

# LP 4 - Effet Doppler

Lise Boutenègre, Raphael Rullan

| Élément imposé – Décalage Doppler, Doppler Fizeau, Radar, Echographie

## Introduction Pédagogique

| Niveau : Terminale Générale Spé

### Pré-requis

- Ondes progressives, notion de retard, front d'onde, vitesse de propagation, période/fréquence **1ère**
- Ondes progressives périodiques **Terminale**
- Mathématiques : développements limités **Terminale**

### 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.

| **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

# Introduction

On cherche une vidéo qui illustre bien ou manip explicative : <https://www.youtube.com/watch?v=rFgaTEOybI0>

Vous voyez, que le son que vous entendez n'est pas le même selon si le diapason s'éloigne ou pas de vous. L'effet que nous allons étudier aujourd'hui est un effet bien connu de la vie de tous les jours. En effet, vous le rencontrez en fait tous les jours : dans la rue quand vous vous baladez, lorsque vos parents se font flasher pour un excès de vitesse, ou encore lorsque vous étiez encore dans le ventre de vos parents lorsque celle-ci passait des échographies Doppler. C'est un phénomène qui est vraiment assez courant et c'est cela que nous allons essayer de comprendre aujourd'hui.

## 1 L'effet Doppler

### 1 Définition

**Définition – L'effet Doppler :** Une onde électromagnétique ou mécanique émise avec une fréquence  $f_E$  est perçue avec une fréquence  $f_R$  différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif

Il est intéressant de noter que cet effet concerne tous les types d'ondes à la fois mécaniques et électromagnétiques.

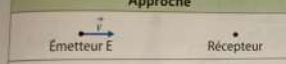
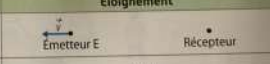
| Approche                                                                           | Éloignement                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| $f_R = f \times \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v} > f$                   | $f_R = f \times \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} + v} < f$                    |

Figure 1 – Caption

### 2 Démonstration de la formule dans le cas où l'observateur est fixe et l'émetteur mobile

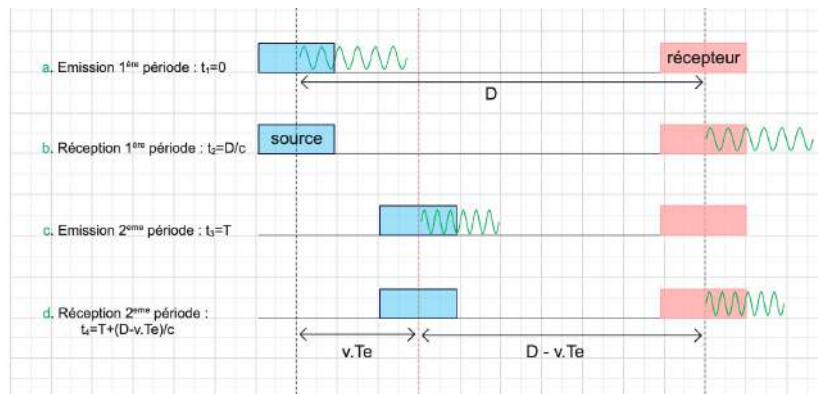


Figure 2 – Caption

La période du signal reçu s'écrit :

$$T_R = t_4 - t_2$$

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

Donc :

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

Donc :

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

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

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

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 :

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

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

$$\delta f = f_r - f_e = \frac{v}{c} \times f_e \tag{5}$$

### 3 Lien entre la fréquence et la vitesse

On peut donc à partir de cela remonter à la vitesse de la source. En effet, on a :

$$\frac{\delta f \times c}{f_e} = v \tag{6}$$

On réalise la manipulation page 543 du Fruchart avec le banc Doppler. On va montrer l'effet Doppler, mesurer le  $\delta f$  et remonter ensuite à la vitesse. On discute des incertitudes.

