

# LP4 : Effet Doppler

Leçon par Lise

**Elément imposé : Mesure de distance astrophysiques**

**Niveau :** Terminale générale spécialité physique chimie

Effet Doppler. Décalage Doppler.	Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler. Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension. Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques. <i>Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.</i>
-------------------------------------	---

Figure 1: Programme PC spécialité Terminale générale

**Prérequis :**

- Ondes mécaniques progressives, double périodicité
- Ondes sonores : lien fréquence longueur d'onde.
- Incertitudes
- Spectre d'émission (2nde)

**Difficultés :**

- Comprendre le phénomène de l'effet Doppler assez compliqué à appréhender
- Démonstration du décalage Doppler
- Ne pas confondre les cas (Emetteur et/ou récepteur fixe)

**Séquence pédagogique** TD :Vitesse d'une balle de Tennis Détection de sous-marins  
 TP : Mise en évidence de l'effet Doppler avec des téléphones portables (Phi fox application)  
 Mesure du décalage Doppler sur un banc par un émetteur en mouvement  
 Approche doc : Détermination de la vitesse de rotation du soleil  
 Manuels de terminale : Belin, Nathan Tale PC, LLS Tale spécialité  
 Manuels supérieur Sanz PC/PC\* Côte BCPST 2 Fruchart (Manipulation),

**Objectif**

- Comprendre l'effet Doppler et en connaître des applications

## Contents

<b>1 L'effet Doppler</b>	<b>2</b>
1.1 Découverte et définition . . . . .	2
1.2 Expression du décalage Doppler . . . . .	2
1.3 Détermination de la vitesse d'une onde sonore . . . . .	2

<b>2 Applications</b>	<b>3</b>
2.1 Radar autoroutier . . . . .	3
2.2 Mesures astrophysique . . . . .	3
2.3 Echographie Doppler . . . . .	4

## Introduction

Ce qu'on entend quand une voiture avec sirène qui s'approche de nous et s'éloigne des nous. Vidéo ici.

## 1 L'effet Doppler

### 1.1 Découverte et définition

Dois son nom à [Christian Doppler](#) en 1842 : prédiction de l'effet Doppler.

1845 : Mise en évidence pour des ondes sonores par Buys-Ballot

Egalement en 1848, Fizeau le prédit de manière indépendante.

[Effet Doppler](#) Une onde électromagnétique ou mécanique émise à une fréquence  $f_e$  est perçue à une fréquence  $f_r$  différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif. On appelle décalage doppler  $\delta f = f_r - f_e$

Simulation avec des cercles sur Geogebra ici.

On a alors plusieurs cas selon le signe du décalage. (Hachette terminale)

### 1.2 Expression du décalage Doppler

On fait la démonstration dans le cas d'un récepteur R fixe et d'un émetteur E qui s'approche de R.

E émet une succession de signaux avec une période  $T_e$  qui se propage à la vitesse  $v_{onde} > v_{emetteur}$ .

On s'intéresse alors à quatre instants :

- $t_1 = 0$  E émet un signal
- $t_2 = \frac{D}{v_{onde}}$  R reçoit le signal de E. E a lui avancé de  $v_{emetteur}(t_2 - t_1)$
- $t_3 = T_E$  E émet le signal suivant. Il a alors avancé de  $v_{emetteur}T_E$ . Donc E et R sont séparés de  $D - v_{emetteur}T_E$
- $t_4 = T_E + \frac{D - v_{emetteur}T_E}{v_{onde}}$  R reçoit le deuxième signal.

On s'intéresse alors à la fréquence perçue par R. Les signaux émis par E ont une période  $T_E = t_3 - t_1$ . Ceux reçus par R ont une période  $T_R = t_4 - t_2 = T_E + \frac{D - v_{emetteur}T_E}{v_{onde}} - \frac{D}{v_{onde}} = T_E \left(1 - \frac{v_{emetteur}}{v_{onde}}\right)$

On a alors  $f = \frac{1}{T}$  donc  $f_R = f_e \left(\frac{1}{1 - \frac{v_{emetteur}}{v_{onde}}}\right)$

Donc

$$\Delta f = f_E \frac{v}{v_{onde} - v}$$

Dans le cas où  $v \ll v_{onde}$ , on a  $\Delta f = f_E \frac{v}{v_{onde}}$ .

