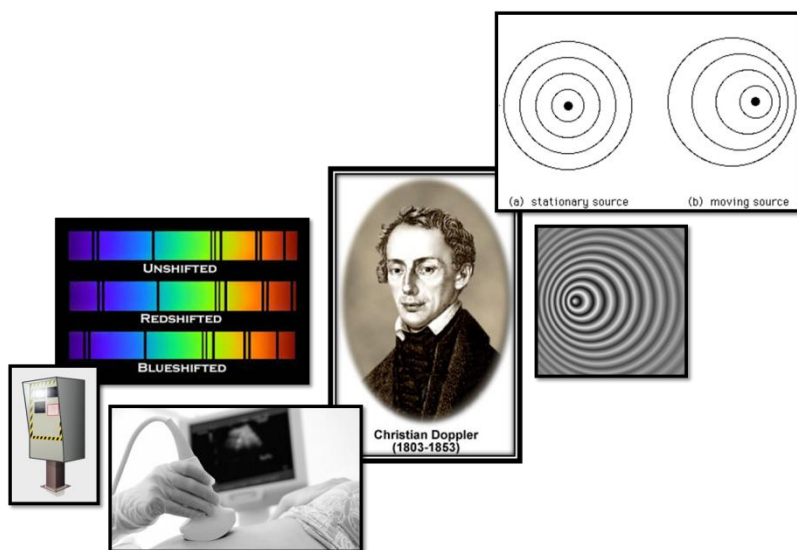


# Mémoire d'initiation à la recherche

ÉSPÉ Académie de Limoges  
Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation  
2nd degré

Mémoire soutenu le 25 mai 2018

## L'effet Doppler et ses applications dans les différents domaines de la physique



**Marion GENDRAUD**

Mémoire dirigé par  
**Patrick VAUDON**  
Professeur des Universités  
Université de Limoges



## Remerciements

---

Je remercie Monsieur VAUDON, Professeur des Universités à l'Université de Limoges, de m'avoir encadrée pendant mes recherches.

Merci également à Monsieur REYNAUD, Professeur des Universités à l'Université de Limoges, d'avoir contribué à l'amélioration de mon mémoire.

Merci aussi à Madame BOUSSAC, Enseignante agrégée au lycée Suzanne VALADON, de m'avoir accompagnée durant l'élaboration et la réalisation de l'activité pédagogique.

Merci à Isabelle MADRANGE de nous avoir aidés pendant ces deux années.

Merci également à ma famille de me soutenir dans mes choix et de m'avoir accompagnée jusqu'ici.

Enfin, merci à Antoine et Margaux sans qui ces deux années auraient été bien moins joyeuses qu'elles ne l'ont été.



# Table des matières

Introduction .....	8
1. Historique .....	9
1.1. Christian Doppler (1803-1853) .....	9
1.2. Effet Doppler .....	9
1.3. Hippolyte Fizeau (1819-1896) .....	9
1.4. Effet Doppler-Fizeau .....	10
2. L'effet Doppler .....	11
2.1. Généralités .....	11
2.1.1. Signal périodique .....	11
2.1.2. Les ondes progressives .....	11
2.2. Analyse physique du phénomène .....	12
2.3. Différents cas .....	13
2.3.1. Récepteur et source immobiles .....	13
2.3.2. Récepteur immobile et source s'approchant .....	13
2.3.3. Récepteur immobile et source s'éloignant .....	14
2.3.4. Source immobile et récepteur s'approchant .....	15
2.3.5. Récepteur et source en mouvement .....	15
2.3.5.1 Déplacement en sens inverse .....	15
2.3.5.2 Déplacement dans le même sens .....	16
2.4. Récapitulatif .....	17
3. Applications de l'effet Doppler .....	18
3.1. Radar fixe .....	18
3.2. Astronomie .....	19
3.2.1. Détermination du déplacement des étoiles .....	19
3.2.2. Détection des exo planètes .....	20
3.2.2.1 Exemple de la détection d'une exo planète .....	20
3.3. Echographie Doppler .....	21
3.3.1. Vélocimétrie des érythrocytes .....	21
3.3.2. Echographie .....	22
3.4. GPS .....	22
4. L'effet Doppler au lycée .....	24
4.1. Programme .....	24
4.2. Prérequis .....	24
4.2.1. Avant la Terminale S .....	24
4.2.2. Terminale S .....	24
5. Mise en œuvre pédagogique concrète .....	25
5.1. Introduction .....	25
5.2. Présentation de l'activité pédagogique .....	25
5.2.1. But de l'activité .....	25
5.2.2. Contexte de la séance .....	25
5.2.3. Les objectifs .....	25
5.2.4. Document élève .....	26
5.3. Déroulement de la séance .....	29

5.3.1. Introduction de l'activité expérimentale .....	29
5.3.2. Travail en autonomie .....	29
5.3.2.1 Lecture du sujet .....	29
5.3.2.2 Calcul de la vitesse par effet Doppler .....	29
5.3.2.3 Calcul de la vitesse par traitement de vidéo .....	29
5.3.2.4 Comparaison des deux méthodes .....	30
5.3.2.5 Rédaction du compte rendu .....	30
5.4. Difficultés .....	30
5.5. Evaluation par compétence .....	32
5.6. Rôle de chacun .....	34
5.6.1. L'enseignant .....	34
5.6.2. Les élèves .....	34
6. Déroulement réel .....	35
6.1. Evaluation par compétences .....	38
6.2. Après la séance .....	38
7. Améliorations .....	39
7.1. Gestion du temps .....	39
7.2. Utilisation des logiciels .....	39
7.3. Outil mathématique .....	39
7.4. Comparaison des méthodes .....	40
Conclusion .....	41
Références bibliographiques .....	42
Table des annexes .....	43

## Table des illustrations

---

Figure 1 : Exemple de signal périodique.....	11
Figure 2 : Illustration de la situation sans effet Doppler.....	13
Figure 3 : Schéma explicatif du cas « Récepteur immobile et source s'approchant ».....	14
Figure 4 : Illustration de l'effet Doppler lorsque la source s'approche du récepteur .....	14
Figure 5 : Illustration de l'effet Doppler lorsque la source s'éloigne du récepteur.....	14
Figure 6 : Schéma explicatif du cas « Source immobile et récepteur s'approchant ».....	15
Figure 7 : Schéma explicatif du cas « Récepteur et source en mouvement – Déplacement en sens inverse » .....	16
Figure 8 : Schéma explicatif du cas « Récepteur et source en mouvement – Déplacement dans le même sens » .....	16
Figure 9 : Schéma de l'angle entre un radar et une voiture .....	18
Figure 10 : Illustration du redshift et du blueshift [8].....	19
Figure 11 : Graphique montrant l'évolution de la vitesse radiale d'une étoile en fonction du temps .....	21
Figure 12 : Principe de la vélocimétrie Doppler ultrasonore[12] .....	21

## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Notations utilisées dans l'étude des différents cas .....	13
Tableau 2 : Tableau de valeurs de l'étude de la position d'une des raies du Sodium .....	20
Tableau 3 : Difficultés et aides.....	31
Tableau 4 : Compétences évaluées .....	32
Tableau 5 : Grille d'évaluation .....	33
Tableau 6 : Déroulement réel de la séance .....	38



## Introduction

---

L'effet Doppler a été découvert au XIX<sup>ème</sup> siècle par Christian Doppler. Il est utilisé encore aujourd'hui dans de nombreux domaines de la vie courante et de la recherche.

Dans ce mémoire, le sujet sera abordé sous deux angles différents. Du point de vue de la recherche, l'Effet Doppler sera étudié, de sa découverte jusqu'aux applications actuelles. Du point de vue de la pédagogie, la mise en œuvre concrète de ce phénomène avec des élèves du secondaire sera également détaillée, notamment à travers une séquence incluant des activités expérimentales.

Dans un premier temps, un bref historique de l'effet Doppler et de sa découverte sera présenté. Dans un deuxième temps, le phénomène physique sera détaillé. Puis des exemples illustrant différents cas où l'effet Doppler est rencontré seront décrits. Pour continuer, les principales applications de l'effet Doppler seront traitées. Enfin, la partie pédagogique sera exploitée à travers des exemples de manipulations réalisables dans le secondaire et également à travers des exemples de mise en œuvre pédagogique dans un établissement de l'enseignement secondaire.



# 1. Historique

---

## 1.1. Christian Doppler (1803-1853)

Christian Doppler était un mathématicien et physicien autrichien. Il fut professeur de mathématiques et de géométrie pratique à l'Ecole polytechnique de Prague. [1, p. 30;35]

Sa publication la plus célèbre est celle parue dans les *Comptes rendus de la Société Royale des sciences de Bohême*. Il s'agissait d'un texte d'une conférence dont le titre complet est *Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel ; essai d'une théorie générale qui incorpore le théorème de Bradley sur l'aberration comme partie intégrale*. Cet article met en avant la démonstration du phénomène observé par Doppler, ce qui sera appelé par la suite « l'effet Doppler » [2, p. 62].

Grâce à son travail sur les ondes lumineuses et sonores, Doppler remarqua que les perceptions étaient différentes si l'origine des ondulations et l'observateur étaient en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre. Ainsi, à l'aide de schémas, Doppler mit en équation le phénomène qu'il venait de mettre en avant.

Doppler chercha ensuite à expliquer la couleur des étoiles en fonction de leur vitesse d'éloignement ou de rapprochement mais aucune vérification expérimentale de la théorie qu'il énonça ne fut effectuée.

## 1.2. Effet Doppler

Il s'agit de la variation de la fréquence (longueur d'onde) d'une onde mécanique ou électromagnétique en fonction de la vitesse relative de la source et du récepteur.

## 1.3. Hippolyte Fizeau (1819-1896)

Hippolyte Fizeau était un physicien et astronome français.

Ses débuts scientifiques ont vu le jour grâce à son perfectionnement du daguerréotype : invention de Louis-Mandé Daguerre dans le domaine de la photographie. [1, p. 4] Suite à ces modifications, Fizeau devint célèbre et collabora avec Léon Foucault afin de travailler sur la lumière. Leur travail commun se concentra alors sur les sources de lumière puis sur les interférences.

Son premier travail en lien avec l'effet Doppler concernait les ondes sonores. Afin d'illustrer son travail, Fizeau utilisa une roue dentée. [1, p. 40] En effet, le son produit par la lame contre les crémaillères n'était pas perçu de la même façon suivant la position de l'observateur. Notons

que Fizeau réutilisera une roue dentée pour déterminer la vitesse de la lumière dans les années suivantes.

La différence avec Doppler est que Fizeau indique précisément le phénomène créé par le mouvement d'une source lumineuse, à savoir « *Considéré dans le spectre, cet effet se traduira par un déplacement des raies correspondant au changement de la longueur d'ondulation* »[1, p. 41]

#### **1.4. Effet Doppler-Fizeau**

L'effet Doppler-Fizeau est le plus généralement utilisé pour les ondes lumineuses. Dans ce cas, il traduit le déplacement des raies du spectre de la lumière reçue par un observateur d'une source lumineuse en mouvement relatif par rapport à celui-ci.

## 2. L'effet Doppler

Cette partie est consacrée à l'explication de l'effet Doppler. Pour cela, nous commencerons par des généralités sur les ondes puis l'effet Doppler sera détaillé à travers de nombreux exemples.

### 2.1. Généralités

#### 2.1.1. Signal périodique

Un signal périodique est un signal pour lequel est observée la répétition du même motif. Il est alors possible de déterminer la période  $T$  de ce signal qui correspond à la durée d'un motif élémentaire comme le montre la figure 1.

