

# LP 19 : Effet Doppler EI : Détection des planètes extrasolaires

Présenté par Thomas

16 juin 2022

## Introduction pédagogique

Plan Annabelle (complété par Léo) à la fin

### L2

#### Prérequis

- Formule donnant le décalage doppler (lycée)
- loi de Kepler (lycée)
- spectre d'émission d'une source lumineuse (lycée)
- filtres passe bas, fréquence coupure d'un RC (PCSI)
- analyse fréquentielle d'un signal sinusoïdal (lycée)

#### Difficultés

- principe de la détection synchrone
- effet doppler compliqué à expliquer avec les mains

#### Biblio

- Belier et Fruchard pour expérience
- il y a des trucs sur la detection de planete par effet doppler dans ENS concours entrée 2019 composition physique

# Introduction

1844 théorie par Doppler. Expérience de Buys Ballot musicien qui joue de la trompette dans un train. Musicien sur le quai n'entendent pas la même note.

## 1 Effet Doppler

### 1.1 Effet Doppler longitudinal

Pourquoi longitudinal? On se place dans un système à une dimension. Source qui se déplace à l'horizontale. On considère la vitesse constante. On suppose le signal sinusoïdal.  $x(t) = x_0 + vt$  et  $s(t) = s_0 \cos(\omega t + \phi)$ . Avec  $t$  la date d'émission et  $t'$  la date de réception.

$$t' = t + \frac{x(t)}{c} = t + \frac{x_0 + vt}{c}$$
$$t' - \frac{x_0}{c} = t \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

On injecte dans  $s(t')$  :

$s(t') \propto s_0 \cos(\omega t' + \phi) = \dots$  on voit apparaître une nouvelle pulsation.

On a  $f' = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$  on retrouve la formule de term avec un DL en supposant  $v \ll c$ .

### 1.2 Effet Doppler transversal

Si on se déplace pas rectilignement par rapport à la source?

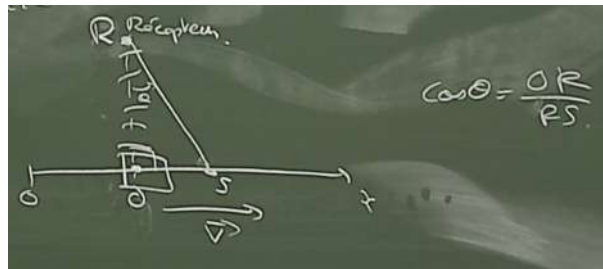


FIGURE 1

En général le cosinus est proche de 1 : on ne considère que l'effet Doppler longitudinal, on néglige le transversal.

### 1.3 Calcul de la vitesse du mobile par décalage Doppler

Manip quantitative : banc mécanique doppler avec emetteur et recepteur dont les signaux sont multipliés et passe dans un filtre passe bas.

Les signaux de l'émetteur et du recepteur sont  $s(t) = s_p \sin(\omega t)$  et  $s_m(t) = s_m \sin((\omega + \delta\omega)t)$ .

On calcule le produit et on linéarise. Ce qui nous donne :

$$s(t) = \frac{s_p \times s_m}{2} (\cos(2\pi \delta f t) - \cos(2\pi(2f + \delta f)t))$$

On utilise un passe bas pour supprimer le 2e terme.  $R = 1k\Omega$  et  $C = 1 \mu F$  fréquence de coupure à 159 Hz. Utilisation de Latis pro et analyse de fourier pour trouver le  $\delta f$  et on remonte à la vitesse du mobile. On peut le faire pour plusieurs vitesses, tracer une droite d'étalonnage.  $\delta f = f'/c \times v$  (bof).

## 2 Détection d'exoplanètes par effet Doppler

On prend une étoile lointaine avec exoplanète en orbite autour de cette étoile, on a un récepteur loin. L'étoile est la source d'un spectre lumineux. On néglige l'effet doppler transversal. Raies dues aux gaz. On se base sur la raie d'émission du sodium, on mesure la différence de longueur d'onde entre ce que l'on mesure pour l'étoile et le soleil. La vitesse est dépendante de la position de l'exoplanète autour de l'étoile du fait de la gravité. Distance de la planète à l'étoile grâce aux lois de Kepler.

### Conclusion

Applications de l'effet Doppler.

