

LP 19 - Effet Doppler

Lise Boutenègre, Raphael Rullan

Elément imposé – Décalage Doppler, Doppler Fizeau, Radar, Echographie, Détection des planètes extrasolaires

Introduction Pédagogique

Niveau : BCPST 2

Pré-requis

- Ondes progressives, notion de retard, front d'onde, vitesse de propagation, période/fréquence, ondes mécaniques **secondaire**
- Filtres passe-bas et fréquence de coupure d'un RC **PCSI**
- Mathématiques : développements limités **Terminale**
- Acquisition d'un signal **Secondaire**

Difficultés

- Ne pas se tromper de sens.
- Bien faire la différence entre l'aspect fréquentiel et l'aspect temporel.
- Relier les phénomènes observés à son phénomène physique : l'effet Doppler.
- Principe de détection synchrone.

Objectifs – L'objectif de cette leçon va être de faire comprendre aux élèves l'effet Doppler, qu'ils soient capables de refaire la démonstration dans le cas étudié et surtout comprendre celui-ci. Intrinsèquement, il faudra que les élèves comprennent l'implication de cet effet dans les différents phénomènes présentés

Applications

- **TP** : Mesure de la vitesse d'un rail par mesure des fréquences.
- **TD** : Rapprochement ou éloignement des étoiles.
- **Activité complémentaire** : Ecolocalisation et chauve-souris

Source – Terminale S, Dulaurans; Terminale enseignement de spécialité Physique Chimie, <https://dlatreyte.github.io/terminales-pc/chap-2/4-doppler-astrophysique/>, La. physique

par les objets du quotidien, http://maths-sciences-lp.ac-amiens.fr/IMG/dossier_radar/doppler_dossier.pdf

Remarque – Il y a plein de BUP qui parlent de l'effet Doppler, ne pas hésiter à regarder selon l'élément imposé

Introduction

Introduction historique de l'effet Doppler et phénoménologique comme en terminale.

1 L'effet Doppler

1 Mise en évidence expérimentale

On fait la manipulation du Fruchart, où on monte plot l'écart de fréquence en fonction de la vitesse. Voir la partie de Manon.

2 Retour sur la formule du décalage Doppler

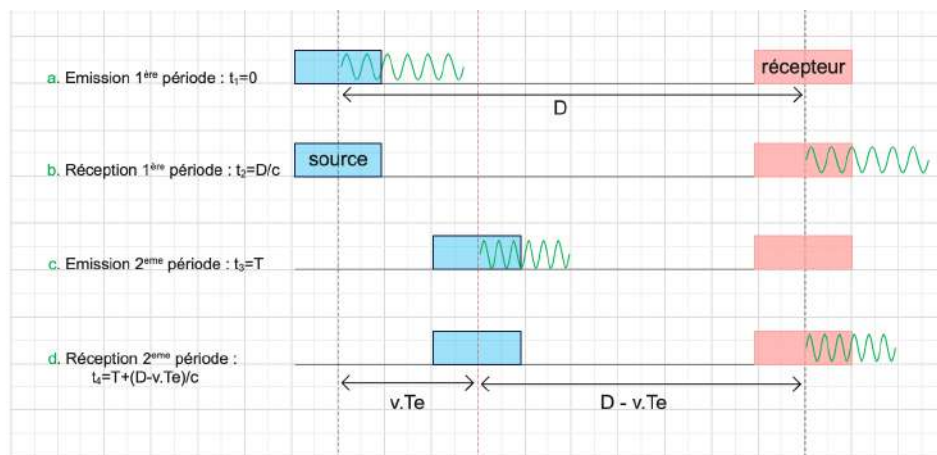


Figure 1 – Démonstration de l'effet Doppler

La période du signal reçu s'écrit :

$$\begin{aligned}
 T_R &= t_4 - t_2 \\
 T_R &= T_E + \frac{D - v \cdot T_E}{c} - \frac{D}{c} \\
 T_R &= T_E - \frac{v \cdot T_E}{c} \\
 T_R &= T_E \left(1 - \frac{v}{c}\right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Donc :

$$\frac{1}{f_r} = \frac{1}{f_e} \times \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Donc :

$$f_r = f_e \times \left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}} \right) \quad (2)$$

Ou encore si on re-écrit cela en terme de longueur d'onde :

$$\lambda_r = \lambda_e \left(1 - \frac{v}{c} \right) \quad (3)$$

Comme on a $v \ll c$ on peut faire le déplacement limité à l'ordre 1 sur $\left(\frac{v}{c} \right)$ ce qui donne :

$$f_r = f_e \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad (4)$$

La fréquence reçue est alors supérieure à la fréquence émise. On peut calculer le décalage Doppler comme étant :

$$\delta f = f_r - f_e = \frac{v}{c} \times f_e \quad (5)$$

Si on veut aller plus vite, on peut regarder la démo du Sanz. On peut également généraliser la formule voir leçon de Gabriel Balavoine (pas grand intérêt).

3 Retour sur le principe de détection synchrone

Le système que je vous ai présenté a un soucis, en effet, on voit que le décalage Doppler est très faible et que la sensibilité de nos appareils de mesure ne permet pas de le mesurer, on utilise alors un montage particulier, que l'on appelle montage de détection synchrone. Pour cela, on utilise un montage dit : multiplieur.