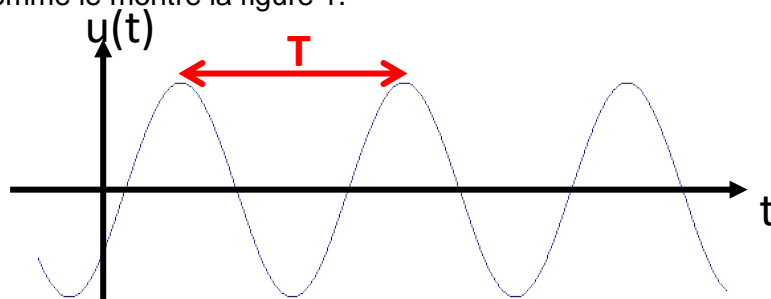


Figure 1 : Exemple de signal périodique

La fréquence est le nombre de périodes par unité de temps :  $f = \frac{1}{T}$  ( $f$  en Hz et  $T$  en s)

#### 2.1.2. Les ondes progressives

Une onde est un « phénomène physique décrit par une fonction dépendant de l'espace et du temps »[3, p. 7].

En effet, une onde est caractérisée par une double périodicité :

- La périodicité temporelle  $T$
- La périodicité spatiale  $\lambda$

Il existe deux types d'ondes :

- Les ondes électromagnétiques : ne nécessitent pas de milieu matériel pour se propager (exemple : la lumière)
- Les ondes mécaniques : nécessitent un milieu matériel pour se propager (exemple : le son)

Il est important de retenir qu'une onde transporte de l'énergie sans déplacement de matière.

La vitesse de propagation d'une onde est déterminée par la relation suivante :

$$v = \frac{d}{t}$$

Avec  $v$  : vitesse de l'onde en  $\text{m.s}^{-1}$   
 $d$  : distance parcourue par l'onde en m  
 $t$  : temps de propagation en s

## 2.2. Analyse physique du phénomène

Lorsque la source et le récepteur sont en mouvement relatif, le signal émis par la source et celui reçu par le récepteur n'ont pas la même fréquence. Le « décalage de fréquence » s'exprime alors[4, p. 60] :

$$\Delta f = f_R - f_S$$

Cela revient à dire que « la fréquence d'un signal périodique dépend du référentiel dans lequel il est observé »[3, p. 85]. En effet, la fréquence du signal émis par la source S ne varie pas dans le référentiel de celle-ci. En revanche, pour le récepteur R, lors de l'approche ou de l'éloignement de la source, la fréquence perçue sera différente à cause de l'effet Doppler.

Ce phénomène peut être expliqué de la façon suivante[3, p. 85] :

- La période détectée dans le référentiel lié à la source est appelée période propre et s'exprime de la façon suivante :  $T = t_{e2} - t_{e1}$  où  $t_{ei}$  est l'instant d'une émission du signal i.
- De même, la période détectée dans le référentiel lié au récepteur est appelée période apparente et s'exprime de la façon suivante :  $T_a = t_{r2} - t_{r1}$  où  $t_{ri}$  est l'instant de réception du signal i émis par la source.
- Comme la source est en mouvement par rapport au récepteur, la distance entre ces derniers varie. De ce fait, les temps de trajet entre la première émission et sa réception et la deuxième émission et sa réception sont différents :

$$(\Delta t_1 = t_{r1} - t_{e1}) \neq (\Delta t_2 = t_{r2} - t_{e2})$$

On en déduit donc :

$$T_a - T = \Delta t_2 - \Delta t_1 \text{ ou encore } T_a = T + \Delta t_2 - \Delta t_1$$

De ce fait, plusieurs cas peuvent être étudiés :

- Si la source et le récepteur sont immobiles :  $T_a = T$
- Si la source s'approche du récepteur immobile (ou si le récepteur s'approche de la source immobile) :  $T_a < T$
- Si la source s'éloigne du récepteur immobile (ou si le récepteur s'éloigne de la source immobile) :  $T_a > T$
- Si la source et le récepteur sont en mouvement

## 2.3. Différents cas

Pour cette partie, les notations suivantes seront utilisées :

Nom	Source	Fréquence propre	Vitesse de propagation de l'onde émise par la source	Vitesse de déplacement de la source	Récepteur	Fréquence apparente	Vitesse de déplacement du récepteur
Notation	S	f	v	$v_s$	R	$f_a$	$v_r$

Tableau 1 : Notations utilisées dans l'étude des différents cas

Pour ces différents cas, il sera considéré que  $v_s < v$  et  $v_r < v$ .

### 2.3.1. Récepteur et source immobiles

S émet un signal de fréquence f. Comme la source est immobile, les trains d'onde successifs arrivent avec la même périodicité (et donc la même fréquence) au niveau du récepteur immobile. Ainsi, il n'y a pas de décalage Doppler (figure 2) :  $f_a = f \leftrightarrow T_a = T$

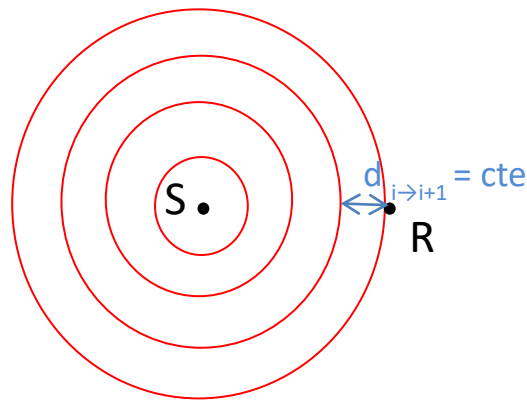


Figure 2 : Illustration de la situation sans effet Doppler

### 2.3.2. Récepteur immobile et source s'approchant

S émet un signal de fréquence f et de période T.

Le premier front d'onde a donc parcouru la distance  $d = v \times T$

Comme la source est en mouvement elle a parcouru, dans le même temps, la distance  $d_s = v_s \times T$  avant d'émettre le deuxième front d'onde.

Il est alors possible de calculer la distance séparant les deux fronts d'onde (figure 3) :

$$d_{1 \rightarrow 2} = d - d_s = T(v - v_s)$$

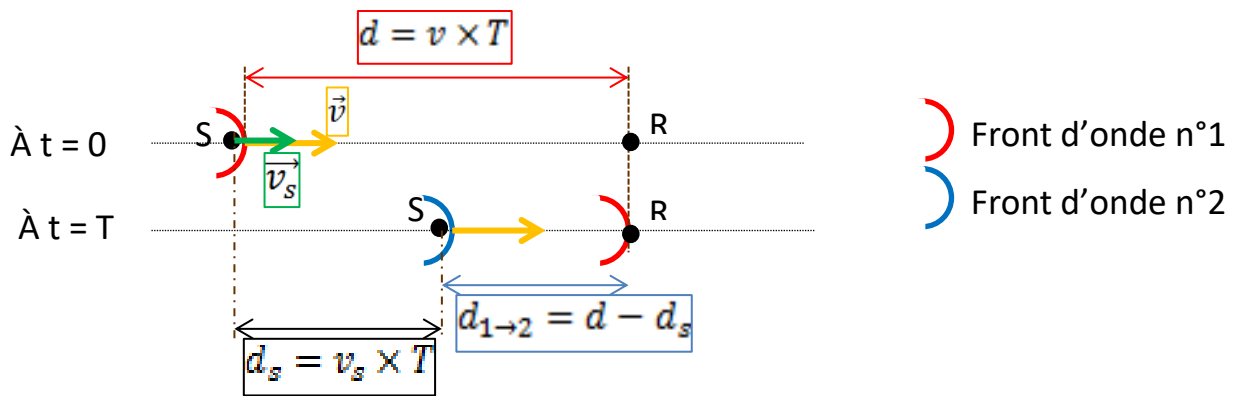


Figure 3 : Schéma explicatif du cas « Récepteur immobile et source s'approchant »

Or, chaque front d'onde ayant la même vitesse de propagation  $v$ , l'écart entre deux fronts d'onde successifs sera le même (figure 4). Ainsi, la période apparente s'exprime

$$T_a = \frac{d_{1 \rightarrow 2}}{v} = T \times \frac{(v - v_s)}{v}$$

De ce fait, la fréquence apparente est la suivante :

$$f_a = \frac{1}{T_a} = f \times \frac{v}{(v - v_s)}$$

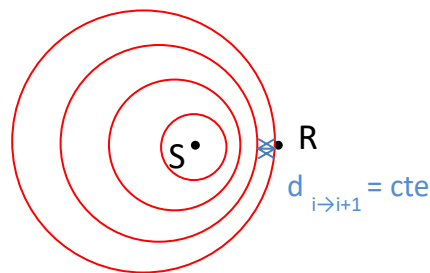


Figure 4 : Illustration de l'effet Doppler lorsque la source s'approche du récepteur

### 2.3.3. Récepteur immobile et source s'éloignant

Même raisonnement que précédemment, la seule différence est l'expression de  $d_{1 \rightarrow 2}$  (figure 5) :  $d_{1 \rightarrow 2} = d + d_s = T(v + v_s)$

La fréquence apparente est donc la suivante :

$$f_a = \frac{1}{T_a} = f \times \frac{v}{(v + v_s)}$$

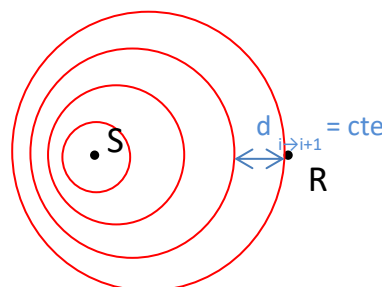


Figure 5 : Illustration de l'effet Doppler lorsque la source s'éloigne du récepteur

### 2.3.4. Source immobile et récepteur s'approchant

S émet un signal de fréquence  $f$ . Ainsi, pendant la période  $T$ , la distance parcourue par le premier front d'onde est  $d = v \times T$

L'instant  $t = T$  est pris comme origine des temps. L'origine spatiale est placée au niveau de la source et le récepteur à la distance  $d$ . A un instant  $t$  quelconque il est possible d'écrire (figure 6) :

La distance parcourue par le deuxième front d'onde est  $d_2(t) = v \times t$

La distance parcourue par le récepteur est  $d_r(t) = v \times T - v_r \times t$

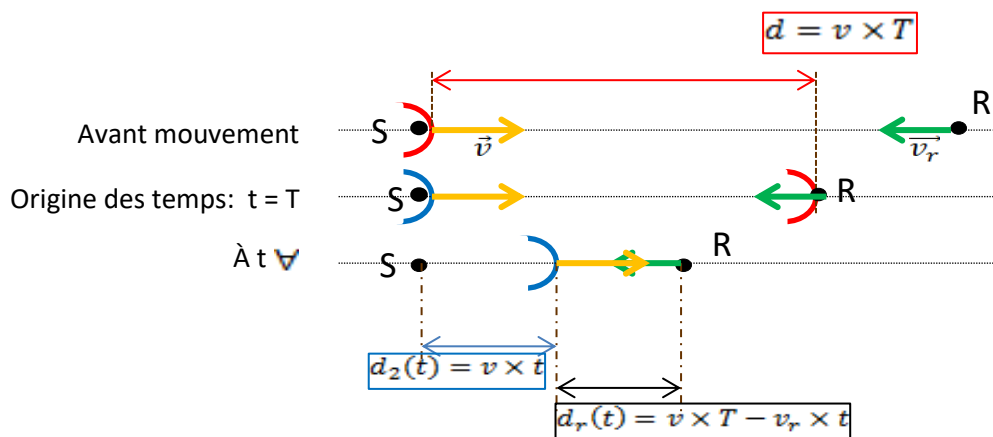


Figure 6 : Schéma explicatif du cas « Source immobile et récepteur s'approchant »

La période apparente est l'instant où le front d'onde et le récepteur vont se rencontrer. Ainsi :

$$v \times T_a = v \times T - v_r \times T_a \rightarrow T_a = T \times \frac{v}{v + v_r}$$

La fréquence apparente s'écrit donc :

$$f_a = f \times \frac{(v + v_r)}{v}$$

### 2.3.5. Récepteur et source en mouvement

#### 2.3.5.1 Déplacement en sens inverse

On a vu précédemment que lorsque la source s'approche du récepteur, la fréquence apparente s'exprimait de la façon suivante :

$$f_{a1} = \frac{1}{T_a} = f \times \frac{v}{(v - v_s)} \quad (1)$$

De même, lorsque le récepteur s'approche de la source, la fréquence apparente est :

$$f_{a2} = f \times \frac{(v + v_r)}{v} \quad (2)$$

Or, avant leur croisement, la source et le récepteur se rejoignent (figure 7).