### 1.3 Détermination de la vitesse d'une onde sonore

Dispositif doppler du lycée (Fig 2). On mesure la vitesse du dispositif avec un chrono et on trace  $\Delta f = f(v)$ . On remonte à la mesure de la vitesse du son.

On remonte ainsi à la vitesse du son.

La vitesse dépend de l'état physique du milieu de propagation et la température selon la relation :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

(Bellier) avec

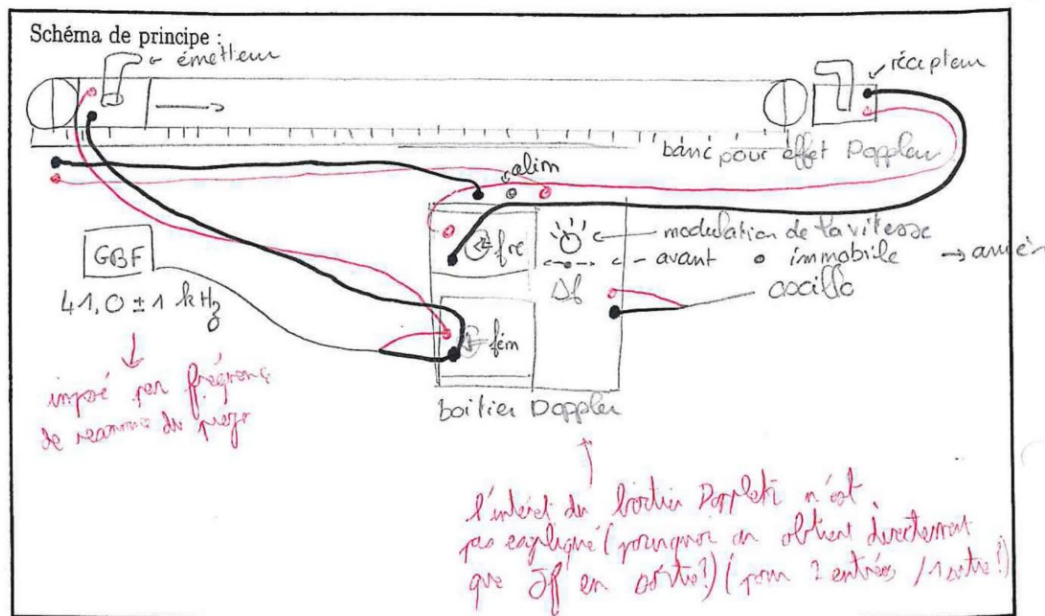


Figure 2: Dispositif expérimental du Banc de mesure de l'effet Doppler (P73.23)

- $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$  pour l'air est un coefficient qui dépend de la forme des molécules constituant le gaz (coefficient isentropique)
- $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  la constante du gaz parfait
- $T$  la température du gaz en kelvin
- $M$  la masse molaire du gaz ( $0,029 \text{ kg mol}^{-1}$ )

A 293 K, On trouve  $c = 343 \text{ m s}^{-1}$ , calculons le z-score pour voir si on est ok  
Voir ici pour les incertitudes

## 2 Applications

### 2.1 Radar autoroutier

Le radar joue le rôle d'émetteur et de récepteur car l'onde se réfléchit sur la voiture et revient au radar.  
On remarque de plus que la voiture n'est pas dans l'axe donc on a :

$$\Delta f = \frac{2v \cos \alpha}{v_{\text{onde}}} f_E$$

en général  $\alpha = 25$  dans les radars, mais ils ont une tolérance car avec  $f_E = 24,1 \text{ GHz}$  et  $\Delta f = 5,17 \text{ kHz}$  si l'angle varie entre  $25$  et  $29^\circ$ , la vitesse varie de  $5 \text{ km/h}$  d'où la tolérance.

Source : Nathan TS (p. 67))

### 2.2 Mesures astrophysique

Si une étoile se rapproche, on a  $\lambda$  plus faible ce que l'on appelle un **blue shift**. Si elle s'éloigne, on a un **red shift**.

