le récepteur (et penser à l'exemple de l'ambulance pour le retrouver vite) ;
- comprendre que le décalage en fréquence mesuré pour l'échographie Doppler est celui des pulses envoyés par la sonde.

**Exemples de TD** : mesure de vitesses (radar, sonar, sang), détection des planètes extrasolaires.

**Exemples de TP** : mesure d'une vitesse sur un banc Doppler.

## Introduction

Lorsqu'une ambulance se rapproche dans la rue, le son que l'on perçoit est plus aigu que lorsqu'elle s'éloigne. Cela est dû à l'effet Doppler.

**Animation** – Effet Doppler créé par une voiture en mouvement (**Source** : GeoGebra).

La période spatiale perçue par l'observateur est plus faible que la période émise lorsque la voiture se rapproche. C'est l'inverse quand elle s'éloigne.

**Définition** – **Effet Doppler** : décalage entre la fréquence perçue par un observateur et celle émise par une source d'un signal ondulatoire dû au mouvement de l'observateur ou de la source.

Cet effet, proposé par Doppler en 1842, est en fait beaucoup utilisé dans des situations quotidiennes (radars) ou plus scientifiques (échographie Doppler en médecine, effet Doppler-Fizeau en astronomie).

**Objectifs** – Démontrer la formule du décalage Doppler.  
Décrire le principe de l'échographie Doppler.

## I - Présentation de l'effet Doppler

### A/ Etude expérimentale

**Expérience** – Banc Doppler avec émetteur à ultrasons en mouvement et récepteur fixe.

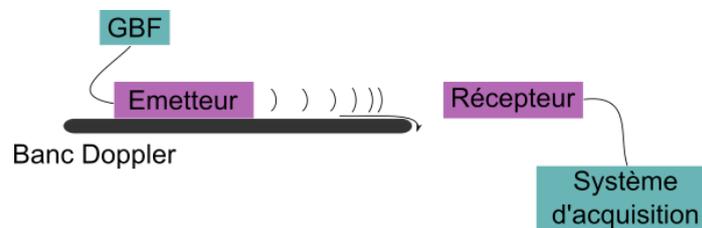


Figure 2 – Schéma du dispositif.

Si l'on trace l'écart de fréquence  $\Delta f = f_e - f_r$  en fonction de la vitesse de l'émetteur, on obtient une fonction linéaire.

**Remarque** – La mesure de l'écart de fréquence se fait par détection synchrone.

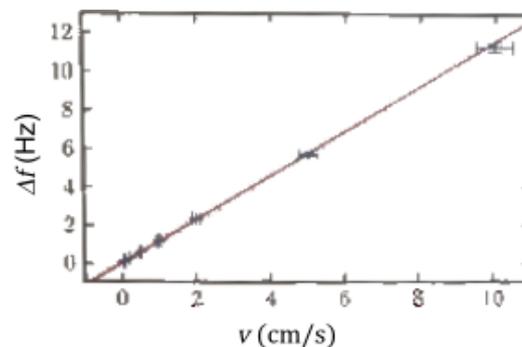


Figure 3 – Tracé de l'écart de fréquence  $\Delta f$  en fonction de la vitesse de l'émetteur  $v$  (Source : Fruchart).

On en déduit que  $\Delta f$  est proportionnelle à la vitesse de l'émetteur. C'est pourquoi on perçoit mieux l'effet Doppler pendant une course de formule 1 qu'au passage d'une ambulance.

## B/ Formule du décalage Doppler

**Démonstration** – Cas où la source est fixe et le récepteur s'en rapproche (Source : Côte (p. 509)).

La formule du décalage Doppler est donnée par :

$$|\Delta f| = \frac{v f_e}{c} \quad (1)$$

avec  $f_e$  la fréquence de l'émetteur et  $c$  la célérité de l'onde.

Le signe de l'écart de fréquence dépend du déplacement relatif de l'émetteur et du récepteur :

- s'ils s'éloignent,  $\Delta f = f_e - f_r > 0$ ;
- s'ils se rapprochent,  $\Delta f < 0$ .

## C/ Mesure d'une vitesse par effet Doppler

On peut mesurer des vitesses à l'aide de l'effet Doppler. On peut ainsi l'utiliser comme outil d'acquisition du mouvement d'un objet en mécanique.

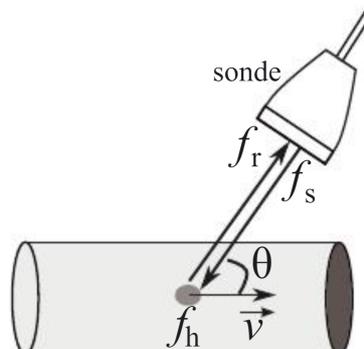
**Exemple** – Mouvement d'un ressort mesuré par effet Doppler (Source : BUP).

## II - Echographie Doppler

Pour mesurer la vitesse du sang et anticiper des problèmes de tension artérielle (infarctus, rupture d'anévrisme), les médecins ont recours à l'échographie Doppler.

### A/ Formule du décalage Doppler

Les ondes émises sont des ultrasons de fréquence comprise entre 2 et 10 MHz. La sonde joue à la fois le rôle d'émetteur et de récepteur. Les ultrasons sont réfléchis par les hématies contenues dans le sang.



**Figure 4** – Fonctionnement de l'échographie Doppler (Source : Côte (p. 512)).

**Formule du décalage Doppler :**

$$\Delta f = f_e \times \frac{2v}{c} \cos \theta \quad (2)$$

**Démonstration** – Formule du décalage Doppler pour l'échographie (**Source** : Côte (p. 530)).

Pour avoir la plus grande précision sur le signal, on essaye de mettre la sonde dans l'axe du réseau, en minimisant l'angle  $\theta$ .

## B/ Utilisation pour le diagnostic médical

L'échographie Doppler permet non seulement de déterminer la vitesse du sang dans un vaisseau sanguin, mais également de déterminer la quantité d'hématies dans le vaisseau (proportionnelle à l'intensité du signal) et de mesurer le diamètre des vaisseaux si elle est couplée à une imagerie par échographie. On peut alors déterminer le débit sanguin des vaisseaux.

Il s'agit d'une méthode d'analyse indolore et non invasive, ce qui fait qu'elle peut être utilisée en routine et sur des individus sensibles.

**Application numérique** – On effectue une échographie Doppler d'un individu et on mesure un décalage Doppler  $\Delta f = 2\,000$  Hz au niveau de l'aorte, pour un angle d'observation  $\theta = 60^\circ$  et une fréquence de la sonde  $f_e = 3,0$  MHz. Quelle est la vitesse des hématies ? L'individu présente-t-il une pathologie ?

On utilise la formule du décalage Doppler pour l'échographie Doppler :

$$v = c \times \frac{\Delta f}{2 f_e \cos \theta} \quad (3)$$

La vitesse du son dans le milieu biologique est  $c = 1\,500$  m/s. On en déduit que  $v = 1,0$  m/s  $\ll c$ . La vitesse normale des hématies dans l'aorte est 20 cm/s. L'individu fait donc un léger anévrisme.

## Conclusion

L'effet Doppler correspond à un écart de fréquence entre le signal reçu par un observateur et celui émis par une source. Si on considère des ondes sonores, on perçoit un son plus aigu si la source et l'observateur se rapprochent.

L'effet Doppler permet de mesurer des vitesses, que ce soit au laboratoire (expérience du cours), à l'hôpital (échographie Doppler) ou dans la rue (radar).