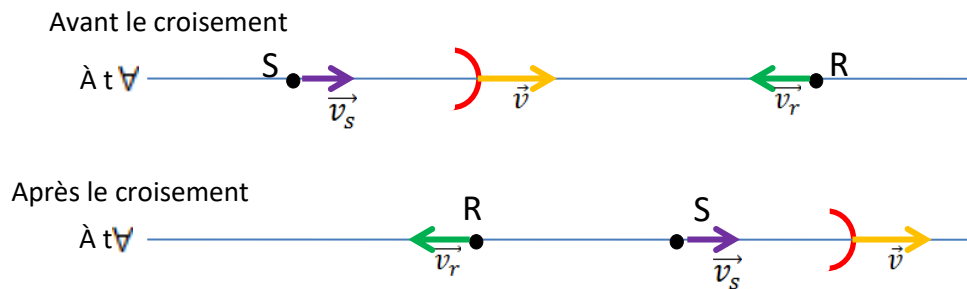


Figure 7 : Schéma explicatif du cas « Récepteur et source en mouvement – Déplacement en sens inverse »

La fréquence  $f$  de l'expression (2) n'est alors plus la fréquence de l'onde mais la fréquence apparente ( $f_{a1}$ ) définie précédemment. Ainsi, la fréquence apparente s'exprime de la façon suivante :

$$f_a = f_{a1} \times \frac{(v + v_r)}{v} = f \times \frac{v}{(v - v_s)} \times \frac{(v + v_r)}{v}$$

$$f_a = f \times \frac{(v + v_r)}{(v - v_s)}$$

De la même manière, on détermine que la fréquence apparente après leur croisement s'exprime (figure 7) :

$$f_a = f \times \frac{(v - v_r)}{(v + v_s)}$$

### 2.3.5.2 Déplacement dans le même sens

De même que précédemment, en remplaçant les fréquences par les fréquences apparentes dans l'expression de la fréquence reçue par le récepteur, on obtient :

Avant le dépassement (figure 8) : tout se passe comme si le récepteur s'éloignait de la source et la source se rapprochait du récepteur.

$$f_a = f \times \frac{(v - v_r)}{(v - v_s)}$$

Après le dépassement (figure 8) : Tout se passe comme si la source s'éloignait du récepteur et le récepteur s'approchait de la source.

$$f_a = f \times \frac{(v + v_r)}{(v + v_s)}$$

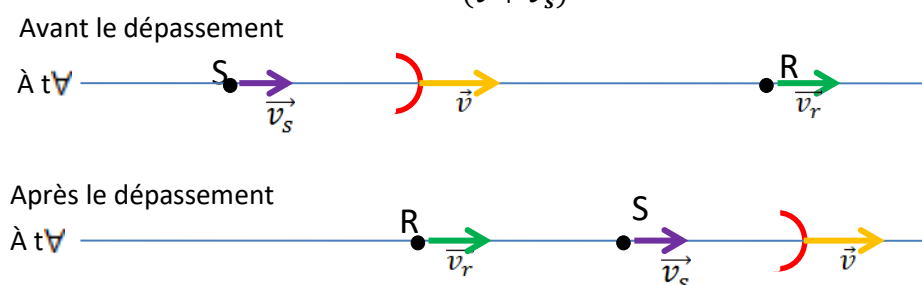


Figure 8 : Schéma explicatif du cas « Récepteur et source en mouvement – Déplacement dans le même sens »



## 2.4. Récapitulatif

Toutes les formules sont récapitulées dans le formulaire en annexe I.

### 3. Applications de l'effet Doppler

#### 3.1. Radar fixe

Pour un radar utilisant l'effet Doppler, la source immobile joue également le rôle de récepteur [5]. Le radar émet des micro-ondes avec une fréquence donnée  $f$ . Ce signal est alors réfléchi sur la voiture qui le renvoie avec une fréquence différente qui sera détectée par le radar. De ce fait, la vitesse de la voiture peut être déterminée.

Prenons le cas où la voiture s'approche du radar.

- Dans un premier temps, la source (radar) est immobile et le récepteur (voiture) est en mouvement. La fréquence apparente  $f_{a1}$  reçue par la voiture est donc la suivante :

$$f_{a1} = f_{\text{onde}} \times \frac{(v_{\text{onde}} + v_{\text{voiture}})}{v_{\text{onde}}}$$

- Dans un second temps, la source (voiture) est en mouvement et le récepteur (radar) est immobile. La réflexion de l'onde ne modifie pas sa fréquence. La fréquence apparente  $f_{a2}$  reçue par le radar est donc la suivante :

$$f_{a2} = f_{a1} \times \frac{v_{\text{onde}}}{(v_{\text{onde}} - v_{\text{voiture}})} = \frac{(v_{\text{onde}} + v_{\text{voiture}})}{(v_{\text{onde}} - v_{\text{voiture}})} \times f_{\text{onde}}$$

- Après développement de la formule et isolement de la variable  $v_{\text{voiture}}$  recherchée, la formule ci-dessous est obtenue :

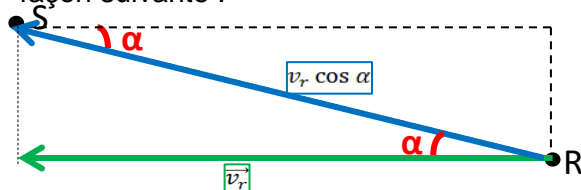
$$v_{\text{voiture}} = v_{\text{onde}} \times \frac{f_{a2} - f_{\text{onde}}}{f_{a2} + f_{\text{onde}}} = v_{\text{onde}} \times \frac{\Delta f}{f_{a2} + f_{\text{onde}}}$$

- Pour simplifier cette expression, l'approximation suivante sera faite : comme  $v_{\text{voiture}} < v_{\text{onde}}$  alors  $f_{a2} \approx f_{\text{onde}} \rightarrow f_{a2} + f_{\text{onde}} \approx 2f_{\text{onde}}$

Ainsi, la vitesse de la voiture s'exprime de la façon suivante :

$$v_{\text{voiture}} = v_{\text{onde}} \times \frac{\Delta f}{2f_{\text{onde}}}$$

Cependant, cette formule s'utilise lorsque le déplacement relatif de la source et du récepteur s'effectue sur un même axe. Dans le cas des radars, il existe un angle entre la source et le récepteur de  $25^\circ$  [6], [7] (figure 9). Ce n'est donc pas la vitesse de la voiture qui est mesurée avec cette formule mais une de ses composantes. Ainsi, il faut tenir compte de cet angle de la façon suivante :



$$v_v \cos \alpha = v_{\text{onde}} \times \frac{\Delta f}{2f_{\text{onde}}}$$

Ainsi, la vitesse de la voiture s'exprime :

$$v_{\text{voiture}} = \frac{v_{\text{onde}}}{\cos \alpha} \times \frac{\Delta f}{2f_{\text{onde}}}$$

Figure 9 : Schéma de l'angle entre un radar et une voiture

## 3.2. Astronomie

### 3.2.1. Détermination du déplacement des étoiles

L'effet Doppler est utilisé en astronomie pour mesurer la vitesse de déplacement des étoiles par rapport à la Terre. Ceci est possible grâce à l'observation du spectre d'absorption des éléments chimiques d'une étoile en mouvement par rapport à la Terre. En effet, il y a un décalage entre la longueur d'onde apparente absorbée qui est perçue par l'observateur et la longueur d'onde réellement absorbée par les espèces chimiques de l'étoile. Si l'étoile s'approche de la Terre, il y a un décalage des raies d'absorption vers les longueurs d'ondes plus basse : il s'agit du « blueshift ». Au contraire, si l'étoile s'éloigne de la Terre, le décalage s'effectue vers les longueurs d'onde plus grandes : il s'agit du « redshift » (figure 10).

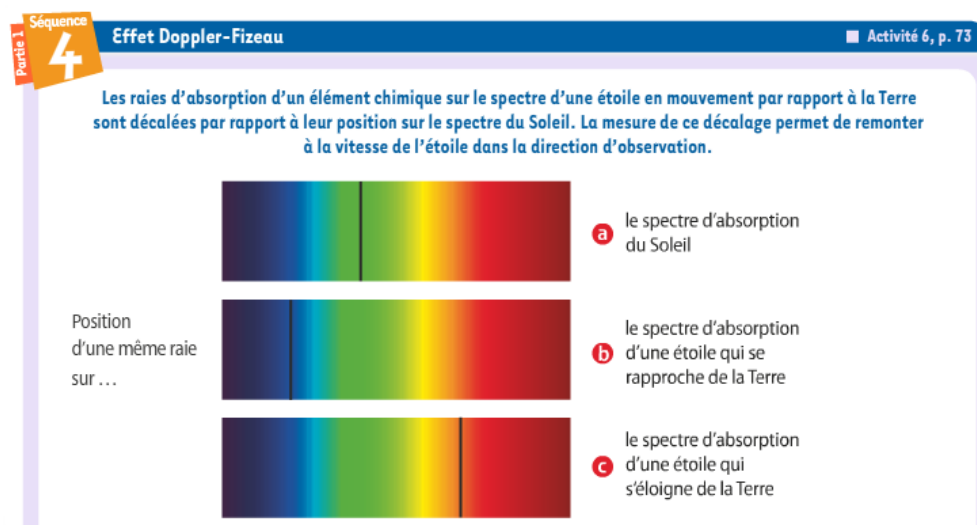


Figure 10 : Illustration du redshift et du blueshift [8]

Le décalage spectral peut être calculé à l'aide de la formule suivante[9] :

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Avec  $\lambda_0$  : longueur d'onde « normalement émise » et  $\lambda_r$  : longueur d'onde reçue par les instruments de mesure optique

Il est possible de lier la vitesse radiale (vitesse de l'étoile le long de la ligne de visée) et le décalage spectral, si la vitesse de l'étoile est petite devant la vitesse de la lumière, par la formule :  $z = \frac{v_r}{c}$

Ainsi, il est possible de déterminer la valeur de la vitesse radiale :

$$v_r = c \times \left( \frac{\lambda_r - \lambda_0}{\lambda_0} \right)$$

Il est important de noter que cette formule ne donne pas la valeur de la vitesse du corps céleste mais uniquement sa composante suivant la ligne de visée.