On pourra alors étudier la vitesse de la galaxie andromède. Elle se rapproche de notre galaxie à une vitesse  $v$ .  
Rapprochement donc blue shift.

$\lambda_E = 518,4 \text{ nm}$  et  $\lambda_r = 517,9 \text{ nm}$  on a  $v = 229 \text{ km s}^{-1}$  paraît beaucoup mais à plusieurs années lumières.

Source : LLS p468

## 2.3 Echographie Doppler

Côte (p. 512)

## Conclusion

prix nobel 2019 : 51pégasib

## Question

- Spectre d'émission dans les prérequis, à quel point ils les connaissent ? Au programme de seconde, les sources spectrales et on leur montre les spectres d'absorption.
- Quel est le rôle de la démonstration au lycée ? Permet de retenir qu'on passe par les fréquences et aide à la mémorisation.
- Détection de sous-marins : comment fonctionne un sonar ? Réflexion sur la cible, permet de connaître sa vitesse grâce au Doppler et la distance de l'obstacle grâce à la vitesse de l'onde.
- Utilisation de téléphone portable, est-ce bien d'utiliser en cours, à quel point c'est une décision maintenue si un élève ne l'a pas ? Pas recommandé à la place de suivre le cours. Mais montrer qu'on peut faire de la physique avec le téléphone. Ici, on n'en a besoin que de deux par groupe donc on peut prêter. Eviter la nécessité que tous les élèves en aient.
- Dans l'intro, vitesse de rotation du soleil ? Décalage de raies, un hémisphère est blueshift et l'autre red shift.
- Expliquer l'intensité et la fréquence du son de la sirène ? Les ondes sonores sont sphériques donc s'atténuent au cours de leur propagation donc plus on est près mieux c'est. Grave, aigu pour la fréquence ? Ressenti plutôt que mesure.
- Différence entre une onde électromagnétique et mécanique ? Il faut un support matériel pour une onde mécanique.
- Que ce passe-t-il si on atteint la vitesse de l'onde ? On a une onde de choc, le bang supersonique c'est le franchissement du mur du son. Peut-il arriver avec autre chose que les ondes sonores ? Effet Tcherenkov.
- Démonstration : R est fixe et E bouge, possible de se débarrasser de ça avec des notions de lycée ? On se place dans le référentiel du récepteur.
- Passé rapidement sur la version simplifiée de l'expression de  $\delta f$  ? Possible de le faire sans développement limités au lycée ?
- Difficulté en terme de disjonction de cas si l'émetteur s'éloigne ou se rapproche ? Ca change seulement un signe, avec les schéma correct ça ira.
- Expliquer pourquoi la manipulation n'a pas marché ?
- Application pour le radar, même formule que pour les ondes sonores, est-ce que c'est vrai ? simplification car les ondes électromagnétiques sont particulières.
- Variation de l'angle du radar unique cause de la tolérance ? Plus grosse incertitude au nouveau de l'étalonnage de la voiture.
- Pourquoi Andromède s'approche ? La voie lactée et andromède s'approche par attraction gravitationnelle.
- Les étoiles s'éloignent toutes, pourquoi ?

## Retours

- Super pour la forme, le plan est cohérent.
- sirène qui passe qui va de l'aigu au grave, rappeler que aigu = haute fréquences. Associer fréquences à ressenti.
- Quitte à parler de l'historique de doppler, parler de Fiseau (Fr!)
- Prendre une seconde pour parler d'électromag et méca pour lumière et milieu matériel.
- qu'est-ce qu'il se passe quand  $v > c$  : se renseigner sur le bang supersonique
- Référentiel galiléen vu en seconde.
- Vitesse négative pas forcément acquis donc petit point sur le cas où on s'éloigne.
- Pour montrer le DL, tu peux tracer les deux et montrer que c'est pareil au niveau des petits. ou montrer que  $v_{onde} - v \simeq v_{onde}$  dans le cas des petits.
- Pour le radar, on utilise la formule relativiste avec le facteur de Lorentz.
- Application doppler : colléo et Lassale pour suivre un effet doppler et le mesurer en direct. Ecoulement sanguin : bup Etoiles : mesure de l'expansion de l'univers. Pour le supérieur : relativiste + avec un angle