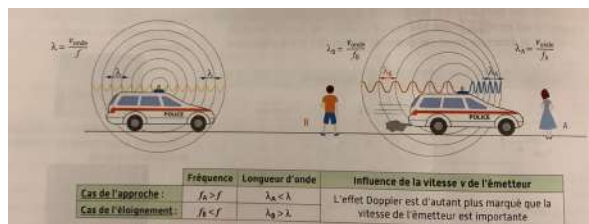


Figure 3 – Caption

L'effet Doppler constitue une méthode de mesure des vitesses

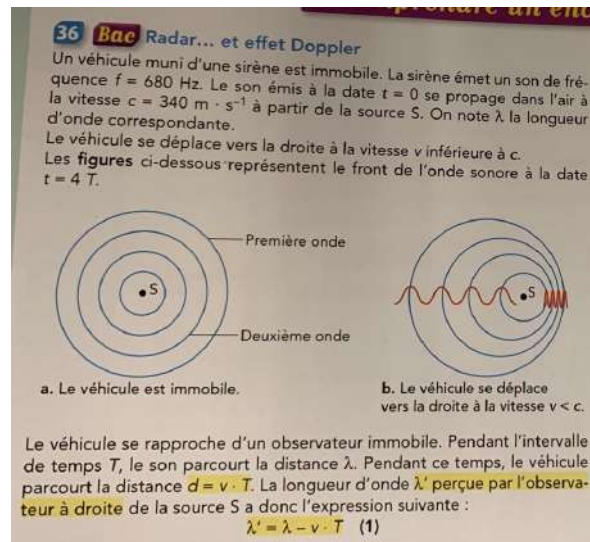


Figure 4 – Caption

## 2 Application dans la vie courante

- 1 Dans l'effet radar
- 2 Echographie
- 3 Dans l'astronomie

Comme vous l'avez vu en première et en seconde, le spectre émis par une étoile comporte des raies d'absorption et d'émission. En 1848 Fizeau postule que si une galaxie ou étoile s'éloigne de la Terre, on observe un décalage et qui permettrait de calculer la vitesse radiale, c'est à dire le rapprochement ou l'éloignement d'une étoile.

**Définition – Effet Doppler-Fizeau :** permet de calculer la valeur de la vitesse radiale d'une étoile en comparant les longueurs d'onde de son spectre d'absorption à celles d'un spectre de référence

- Si l'étoile s'éloigne de la Terre, les raies d'absorptions se décalent vers le rouge, c'est le red-shift.
  - Si l'étoile se rapproche de la Terre, les raies se décalent vers le bleu. C'est le blue-shift.
- Détermination de la formule.