Si la vitesse de l'étoile n'est pas négligeable devant la vitesse de la lumière, il faut utiliser la formule relativiste suivante :

$$\lambda_r = \lambda_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v_r}{c}}{1 - \frac{v_r}{c}}}$$

$$\text{D'où } v_r = \frac{\lambda_r^2 - \lambda_0^2}{\left(\frac{\lambda_0^2}{c} + \frac{\lambda_r^2}{c}\right)}$$

Par extension, l'effet Doppler-Fizeau est la preuve de l'expansion de l'Univers. En effet, les travaux de Shapley et de Hubble sur les nébuleuses ont montré un décalage du spectre vers le rouge, ainsi les nébuleuses s'éloignaient de la Terre. En 1929, « *Hubble découvrit que la vitesse d'éloignement augmentait proportionnellement à la distance de la galaxie* »[10, p. 22].

### 3.2.2. Détection des exo planètes

L'effet Doppler est également utilisé en astronomie pour la détection des exo planètes. En effet, la révolution d'une planète autour de son étoile produit un léger déplacement de cette dernière. De même que précédemment, l'observation du spectre de l'étoile permet de calculer la vitesse radiale de l'étoile. L'évolution de la vitesse radiale en fonction du temps décrit alors une sinusoïde. Cette sinusoïde est la preuve de la présence d'une exo planète.

#### 3.2.2.1 Exemple de la détection d'une exo planète

L'étude de la position d'une des raies du Sodium ( $\lambda_{\text{Na1}} = 5889,950 \text{ \AA}$ ) d'une étoile (à l'aide du logiciel SalsaJ) donne les résultats suivants[11] :

Spectre	Date t (en jour)	$\lambda_1$ (en $\text{\AA}$ )	V (en km/s)
1	0	5890,411	23,48
2	0.974505	5890,496	27,81
3	1.969681	5890,491	27,56
4	2.944838	5890,305	18,08
5	3.970746	5890,014	3,26
6	4.886585	5889,815	-6,88
7	5.924292	5889,642	-15,69
8	6.963536	5889,638	-15,89
9	7.978645	5889,764	-9,47
10	8.973648	5890,056	5,40
11	9.997550	5890,318	18,74

Tableau 2 : Tableau de valeurs de l'étude de la position d'une des raies du Sodium

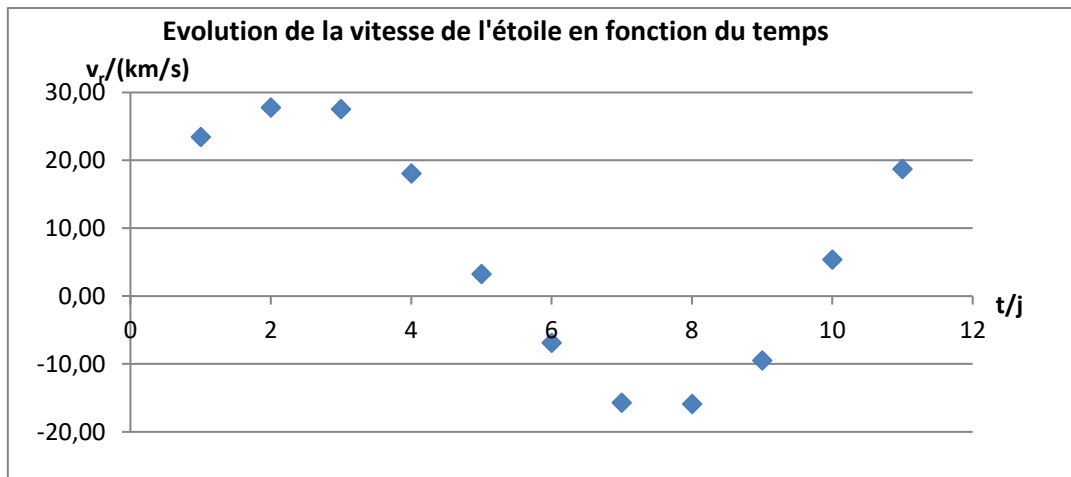


Figure 11 : Graphique montrant l'évolution de la vitesse radiale d'une étoile en fonction du temps

Le graphique de la figure 10 montre que l'évolution de la vitesse de l'étoile en fonction du temps est périodique, la présence d'une exoplanète est confirmée. Il serait possible avec un logiciel comme Regressi de modéliser cette courbe de façon à obtenir une équation du type :  $v_r = v_0 + v_1 \cos(\omega t + \varphi)$ . Ceci permettrait de vérifier qu'il s'agit bien d'un signal périodique.

### 3.3. Echographie Doppler

#### 3.3.1. Vélocimétrie des érythrocytes

L'effet Doppler est utilisé en médecine pour mesurer la vitesse et la direction des globules rouges. Cette méthode met en œuvre les ultrasons. Le schéma de principe est celui de la figure 12.

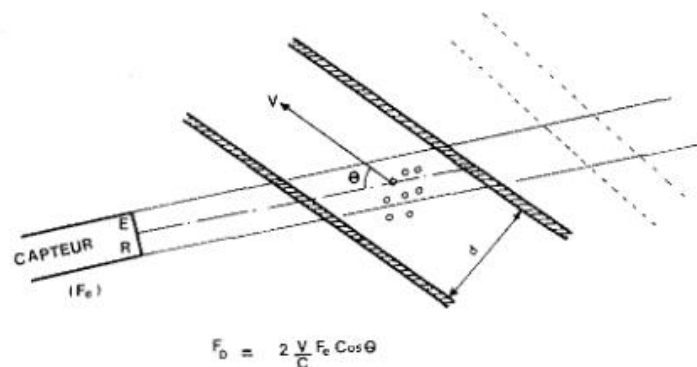


Figure 12 : Principe de la vélocimétrie Doppler ultrasonore[12]

Le signe de la différence entre la fréquence de la source (émise par l'appareillage) et celle reçue permet de déterminer le sens d'écoulement du sang. La fréquence reçue par l'appareillage est quant à elle proportionnelle à la vitesse des globules et permet donc de déterminer cette dernière.

L'avantage de cette méthode est que l'utilisation des ultrasons ne crée pas d'interférence avec l'écoulement sanguin. De plus, les vaisseaux ne sont pas endommagés.

Il existe deux grands types d'appareillage pour l'échographie Doppler :

- Les vélocimètres à émission continue : ces appareils présentent deux inconvénients : ils sont non directionnels et manquent de précision à grande distance
- Les appareils à émission pulsée : « *les signaux Doppler apparaissent par battement entre les fréquences émises et reçues* »[12]. Après une chaîne de traitement, le signal Doppler est envoyé sur un haut parleur de façon à effectuer une analyse spectrale. Ces appareils présentent également des défauts de précision mais sont utilisés pour leur simplicité.

### 3.3.2. Echographie

Sur le même principe, les ultrasons sont utilisés lors des échographies pour « cartographier » (sonder) le corps humain. En effet, les organes vont réfléchir les ondes qui seront alors reçues par l'échographe. Ainsi, l'échographe va analyser les temps de retour du son de façon à reproduire sur l'ordinateur l'image des organes[13].

### 3.4. GPS

Le GPS (Global Positioning System) est composé de 24 satellites en orbite autour de la Terre. Ce système utilise la triangulation afin de déterminer la localisation d'un véhicule par exemple.

La position d'un véhicule est déterminée de la façon suivante [14]:

- Un satellite envoie une onde électromagnétique
- Le récepteur reçoit l'onde. Grâce au temps mis par cette onde pour atteindre le récepteur, ce dernier calcule sa position : il se trouve sur une sphère centrée sur le satellite. Il s'agit de la pseudo-distance.

Il est donc nécessaire de mutualiser les informations de plusieurs satellites (entre 4 et 12) de façon à obtenir la position la plus exacte possible. En effet, plus le nombre de GPS est important et plus l'intersection de leurs sphères donnera une indication exacte de la position.

Cependant, les mesures peuvent être faussées, notamment lors de la traversée de l'atmosphère. Par exemple, l'ionosphère contient du plasma et peut affecter la propagation des ondes électromagnétiques. En effet, comme l'ionisation est due aux UV du Soleil, les propriétés de cette couche varient fortement en fonction du moment de la journée, de l'année ou encore en fonction de l'activité solaire. Il se crée alors une différence d'indice de réfraction, ce qui dévie la trajectoire de l'onde. Dans certaines conditions de pression, de température et d'humidité, les ondes Ultra Haute Fréquence sont guidées, on parle de « duct »[15]. Les ondes utilisées par le GPS ayant des fréquences de plus de 1GHZ, elles sont sensibles à ces perturbations.

Afin d'améliorer la position donnée par le GPS, il existe plusieurs corrections :

- Le GPS différentiel : la position du récepteur est mesurée par rapport à un récepteur fixe dont la position est connue
- L'utilisation des mesures Doppler

En effet, le décalage en fréquence dû à l'Effet Doppler est utilisé pour diminuer les aberrations des GPS. Il permet de diminuer l'incertitude sur la position du véhicule par exemple. Le récepteur capte une onde dont la fréquence est décalée par rapport à celle de l'onde émise par le satellite. Ce temps de décalage est analysé et la distance entre le satellite et le véhicule peut alors être déterminée.

Il est possible de déterminer la position d'un objet fixe uniquement avec l'effet Doppler. Cependant, dès lors qu'il s'agit de déterminer la position et la vitesse d'un objet par le système GPS, il est nécessaire d'utiliser la mesure de pseudo-distance et l'effet Doppler[16, p. 41].

Il est important de mentionner que le premier système de navigation par satellite utilisait uniquement l'effet Doppler. En effet, ce système inventé par les américains vers 1957-1958, appelé Transit, a été mis au point suite à la détermination précise de la position de Spoutnik grâce à l'effet Doppler. Ainsi, il a été déduit qu'il était alors possible de déterminer la position d'un récepteur en connaissant la position des satellites[17]. Ce système mis en service en 1967 manquait cependant de rapidité et de précision et ne permettait pas de couvrir toute la surface de la Terre[18, p. 10]. Il a donc été arrêté en 1996.



## 4. L'effet Doppler au lycée

---

### 4.1. Programme

L'effet Doppler fait partie du thème « Observer : ondes et matière » et plus particulièrement du sous thème « Propriétés des ondes ».[19]

Les compétences exigibles associées sont les suivantes :

- Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.
- 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

### 4.2. Prérequis

#### 4.2.1. Avant la Terminale S

D'après le programme de la classe de seconde[20] :

- Signaux périodiques : période, fréquence
- Ondes sonores, ondes électromagnétiques. Domaines de fréquences.
- Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air.

#### 4.2.2. Terminale S

D'après le programme de la classe de Terminale, les élèves auront vu [19] :

- Caractéristiques des ondes
- Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard.
- Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales.
- Ondes sonores et ultrasonores.
- Analyse spectrale.



## 5. Mise en œuvre pédagogique concrète

---

### 5.1. Introduction

L'activité proposée ici est une activité expérimentale dont le but est de mesurer une vitesse. Les prérequis nécessaires sont ceux cités dans la partie 4.2 de ce rapport.

Les compétences exigibles du programme de terminale scientifique qui sont mises en avant sont donc les suivantes :

- Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.
- Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.

### 5.2. Présentation de l'activité pédagogique

#### 5.2.1. But de l'activité

Lors de cette activité expérimentale, les élèves détermineront la vitesse d'un émetteur ultrasonore par deux méthodes :

- La première utilisant l'effet Doppler
- La deuxième utilisant le traitement vidéo

#### 5.2.2. Contexte de la séance

La séance aura lieu à la rentrée des vacances de la Toussaint. Elle sera proposée à une classe de 24 élèves de Terminale Scientifique lors de leur séance en demi-groupe.