Pour l'explication, voir Sanz. Nous disposons d'un signal émis de fréquence f et du signal reçu de fréquence $f' = f + \delta f$. Le multiplieur fait une multiplication de cosinus, ce qui revient à avoir une somme (voir LP21 pour la démo) de cosinus. On obtient deux signaux, un de fréquence $f+f'$ et l'autre de fréquence $f'-f$ ce qui correspond à la mesure du décalage. On utilise un filtre passe-bas pour ne récupérer que la bonne fréquence. C'est ce qui est utilisé pour déterminer l'éloignement des étoiles.

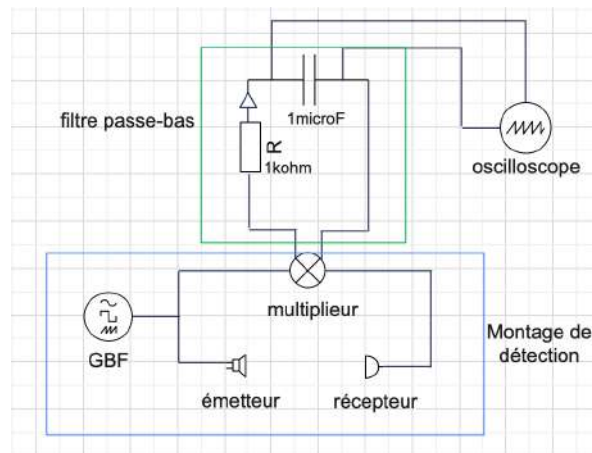


Figure 2 – Montage de détection synchrone

2 L'échographie Doppler

<http://naxos.biomedicale.univ-paris5.fr/diue/wp-content/uploads/2013/05/35-26232.pdf>
+ Côte BCPST2 pour la bibliographie.

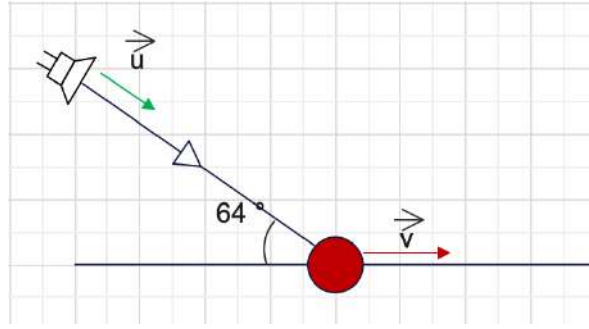


Figure 3 – Schéma du Doppler Sanguin

On peut faire la démonstration selon l'exemple de celle de Naia.

L'effet Doppler apparaît ici deux fois, à l'aller et au retour. Au départ, on est dans le cas qu'on a démontré où l'émetteur est fixe et la source est mobile. Dans le second cas, on est dans le cas où la source est mobile et le récepteur est fixe. Par changement de référentiel, on trouve facilement la formule dans ce second cas. Ce à quoi il faut faire attention ici, c'est la correction avec l'angle. En effet, on n'est pas dans un cas où on a uniquement un effet Doppler longitudinal, en effet avec l'angle il faut corriger la vitesse par rapport à l'angle. $\vec{v} \cdot \vec{u} = v \cdot \cos(\theta)$ en prenant $\vec{u}$ un vecteur unitaire.

Dans le premier cas : la sonde est l'émetteur fixe et le récepteur est l'hématie : On a donc :

$$f_H = \left(1 - \frac{v}{c} \cos(\theta)\right) f_E \quad (6)$$

Dans le second cas, la sonde est le récepteur fixe et l'hématie l'émetteur mobile.

$$f_R = \frac{1}{1 + \frac{v}{c} \cos(\theta)} f_H \quad (7)$$

Donc :

$$f_R = \frac{1 - \frac{v}{c} \cos(\theta)}{1 + \frac{v}{c} \cos(\theta)} f_E \quad (8)$$

On cherche nous à remonter à l'écart de fréquences :

$$\Delta f = f_E f_R \quad (9)$$

Donc :

$$\Delta f = \left(1 - \frac{1 - \frac{v}{c} \cos(\theta)}{1 + \frac{v}{c} \cos(\theta)}\right) f_E \quad (10)$$

$$\Delta f = \left(1 - \frac{2 \frac{v}{c} \cos(\theta)}{1 + \frac{v}{c} \cos(\theta)}\right) f_E \quad (11)$$

On fait un développement à l'ordre 0 de cela et on obtient la formule du décalage Doppler dans ce cas :

$$\Delta f = 2 \frac{v}{c} \cos(\theta) f_E \quad (12)$$

On peut alors remonter à la vitesse. Pour l'exploitation voir Leçon de Gabriel Balavoine http://perso.ens-lyon.fr/gabriel.balavoine/Lu/fichiers/LP19_effet_Doppler.pdf

3 Le radar routier

Dans le cas de radars autoroutiers voir partie de Lise sur la leçon de Terminale. On utilise la même formule. Pour les radars, l'angle fixé est un angle de 25 degrés. On a une incertitude sur l'angle, on calcule les vitesses pour 20 et 25. On parle de l'incertitude constructeur et d'où vient la tolérance.

4 Application à l'astronomie : effet Doppler-Fizeau

Fizeau étend l'effet Doppler aux ondes électromagnétiques. Voir Partie Gabriel, Lise, Naia. On parle de Red-Shift, Blue-shift. Andromède qui se rapproche. Méthode de détection de vitesse etc.

Conclusion

L'effet Doppler est un effet intéressant qui est très utilisé dans de nombreux domaines de la physique. De nouvelles observations émergent. Utilisation de Laser par effet Doppler pour refroidir.