**A ajouter dans le supérieur, effet Doppler relativiste.**

## 3 Questions et Remarques

Questions

Réponses

|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Au cours de cette leçon a on montre des sirènes : un élève crie nique la police que faire ?</i>                                                       | On explique à l'élève que ce n'est pas possible de faire dans une école. C'est profondément irrespectueux. On le vire ensuite de la classe et l'envoie vers le CPE                                                            |
| <i>Spectre d'émission en terminal ?</i>                                                                                                                  | C'est une notion qui est vue en seconde et qui est revue en première et terminale.                                                                                                                                            |
| <i>Rôle de la démonstration au lycée ?</i>                                                                                                               | Permet de bien comprendre et de retrouver. Ça montre qu'ils pourront la retrouver.                                                                                                                                            |
| <i>Comment ça marche un sonar ?</i>                                                                                                                      | On envoie une onde sonore qui se réfléchit sur une surface et qui avec l'effet Doppler aura une fréquence différente. On pourra déterminer une distance avec le temps.                                                        |
| <i>Utilisation de téléphones portables en cours ? C'est bien ? Est-ce que c'est une décision à maintenir si un élève n'a pas de téléphone portable ?</i> | Peut être intéressant de montrer qu'on peut faire de la physique avec un téléphone. Il suffit que deux élèves aient un téléphone. Peut être discriminant mais on évite que tout le monde ait besoin d'un téléphone high tech. |
| <i>Mesure de vitesse de rotation du soleil en approche doc ?</i>                                                                                         | Avec le décalage de raie, ils retrouvent la vitesse. Avec l'observation du spectre du soleil on déduit une vitesse avec un hémisphère red-shifté et blue-shifté.                                                              |
| <i>Physique des deux curseurs de la vidéo ?</i>                                                                                                          | Plus l'ambulance s'approche plus on entend fort parce qu'il y a propagation avec diffusion.                                                                                                                                   |
| <i>Pourquoi est-ce qu'on a une atténuation ?</i>                                                                                                         | Il y a une absorption. Conservation de l'énergie. <i>Du coup c'est quoi grave aigu ?</i>                                                                                                                                      |
| Ça dépend du ressenti à l'oreille.                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                               |
| <i>Différences entre une onde électromagnétique et mécanique ?</i>                                                                                       | L'onde mécanique se propage dans un milieu matériel.                                                                                                                                                                          |
| <i>Si la vitesse du mobile atteint ou dépasse celle du son ?</i>                                                                                         | On a un bang supersonique quand on passe le mur du son. Est-ce que ça peut se produire avec autre chose qu'avec des ondes sonores ? Non, on ne peut pas dépasser la vitesse de la lumière.                                    |
| <i>Expression et démonstration. On fixe R et E bouge ? Est-ce qu'on aurait pu changer ?</i>                                                              | On peut se placer dans le référentiel du récepteur et du coup même s'il se déplace à une vitesse constante ça ne change rien.                                                                                                 |
| <i>Comment on fait pour faire le DL sans utiliser le DL ?</i>                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                               |
| <i>Difficulté en fonction d'une disjonction de cas ?</i>                                                                                                 | Si l'émetteur se rapproche ou s'éloigne on aura un changement de signe mais il est facile de se tromper.                                                                                                                      |
| <i>Pourquoi la manip n'a pas marché ?</i>                                                                                                                | Echarpe devant l'émetteur.                                                                                                                                                                                                    |

*Est-ce que c'est la même formule pour les radars que pour les ondes sonores ? Particularité des ondes électromagnétiques*

*Qu'est-ce qui explique la tolérance des radars ? Est-ce qu'on peut régler un angle ?*

L'angle peut à priori être réglé. On utilise une résonance pour avoir une fréquence d'émission précise.

*Qu'est-ce qu'on mesure ? La vitesse du radar ?*

L'incertitude est dans la vitesse de la voiture. L'incertitude est dans la commande de la voiture. Ça dépend de la voiture.

*Pourquoi est-ce qu'Andromède s'approche ?*

Les deux se rapprochent, elles s'attirent. Tout dépend du référentiel.

*Pourquoi est-ce qu'elles s'attirent ?*

Attraction gravitationnelle.

*Pourquoi est-ce qu'on a l'impression que les étoiles s'éloignent toutes ?*

---

Très beau tableau, très bonne forme. On veut ça le jour J donc ne rien toucher sur la forme. Sur le fond : plan cohérent mais deux trois petits détails.

Animation avec la sirène, rappeler que aigu = hautes fréquences et grave = basses fréquences, perceptions. Ne pas hésiter à parler de Fizeau. Montrer que les applications se sont faites dans différents domaines. Redétailler rapidement les deux types d'ondes. Etre prêt à avoir des questions sur le bang supersonique. Avec des ondes électromagnétiques, effet Tcherenkov. Il faut des milieux très réfringents. On le trouve dans les centrales nucléaires. Notion de référentielle vu au lycée et approfondie en terminale. Ils sont sensés être capables de faire une conversion de référentiel galiléen. Attention, parler un peu de vitesse relative. Détailler le cas si on s'éloigne. On peut tracer la fonction pour leur montrer qu'on peut faire le DL. On trace à la calulette  $(1+x)$  et  $x$  et on voit que pour  $x$  petit ça se superpose. Ne pas hésiter à bidouiller sur la manip. Pour la lumière il faut utiliser la formule relativiste en introduisant le gamma. Il faut ajouter quelque chose quand le jury demande. L'univers est en expansion, il y a un éloignement global de tout par rapport à tout. Dans le cas d'Andromède, la gravité contrebalance. Pour la question valeur de la république : on exclue dans un premier temps l'élève et ensuite on explique. Pour Andromède on peut parler de distance. On peut utiliser PhyFox.