Cette activité durera 2 heures durant lesquelles les élèves travailleront par binôme en autonomie. Dans cette classe, l'enseignante a l'habitude de les laisser choisir leur binôme car ce sont des élèves peu dissipés. J'ai donc choisi d'en faire autant.

L'effet Doppler a déjà été traité en cours par leur enseignante de physique chimie. En effet, une activité documentaire a été faite pour comprendre le phénomène puis une mise en équation a été réalisée. L'effet Doppler n'est donc pas inconnu des élèves et les formules ont déjà été abordées. Ceci permet d'orienter la séance comme une séance d'application d'une part mais d'autre part comme une séance de révision sur les ondes en général.

#### 5.2.3. Les objectifs

Les objectifs disciplinaires de cette activité sont les suivants :

- Les compétences exigibles du programme de terminale S citées dans la partie 5.1
- L'utilisation de logiciels spécifiques comme Scope In Box, AviMeca, Régressi
- Le rappel des caractéristiques des ondes : fréquence, période, vitesse de propagation

- L'identification des sources d'erreur
- La préparation aux ECE (Evaluation des Compétences Expérimentales)
- La révision de notions passées sur les ondes et sur l'utilisation des logiciels

Les objectifs transdisciplinaires sont les suivants :

- Utilisation d'un logiciel de traitement de texte
- Communication : orthographe, soin, syntaxe, présentation...
- Travailler l'autonomie, l'organisation et le travail en groupe

#### 5.2.4. Document élève

Le document distribué aux élèves en début de séance est le suivant :

## Effet Doppler

Le but de cette activité expérimentale est de déterminer une vitesse à l'aide de deux méthodes dont une utilisant l'effet Doppler.

### I. Documents

#### Document 1 : L'effet Doppler

L'Effet Doppler a été découvert au XIXème siècle par Christian DOPPLER, mathématicien et physicien autrichien.

L'effet Doppler correspond à un décalage entre la fréquence émise par une source S et celle reçue par un récepteur R lorsque R et S sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Ce décalage est noté  $\Delta f$  et s'exprime de la façon suivante :

$$\Delta f = \frac{f_s \times v}{v_{\text{onde}}}$$

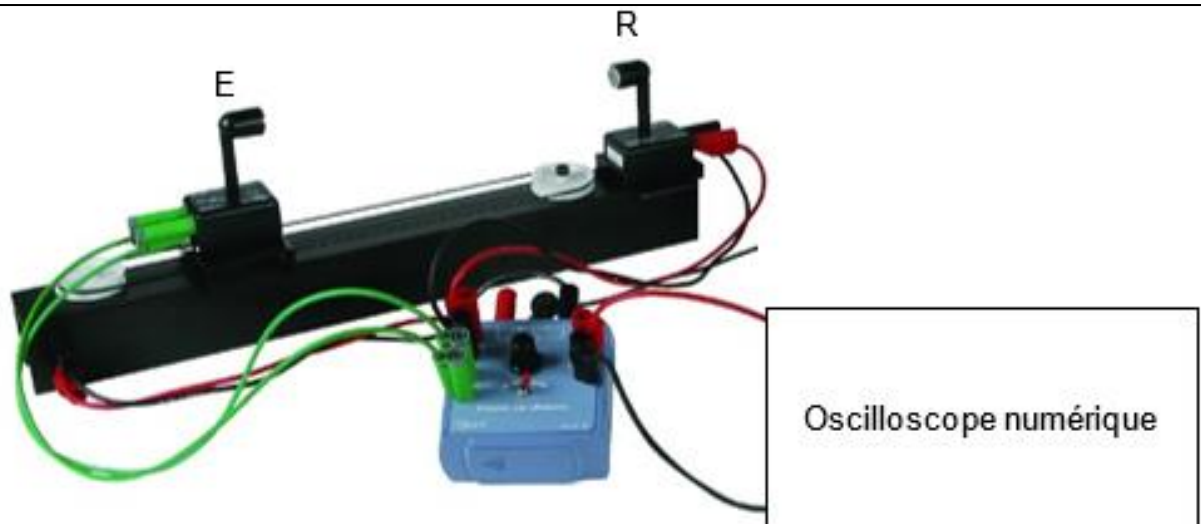
- $f_s$  : fréquence du signal émis
- $v$  : vitesse de l'émetteur (ou du récepteur)
- $v_{\text{onde}}$  : vitesse de l'onde

L'effet Doppler peut donc être utilisé pour déterminer la vitesse  $v$ .

#### Document 2 : Montage

Le montage utilisé est composé d'un émetteur ultrasonore qui se déplace sur un banc à vitesse constante. Le récepteur est placé sur la partie immobile. La fréquence de l'émetteur est fixe et vaut 40,9 kHz.

Le montage électrique est le suivant :



Le boîtier permet de déduire un signal de fréquence égale à  $\Delta f$ .  $\Delta f$ , appelée décalage Doppler, correspond à la différence entre la fréquence émise et la fréquence reçue.

## II. Matériel

- Le pack effet Doppler contenant :
  - 1 émetteur et 1 récepteur ultrasonores
  - 1 banc avec une partie fixe et une partie mobile
  - 1 boîtier « Doppler par ultrasons »
  - 8 fils
- 1 oscilloscope numérique
- 1 ordinateur avec
  - Scope In Box
  - AviMéca
  - Régressi
  - Traitement de texte

## III. Travail à réaliser

### 1. Communication sur le travail réalisé et les résultats obtenus

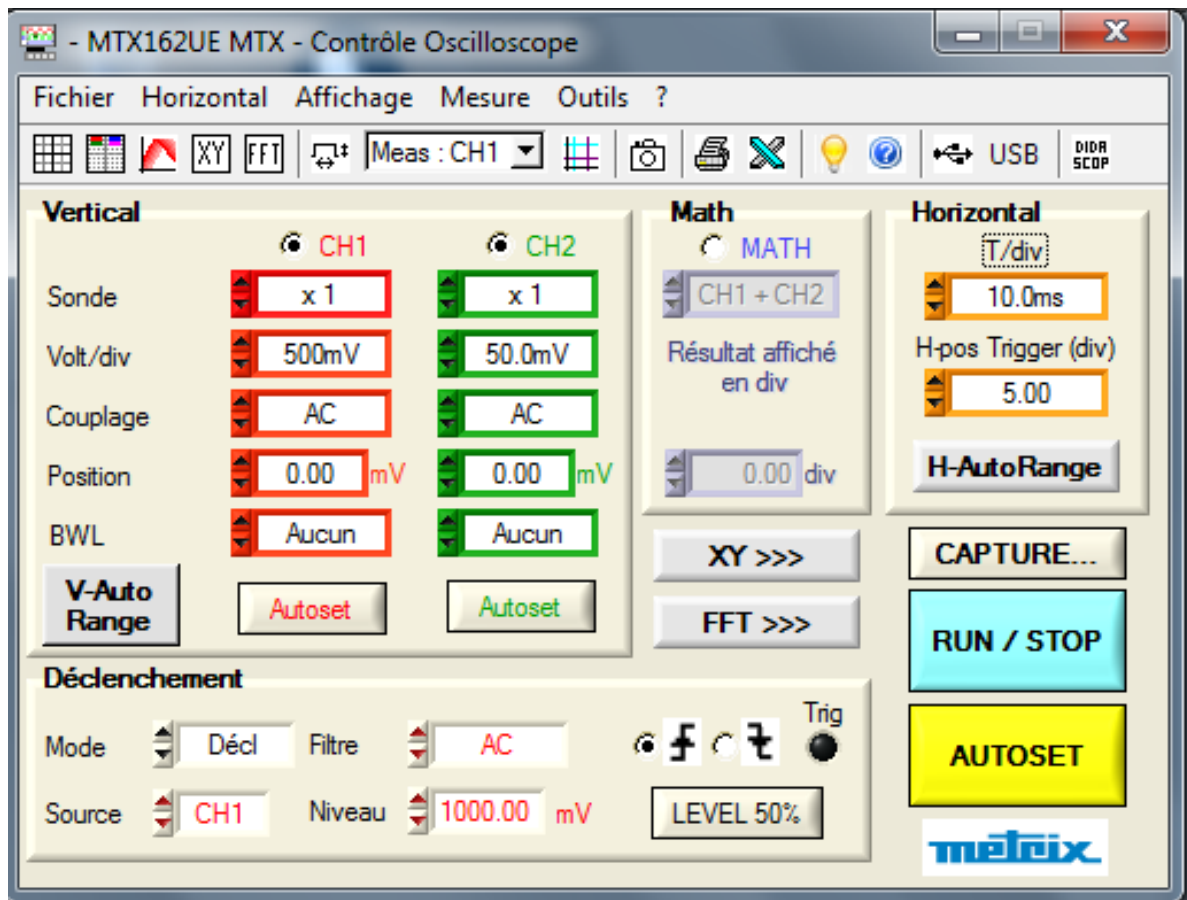
Lors de cette activité expérimentale, vous rédigerez un compte rendu contenant :

- Le titre de l'activité expérimentale
- L'objectif
- Les expériences
- Les résultats et leur exploitation.
- Conclusion

### 2. Calcul de la vitesse par effet Doppler

- Réaliser le montage électrique **APPEL PROFESSEUR**
- A l'aide du logiciel Scope In Box, visualiser le signal obtenu (noté  $\Delta f$  sur le boîtier).

Réglages de l'oscilloscope :



- Déterminer sa fréquence en expliquant la méthode employée.
- Calculer alors la vitesse de l'émetteur en expliquant votre démarche

### 3. Calcul de la vitesse par traitement de vidéo

Calculer la vitesse de l'émetteur par le traitement de la vidéo. Pour cela, détailler le protocole à suivre.

*N.B. La vidéo de l'émetteur en mouvement est à votre disposition sur le réseau.*

### 4. Comparaison des deux méthodes

Recopier et compléter le tableau suivant :

	Méthode 1	Méthode 2
Nom de la méthode		
Valeur trouvée de la vitesse		
Source(s) d'erreur		

### **5.3. Déroulement de la séance**

#### **5.3.1. Introduction de l'activité expérimentale**

Cette partie devrait durer 5 minutes. Il est important que les élèves sachent pourquoi ce n'est pas leur enseignante habituelle devant eux. Même si cette dernière les aura déjà informés de ce changement, il est important que je prenne un temps pour me présenter, leur expliquer le but de l'activité et le déroulement de la séance.

#### **5.3.2. Travail en autonomie**

Le temps qu'il reste de la séance sera consacré au travail en autonomie des élèves. Cependant, le chronométrage de la séance est important et permet d'aider les élèves à gérer leur temps, toujours dans l'esprit de l'entraînement aux ECE.

##### **5.3.2.1 Lecture du sujet**

Cette partie devrait durer 10 minutes. Cette lecture permet aux élèves de s'approprier le sujet et les documents, de relever les informations importantes et de soulever les éventuelles difficultés. Cela leur permet également de prendre connaissance du travail attendu et donc d'organiser leur séance.

##### **5.3.2.2 Calcul de la vitesse par effet Doppler**

Cette partie devrait durer 50 minutes. Il s'agit d'une manipulation que les élèves n'auront jamais réalisée. De ce fait, un temps conséquent doit être consacré à cette partie. Il est donc important que les élèves organisent leur travail pour avoir le temps de réaliser ce qui est demandé, à savoir :

- Réaliser un montage électrique
- Déterminer une fréquence à l'aide d'un oscilloscope numérique
- Calculer la vitesse par effet Doppler

Cette partie demande aux élèves de l'autonomie et une certaine rigueur dans leur travail. Les difficultés qui peuvent être engendrées sont présentées dans la suite de ce rapport.