### Questions

- 1ere exoplanète découverte ? Pegazi 51
- Quelles autres raies on aurait pu utiliser pour la détection d'exoplanète ? Hydrogène
- autre méthode de détection d'exoplanète ? Avec tracé de l'intensité de la lumière qui diminue si planète passe devant + méthode gravitationnel
- problème de cette méthode d'effet doppler ? tout petit décalage si la planète est petite donc dur à voir + problème de la distante + si système avec beaucoup d'exoplanètes on a plusieurs composantes
- d'autres méthodes de filtrage ?
- comment on fait un filtre passe bas actif ? Avec un AO
- Quand est ce que les lois de Kepler s'appliquent ? force centrale et décroissance en  $1/r^2$
- Limites d'écrire un signal sonore sous cette forme ? pas d'atténuation et pas infini
- Pourquoi est ce qu'on peut se limiter à ce type de signaux ? Car d'un point de vue pratique, sur la durée c'est un cosinus et d'un point de vue théorique tout signal est décomposable sous une somme de signaux sous cette forme (fourier)
- effet doppler formule relativiste ?
- Pour les ondes électromagnétiques pourquoi on a fizeau en plus ?
- invariant galiléen dans l'effet doppler ? longueur d'onde
- qu'est ce que le refroidissement doppler ? refroidissement des atomes par un laser, électromag

# Introduction pédagogique

**Autres EI possibles** : décalage Doppler, Doppler-Fizeau, Radar, Echographie

**Difficultés possibles** :

- Démonstration de la formule de l'effet Doppler
- Sens de la variation dans la formule : vitesse algébrique en fonction de si on s'éloigne ou si on se rapproche, signe différent
- Adapter la formule : déplacement pas en ligne droite, aller retours de l'onde
- comprendre que le décalage en fréquence mesuré pour l'échographie Doppler est celui des pulses envoyés par la sonde.

**Biblio** :

- Hecht p.517
- 1001 questions
- Dunod Sanz PC/PC\*
- Côte
- LP4
- Bellier Elec (pour la manip)

**Activités liées possibles** :

- TP : Mesure d'une vitesse sur un banc Doppler [http://bupdoc.udppc.asso.fr/consultation/article-bup.php?ID\\_fiche=21990](http://bupdoc.udppc.asso.fr/consultation/article-bup.php?ID_fiche=21990)
- Activités documentaires sur échographie, sur radar doppler

## Introduction

Mise en évidence : <http://www.cochlea.org/entendre/la-sirene-d-ambulance-effet-doppler> Vidéo sur l'effet Doppler pour une ambulance.

Définition de l'effet Doppler, applications possibles.

## I. Présentation de l'effet Doppler

### A. Mise en évidence et explication qualitative

*Modification du front d'onde :*

<http://www.cochlea.org/entendre/la-sirene-d-ambulance-effet-doppler>

*hauteur change quand la sirène s'éloigne*

Histoire : trompettiste dans un train. Hypothèse : faible vitesse de ce qui se déplace devant la vitesse de propagation de l'onde

Animation géogebra : le mouvement de la source réduit l'écart entre les fronts d'ondes successifs avançant dans le sens du mouvement

### B. Formule du décalage Doppler

démonstration : Sanz PC/PC\* et 1001 questions, introduction du décalage Doppler

Bonus : généralisation au cas où les deux se déplacent et pas selon la même droite.

### C. Mise en pratique : mesure d'une vitesse par effet Doppler

manip quantitative, détection synchrone q.69 p.137 1001 questions

## II. Application de l'effet Doppler à l'échographie

### A. Etude du fonctionnement

Principe absorption, transmission et réflexion d'une onde quand elle rencontre un obstacle

q.52 p.118 1001 questions : utilité d'impulsions de courtes durées, utilisation des ultrasons, gel pour adapter impédance.

Leçon de Gabriel pour les détails. Formule et application numérique site Manon. Cf LP4 et Côte.

### B. Détermination de la vitesse de la circulation sanguine

## III. Applications de l'effet Doppler

### A. Mesure de vitesse : radars

cf LP4.

### B. Application à l'astronomie

cf LP4 et leçon de Thomas

#### 2.1 Elargissement spectral des raies

[https://stringfixer.com/fr/Doppler\\_broadening](https://stringfixer.com/fr/Doppler_broadening) et document site de Valentin p139