##### **5.3.2.3 Calcul de la vitesse par traitement de vidéo**

Cette partie devrait durer 40 minutes. Comme il s'agit d'une manipulation que les élèves ont déjà réalisée, le temps consacré est moins important que pour l'effet Doppler. Cette partie de l'activité expérimentale va permettre aux élèves de réviser cette manipulation, du traitement de la vidéo jusqu'à la détermination de la vitesse. Ainsi, l'utilisation des logiciels sera également revue.

### 5.3.2.4 Comparaison des deux méthodes

Cette partie devrait durer 15 minutes. Même si aucun calcul d'incertitude n'est demandé ici, les élèves doivent trouver les potentielles sources d'erreur pour chaque méthode. A cette période de l'année, la réflexion sur les incertitudes et les sources d'erreur n'est pas encore habituelle pour tous les élèves. De ce fait, ils peuvent avoir besoin d'un certain temps pour remplir le tableau. Néanmoins, ces compétences sont mises en avant tout au long de l'année afin qu'ils soient prêts pour le baccalauréat. Ainsi, cette partie de l'activité expérimentale est un entraînement et permet d'habituer les élèves à ce genre de réflexion.

### 5.3.2.5 Rédaction du compte rendu

La rédaction du compte rendu se fera au fur et à mesure de la séance. Ceci demande une organisation du travail et une répartition des tâches dans les binômes. En effet comme il est demandé un compte rendu par groupe, il est nécessaire que les élèves alternent manipulation et rédaction et optimisent au mieux leur temps pour pouvoir manipuler et rédiger.

## 5.4. Difficultés

Les difficultés potentielles sont recensées dans le tableau suivant. Elles sont accompagnées des aides que l'enseignant peut apporter au fur et à mesure de l'activité.

Difficultés	Aides
Comprendre l'effet Doppler	1. Rappel de l'activité documentaire effectuée en cours Exemples précis de la vie (ambulance, lancer de balle à intervalles réguliers...) 2. Compréhension du document 1 ? Application aux signaux sinusoïdaux
Déterminer la fréquence à partir de l'oscillogramme	1. Rappel des TP passés où cette manipulation a été effectuée 2. Rappel transformée de Fourier 3. Montrer comment effectuer la transformée de Fourier
Comprendre que la fréquence déterminée = décalage en fréquence (décalage Doppler $\Delta f$ )	1. Compréhension des documents 2. Explication du décalage en fréquence
Exprimer $v$ à partir de la formule de $\Delta f$	1. Formule à utiliser ? 2. Comment isoler $v$ ? 3. Donner la formule de $v$
Calculer $v$ : application de la formule	1. Identifier les grandeurs de la formule 2. Quelles sont les données des documents ? Quelle est la vitesse des ultrasons dans l'air ? 3. Grandeur(s) données
Rédiger le protocole pour déterminer la vitesse à partir du traitement de la vidéo	1. Rappel des TP passés où cette manipulation a été effectuée 2. Formule vitesse ?

	Quelles données nous faut-il ? Comment les obtenir ? 3. Protocole donné
Réaliser le traitement de la vidéo	1. Rappel des TP passés où cette manipulation a été effectuée 2. Fiche méthode sur AviMéca (voir annexe II) 3. Montrer
Déterminer la vitesse à partir du traitement des valeurs	1. Formule vitesse ? Quelles données nous faut-il ? 2. Quel graphique peut-on tracer ? 3. Méthode donnée
Déterminer les sources d'erreur	1. Rappeler pour chaque méthode les étapes effectuées et réfléchir aux sources d'erreur

Tableau 3 : Difficultés et aides

Pour chaque difficulté, la première aide sert à faire réfléchir les élèves sans leur donner d'élément de réponse. En effet, ces questions permettent de rappeler d'une part les notions vues précédemment et d'autre part de rappeler le contexte dans lequel elles ont été vues. En effet, il est difficile pour un élève d'utiliser des notions ou des méthodes dans un autre contexte que celui dans lequel il les a découvertes. Ainsi, faire le lien entre les activités expérimentales permet de décontextualiser une notion pour pouvoir l'appliquer dès que nécessaire.

Le deuxième niveau d'aide apporte aux élèves des éléments sans leur donner la réponse. Il est important que ce soit eux qui construisent leur raisonnement afin de surmonter leur difficulté.

Enfin, le troisième niveau d'aide est là pour débloquer les élèves si la difficulté est trop grande.

Cette graduation permet à tous les élèves de mener leur activité expérimentale jusqu'au bout. Néanmoins, ceci rentrera en compte dans l'évaluation par compétence.



## 5.5. Evaluation par compétence

L'activité expérimentale sera évaluée par compétences comme le montre le tableau suivant :

	A	B	C	D
<b>S'APP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de l'expression de <math>\Delta f</math></li> <li>Fréquence de l'émetteur extraite du doc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de l'expression de <math>\Delta f</math> avec aide pertinente</li> <li>Fréquence de l'émetteur extraite du doc avec aide pertinente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de l'expression de <math>\Delta f</math> avec beaucoup d'aide</li> <li>Fréquence de l'émetteur extraite du doc avec beaucoup d'aide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de l'expression de <math>\Delta f</math> donnée par l'enseignant</li> <li>Fréquence de l'émetteur donnée</li> </ul>
<b>ANA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expression de <math>v</math> trouvée</li> <li>Modélisation Régressi</li> <li>Fréquence <math>\Delta f</math> déterminée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expression de <math>v</math> trouvée avec aide pertinente</li> <li>Modélisation Régressi avec aide pertinente</li> <li>Fréquence <math>\Delta f</math> déterminée avec aide pertinente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expression de <math>v</math> trouvée avec beaucoup d'aide</li> <li>Modélisation Régressi avec beaucoup d'aide</li> <li>Fréquence <math>\Delta f</math> déterminée avec beaucoup d'aide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expression de <math>v</math> donnée</li> <li>Modélisation Régressi donnée</li> <li>Fréquence <math>\Delta f</math> donnée</li> </ul>
<b>REA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montage réalisé correctement</li> <li>Oscilloscope numérique maîtrisé</li> <li>AviMeca maîtrisé</li> <li>Pointage vidéo correctement réalisé</li> <li>Utilisation de Regressi pour le graphique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montage réalisé avec aide pertinente</li> <li>Oscilloscope numérique utilisé avec aide pertinente</li> <li>AviMeca utilisé avec aide pertinente</li> <li>Pointage vidéo réalisé avec aide pertinente et/ou réalisé avec un point aberrant</li> <li>Utilisation de Regressi pour le graphique avec aide pertinente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montage réalisé avec beaucoup d'aide</li> <li>Oscilloscope numérique utilisé avec beaucoup d'aide</li> <li>AviMeca utilisé avec beaucoup d'aide</li> <li>Pointage vidéo réalisé avec beaucoup d'aide et/ou réalisé avec deux points aberrants</li> <li>Utilisation de Regressi pour le graphique avec beaucoup d'aide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montage non réalisé</li> <li>Oscilloscope numérique non maîtrisé</li> <li>AviMeca non maîtrisé</li> <li>Pointage vidéo non réalisé ou réalisé avec au moins trois points aberrants</li> <li>Graphique donné</li> </ul>
<b>VAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse critique des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse critique des résultats avec aide pertinente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse critique des résultats avec beaucoup d'aide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse critique des résultats non effectuée</li> </ul>
<b>COM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vocabulaire scientifique</li> <li>Compte rendu structuré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vocabulaire pas toujours adapté</li> <li>Il manque une partie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vocabulaire scientifique peu présent</li> <li>Il manque deux parties</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vocabulaire scientifique absent</li> <li>Il manque plus de deux parties</li> </ul>
<b>RCO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vitesse des ultrasons dans l'air</li> <li>Méthode du calcul de la vitesse par traitement de la vidéo</li> </ul>	/	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vitesse des ultrasons dans l'air donnée</li> <li>Méthode du calcul de la vitesse par traitement de la vidéo donnée</li> </ul>

Tableau 4 : Compétences évaluées



Pour les ECE, seules 3 compétences sont évaluées. Ici, comme il s'agit d'un entraînement, les 6 compétences citées précédemment vont être évaluées. De ce fait, les élèves pourront se rendre compte de leur niveau concernant chaque compétence et ainsi pouvoir travailler certains points pour progresser. De plus, le groupe de terminales S que j'aurai lors de cette séance n'est composé que de 12 élèves (donc 6 binômes). Il est par conséquent plus facile d'évaluer l'ensemble des binômes sur les six compétences. Pour cela, une grille d'évaluation a été réalisée :

		Binômes					
		1	2	3	4	5	6
S'APP	Expression de $\Delta f$						
	Fréquence de l'émetteur extraite du doc						
ANA	Expression de $v$ trouvée						
	Modélisation Régressi						
	Fréquence $\Delta f$ déterminée						
REA	Montage réalisé correctement						
	Oscilloscope numérique maîtrisé						
	AviMéca maîtrisé						
	Pointage vidéo correctement réalisé						
	Utilisation de Regressi pour le graphique						
VAL	Analyse critique des résultats						
COM	Vocabulaire scientifique						
	Compte rendu structuré						
RCO	Vitesse des ultrasons dans l'air						
	Méthode du calcul de la vitesse par traitement de la vidéo						

Tableau 5 : Grille d'évaluation

Le remplissage de cette grille s'effectue de la façon suivante :

- Certaines compétences sont évaluées lors de la séance, grâce au passage dans les groupes
- Les autres compétences sont évaluées lors de la correction du compte rendu
- Pour chaque critère, il sera écrit si une aide a été apportée ou non. De ce fait, un niveau de maîtrise pourra être attribué.

## **5.6. Rôle de chacun**

### **5.6.1. L'enseignant**

Mon rôle ici est, dans un premier temps de présenter, l'activité aux élèves. Ensuite, je passerai dans les binômes de façon à évaluer par compétence chaque groupe. Je serai également présente pour l'accompagnement et l'aide des élèves. Enfin, je les guiderai quant au timing à respecter en leur rappelant régulièrement l'heure et quelle partie ils devraient être en train de traiter.

### **5.6.2. Les élèves**

Leur rôle est de réaliser l'activité expérimentale avec le plus d'autonomie possible. L'intérêt ici est qu'ils s'entraînent pour les épreuves de fin d'année. Néanmoins, comme ils travaillent par deux, ils ne seront pas dans les conditions des ECE. Mais ce travail en groupe permet aussi d'avoir une certaine entraide dans les binômes. Il est donc attendu qu'ils effectuent un réel travail de groupe avec de la communication et du partage.

## 6. Déroulement réel

Pour cette séance avec le premier groupe (vendredi après-midi), j'avais confié le sujet à Mme BOUSSAC afin qu'elle réalise l'activité expérimentale car il était impossible pour moi d'assurer cette séance. L'analyse a posteriori portera donc sur la séance expérimentale que j'ai réalisée avec le groupe 2.

Partie		Durée	Déroulement
Introduction		5 minutes	Cette partie s'est déroulée comme prévu.
Travail en autonomie	Lecture du sujet	5 minutes	Les élèves ont mis moins de temps que prévu à lire le sujet, ils se sont rapidement partagé le travail et se sont mis en activité sans perdre de temps.
	Calcul de la vitesse par effet Doppler	Au moins 1h10 suivant le binôme	<p>Les élèves ont, pour la plupart, inversé les fils dans le montage électrique. Une fois le montage vérifié et corrigé, les élèves ont assez facilement visualisé le signal de sortie à l'oscilloscope virtuel. Cependant, la détermination de la fréquence a pris beaucoup de temps car les élèves ne se sont pas rappelés de la méthode à utiliser. Ils ont donc par exemple réalisé des captures d'écran du signal dans le but de les traiter avec Régressi ou encore ont mesuré les périodes à l'écran à l'aide d'un double décimètre. Avant notre intervention, aucun groupe n'a utilisé les curseurs de l'oscilloscope pour déterminer T ou n'a pensé à faire une transformée de Fourier pour déterminer f directement. Nous sommes donc passées dans chaque binôme pour leur donner des conseils sur la méthode à utiliser. L'idée ici n'était pas de leur donner la réponse mais de leur poser des questions afin de leur faire trouver une méthode, la plus exacte possible. Nous leur avons donc posé par exemple les questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quelle est la définition d'une période ?</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Où pouvons-nous la trouver sur l'oscillogramme ?</li> <li>- Quels outils pouvons-nous utiliser pour la déterminer ?</li> <li>- Comment améliorer la précision de notre mesure ?</li> <li>- Comment relier la période et la fréquence ?</li> </ul> <p>Grâce à ces questions, chaque binôme a pu déterminer la période du signal puis la fréquence. Cependant, cette partie a engendré une perte de temps conséquente. De plus, deux autres difficultés se sont présentées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comme je l'avais présenté dans les difficultés éventuelles de la séance, les élèves ont eu du mal à comprendre que la fréquence du signal observé était <math>\Delta f</math></li> <li>- Le calcul de la fréquence à partir de la période a également posé problème pour certains binômes qui ont confondu les millisecondes et les mètres par seconde ou qui n'ont pas pensé à convertir les millisecondes en secondes.</li> </ul> <p>Enfin, concernant le calcul de la vitesse de l'émetteur, les binômes ont dans l'ensemble utilisé la formule donnée dans le document. Néanmoins, certains élèves ont eu des difficultés à isoler <math>v</math> de la formule. Une confusion entre la vitesse de l'émetteur et la vitesse de l'onde a eu lieu et la plupart des élèves avait oublié la vitesse d'une onde sonore dans l'air. Pour l'application numérique, des problèmes d'unités ont ici encore émergé : la conversion des kHz en Hz a souvent été omise.</p> <p>Pour conclure sur cette partie, celle-ci a pris beaucoup plus de temps que prévu. Les difficultés principales rencontrées par les élèves sont des problèmes d'unités, de conversion et de méthode (déterminer une fréquence, isoler une variable d'une équation mathématique).</p>
--	--	--	---

	Calcul de la vitesse par traitement de vidéo	Le reste de la séance	<p>Très peu de binômes ont eu le temps de réaliser entièrement cette partie. Cependant, l'utilisation du logiciel AviMéca pour traiter la vidéo a été une évidence pour l'ensemble des binômes. Concernant la réalisation du pointage, des difficultés se sont présentées pour l'étalonnage (utilisation de l'étalon de la vidéo, conversion des cm en m) ainsi que pour l'origine (choisie assez aléatoirement mais très peu ont pensé à choisir la première position de l'émetteur étudié). Suite à cela, le pointage a été assez rigoureusement effectué. Une fois le pointage terminé, les élèves ont eu des difficultés à transférer les données vers Régressi afin de les exploiter. En effet, très peu avaient leur fiche méthode du logiciel AviMéca (alors que cette fiche est indispensable pour les ECE). De plus, l'exploitation des données à l'aide de Régressi n'a pas été évidente pour tous les binômes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le choix des grandeurs en abscisses et en ordonnées pour déterminer la vitesse a suscité de nombreuses interrogations</li> <li>- Suite à leur choix d'origine, certains binômes ont obtenu une droite affine au lieu d'une droite linéaire. De ce fait, ils ont eu du mal à déterminer la vitesse : est-ce le paramètre a ou le paramètre b de la modélisation qui correspond à la vitesse ?</li> <li>- L'ensemble des binômes a eu des difficultés pour associer la valeur de la vitesse de l'émetteur à la valeur de la pente de la droite obtenue</li> </ul> <p>Cette partie a donc été également chronophage, principalement à cause des difficultés d'utilisation des logiciels et d'exploitation des données.</p>
	Comparaison des deux méthodes	/	<p>La majorité des groupes n'a pas eu le temps d'effectuer la comparaison entre les deux méthodes. Pour les binômes qui l'ont réalisée, les informations n'étaient pas complètes car ils ont tout de même manqué de temps. Ainsi, le nom de la méthode et la valeur trouvée ont été</p>

			correctement rapportées dans le tableau mais les sources d'erreur se sont limitées à « l'expérimentateur » sans plus de précisions.
	Rédaction du compte-rendu	Tout au long de la séance	La rédaction du compte-rendu s'est faite tout au long de la séance. Les élèves se sont partagé le travail : quand l'un préparait la manipulation, l'autre rédigeait. De ce fait, les temps de manipulation et de rédaction ont été équilibrés pour chaque élève. De plus, cette organisation a permis une communication entre les membres des binômes et a évité de perdre du temps sur la séance. (Voir compte-rendu en annexe III)

Tableau 6 : Déroulement réel de la séance

## 6.1. Evaluation par compétences

L'évaluation s'est faite à l'aide de la grille de compétences. Comme il s'agit d'une classe où les groupes ne sont composés que de 6 binômes, il est assez évident d'évaluer les élèves au fur et à mesure de la séance. Nous avons ensuite affecté des coefficients à chaque compétence. Nous avons choisi d'affecter les coefficients les plus importants aux compétences « Analyser » et « Réaliser » car ce sont celles-ci qui sont le plus sollicitées lors de cette activité expérimentale. Pour que cela soit équitable, les deux groupes de la classe ont été évalués à l'aide de cette grille et une homogénéisation de la notation a été effectuée entre Mme BOUSSAC et moi.

## 6.2. Après la séance

A la suite de la séance expérimentale, un corrigé succinct (voir annexe IV) a été distribué aux élèves avec le détail de leur évaluation par compétences. Lors de sa séance en classe entière, Mme BOUSSAC a mis en avant les difficultés communes et a rappelé les notions indispensables pour le baccalauréat (détermination de la fréquence, unités...).

## 7. Améliorations

---

### 7.1. Gestion du temps

Le point principal à améliorer ici est la gestion du temps. Pour cela, deux modifications peuvent être mises en place :

- Rappeler plus régulièrement le temps d'épreuve qu'il reste : cela peut permettre aux élèves d'adapter leur rythme et leur organisation du travail de façon à terminer l'activité dans les temps
- Cadrer davantage le timing : déterminer, pour chaque question, une durée au bout de laquelle la réponse est donnée aux élèves. En effet, après leur avoir laissé un temps de réflexion suffisant et leur avoir apporté les aides nécessaires, il est important de ne pas laisser les élèves face à une difficulté. Ainsi, leur expliquer la réponse leur permet d'avancer dans l'activité de façon à la finir entièrement.

Encore une fois l'idée ici était d'entraîner les élèves aux ECE. La gestion du temps est très importante dans ce genre d'épreuve et il est essentiel que les élèves aient pris l'habitude d'organiser leur travail pour être dans les temps. En effet, cela leur évitera un stress supplémentaire qui pourrait les déconcentrer dans leur manipulation.

### 7.2. Utilisation des logiciels

Un autre point à améliorer pour cette séance est l'utilisation des logiciels par les élèves. En effet, comme expliqué dans le tableau de la partie 6, très peu d'élèves avaient leurs fiches méthodes. La solution serait ici de déposer ces documents sur l'espace de partage du réseau ou sur l'Espace Numérique de Travail du lycée de façon à permettre leur lecture par tous les binômes. Il est important ici de préciser que ces fiches sont indispensables pour les ECE.

L'utilisation des logiciels et les automatismes associés s'acquerront avec l'entraînement tout au long de l'année. L'important est de guider les élèves à l'aide de fiches méthodes et de conseils lors des séances.

### 7.3. Outil mathématique

Une aide sur la construction d'un graphique peut être distribuée de façon à aider les élèves sur la détermination des abscisses et ordonnées. De plus, un rappel sur les fonctions affines et linéaires est important pour que les élèves identifient la pente et déterminent la vitesse de l'émetteur. Pour cela, plusieurs possibilités s'offrent à nous :

- Un rappel en amont de la séance peut être effectué à l'aide d'une fiche méthode et/ou d'un exemple concret en exercice

- Un travail avec l'enseignant de mathématiques peut également être mis en place en cas de difficultés majeures

#### **7.4. Comparaison des méthodes**

Avec les améliorations citées précédemment, les élèves auraient le temps de comparer les deux méthodes utilisées lors de cette activité expérimentale. Il pourrait être utile à ce moment de les aider à avoir un esprit critique sur leurs manipulations et résultats. En effet, comme il s'agit d'une des premières activités expérimentales faisant appel à ce genre de raisonnement, il pourrait être intéressant d'avoir un moment de discussion en classe entière après avoir laissé un temps de réflexion aux élèves. Ceci permettrait de mettre en commun les idées de chaque binôme et ainsi faire ressortir les notions principales. Même s'il s'agit d'un entraînement aux ECE, cette discussion commune peut être bénéfique pour les activités expérimentales à venir.





## Conclusion

---

L'effet Doppler traduit un décalage en fréquence entre le signal émis par la source et celui reçu par le récepteur si ces derniers sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre.

Ce phénomène physique est rencontré dans de nombreux domaines de la vie courante. En effet, il est utilisé pour déterminer la vitesse de déplacement d'un objet (voiture pour le radar ou globules rouges pour l'échographie) ou pour déterminer la distance entre la source et le récepteur (distance voiture/satellite pour le GPS et distance organe/récepteur pour l'échographie).

Il est également fortement utilisé dans le domaine de la recherche, notamment en astronomie. En effet, l'effet Doppler, appelé dans ce cas effet Doppler-Fizeau, est utilisé pour la détection des exo planètes et la détermination des vitesses des étoiles.

Le programme de Terminale Scientifique met en avant ces deux applications, à savoir la détermination d'une vitesse en exploitant l'effet Doppler et l'investigation en astrophysique en utilisant des spectres d'absorption.

L'activité pédagogique mise en place dans une classe de Terminale Scientifique vise à déterminer la vitesse d'un émetteur ultrasonore à l'aide de l'effet Doppler puis à l'aide du traitement d'une vidéo. L'avantage de cette activité est qu'elle regroupe de nombreuses notions sur les ondes. De plus, elle permet l'utilisation de logiciels que les élèves ont déjà rencontrés comme ScopeInBox ou AviMéca et Regressi. Ainsi, il s'agit, en plus d'une séance d'application de l'Effet Doppler, d'une séance de révision pour les élèves.

Avec les améliorations citées dans ce rapport, cette séance peut être un premier entraînement efficace aux ECE, tout en aidant les élèves à comprendre et utiliser l'Effet Doppler.

## Références bibliographiques

---

- [1] James Lequeux, *Hippolyte Fizeau : Physicien de la lumière*. EDP Sciences, 2014.
- [2] P. Schuster, *Moving the Stars: Christian Doppler, His Life, His Works and Principle, and the World After*. Living Edition, 2005.
- [3] Amaury Mouchet, *Apprendre les ondes-Cours et exercices corrigés*. 2000.
- [4] Valérie Prévost et Bernard Richoux, *Physique Chimie Terminale S*, Nathan. 2012.
- [5] Kézako, *Comment fonctionnent les radars de contrôle de vitesse ?* 2016.
- [6] *Arrêté du 7 janvier 1991 relatif à la construction, au contrôle et aux modalités techniques d'utilisation des cinémomètres de contrôle routier*. 1991.
- [7] *Arrêté du 4 juin 2009 relatif aux cinémomètres de contrôle routier*. 2009.
- [8] Les éditions Bordas, « Partie 1 Séquence 4 Activité 6 - Effet Doppler-Fizeau | E.S.P.A.C.E Lycée ». [En ligne]. Disponible sur: [http://espacelycee.editions-bordas.fr/eleve/anim/partie\\_1\\_sequence\\_4\\_activite\\_6\\_effet\\_doppler\\_fizeau](http://espacelycee.editions-bordas.fr/eleve/anim/partie_1_sequence_4_activite_6_effet_doppler_fizeau). [Consulté le: 12-nov-2016].
- [9] « Effet Doppler | Astronomie ». [En ligne]. Disponible sur: <http://effet-doppler.awardspace.com/domaine/astronomie.html>. [Consulté le: 05-févr-2017].
- [10] James Lequeux, *L'Univers dévoilé*. 2005.
- [11] « *exo\_francais\_simplifie - exo\_francais\_simplifie\_v2.pdf* ». .
- [12] P. Peronneau, « Vélodimétrie Doppler ultrasonore Applications à l'expérimentation et au diagnostic », *Houille Blanche*, n° 3-4, p. 157-164, mars 1978.
- [13] *Comment fonctionne une échographie ? – Kézako*. .
- [14] « *cours-GPS-2006 - cours-GPS.pdf* ». .
- [15] H. Baudu et F. Le Bourhis, « La propagation des ondes ». [En ligne]. Disponible sur: <http://dept.navigation.enmm.free.fr/propagation.swf>. [Consulté le: 20-févr-2017].
- [16] « *rapport\_master\_Marinela\_Serbanescu\_Sept\_08.pdf* ». .
- [17] E. Universalis, « SYSTÈMES DE NAVIGATION », *Encyclopædia Universalis*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/systemes-de-navigation/>. [Consulté le: 20-févr-2017].
- [18] « Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor - document ». .
- [19] Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, *MENE1119475A -Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011*. 2011.
- [20] Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, *MENE1007262A-Bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010*. 2010.

## Table des annexes

---

Annexe I. Récapitulatif des formules de l'effet Doppler .....	44
Annexe II. Fiches à disposition des élèves sur les logiciels utilisés .....	45
Annexe III. Exemple de copie d'élèves.....	47
Annexe IV. Corrigé de l'activité expérimentale .....	48

## Annexe I. Récapitulatif des formules de l'effet Doppler

Source et récepteur immobiles

$$f_a = f \leftrightarrow T_a = T$$

Récepteur immobile et source s'approchant

$$f_a = f \times \frac{v}{(v - v_s)}$$

Récepteur immobile et source s'éloignant

$$f_a = f \times \frac{v}{(v + v_s)}$$

Source immobile et récepteur s'approchant

$$f_a = f \times \frac{(v + v_r)}{v}$$

Source immobile et récepteur s'éloignant

$$f_a = f \times \frac{(v - v_r)}{v}$$

Source et récepteur se déplaçant dans le même sens

- Avant le croisement :  $f_a = f \times \frac{(v+v_r)}{(v-v_s)}$
- Après le croisement :  $f_a = f \times \frac{(v-v_r)}{(v+v_s)}$

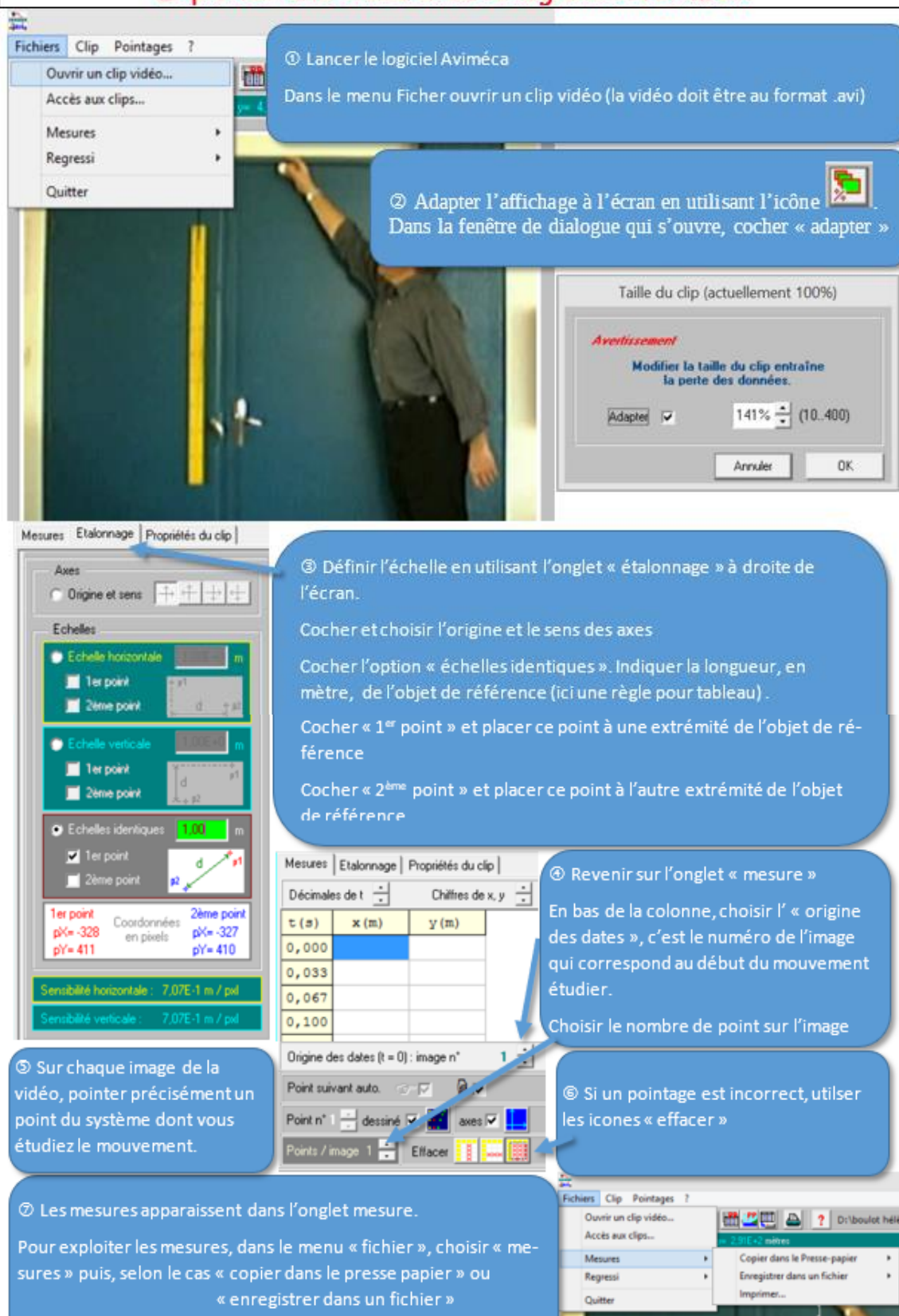
Source et récepteur se déplaçant dans le sens inverse

- Avant le dépassement :  $f_a = f \times \frac{(v-v_r)}{(v-v_s)}$
- Après le dépassement :  $f_a = f \times \frac{(v+v_r)}{(v+v_s)}$


## Annexe II. Fiches à disposition des élèves sur les logiciels utilisés

[notice](#)

### Exploiter une vidéo avec le logiciel AVIMECA



① Lancer le logiciel Aviméca  
Dans le menu Fichier ouvrir un clip vidéo (la vidéo doit être au format .avi)

② Adapter l'affichage à l'écran en utilisant l'icône   
Dans la fenêtre de dialogue qui s'ouvre, cocher « adapter »

③ Définir l'échelle en utilisant l'onglet « étalonnage » à droite de l'écran.  
Cocher et choisir l'origine et le sens des axes  
Cocher l'option « échelles identiques ». Indiquer la longueur, en mètre, de l'objet de référence (ici une règle pour tableau).  
Cocher « 1<sup>er</sup> point » et placer ce point à une extrémité de l'objet de référence  
Cocher « 2<sup>ème</sup> point » et placer ce point à l'autre extrémité de l'objet de référence

④ Revenir sur l'onglet « mesure »  
En bas de la colonne, choisir l'« origine des dates », c'est le numéro de l'image qui correspond au début du mouvement étudié.  
Choisir le nombre de point sur l'image

⑤ Si un pointage est incorrect, utiliser les icônes « effacer »

⑥ Sur chaque image de la vidéo, pointer précisément un point du système dont vous étudiez le mouvement.

⑦ Les mesures apparaissent dans l'onglet mesure.  
Pour exploiter les mesures, dans le menu « fichier », choisir « mesures » puis, selon le cas « copier dans le presse papier » ou « enregistrer dans un fichier »

Décimales de t	Chiffres de x, y	
t (s)	x (m)	y (m)
0,000		
0,033		
0,067		
0,100		

Origine des dates (t = 0) : image n° 1

Point suivant auto. ☐

Point n° 1 ☐ dessiné ☐ axes ☐

Points / image 1

## Logiciel Regressi

1 Fichier → Nouveau → Clavier  
Ou  
Fichier → Nouveau → Presse papier  
(dans ce cas, passer directement à l'étape 4)

2

3 Entrer les valeurs des grandeurs

4 Afficher le graphique

5 Paramétrer les axes

6 Modélisation

7 Choix du modèle

Entrée de données au clavier

Commentaire

Variables expérimentales

Symbole	Unité	Signification	Minimum	Maximum
Grandeur1	unité1		0	
Grandeur2	unité2		0	
...			0	
			0	

La première variable est la variable de tri et par défaut l'abscisse du graphe  
☒ Tri automatique selon la première variable ☐ Incrémentation automatique  
 Chacune des autres variables définit par défaut une ordonnée  
 Essayez de travailler en S.I sans préfixe m k ... (sauf kg !)

Paramètres expérimentaux

Symbole	Unité	Signification

OK Abandon Aide



### Annexe III. Exemple de copie d'élèves

Physique T.S

#### 2. l'Effet Doppler

*calculé par*

Calcul de la vitesse par effet Doppler

l'effet Doppler est le décalage  $\Delta f = f_R - f_E$

Nous allons réaliser le Montage du document 2 qui va nous permettre à l'aide du logiciel Scope Im Box de trouver le signal obtenu  $\Delta f$  et pour ensuite déterminer sa fréquence.

Nous connaissons déjà la fréquence de l'émetteur qui vaut 40,9 kHz qui vaut donc 40900 Hz.

Pour déterminer la fréquence reçue, nous avons sur l'oscilloscope cliqué sur l'icône curseur ensuite nous les avons placés sur des points de même état vibratoire donc nous avons obtenu la période qui est de 58,1 ms qui fait 0,0581 s et nous donne une fréquence de 17,2 Hz.

Pour calculer la vitesse de l'émetteur, on utilise la formule  $\Delta f = \frac{f_E \times v}{v_{sonde}}$

*l'oscilloscope est réglé sur une fréquence*

On connaît la fréquence émise  $f_E$  qui est de 40900 Hz, la vitesse d'une onde qui vaut 340 m/s et  $\Delta f = 17,2$  Hz

On veut  $v$

$$\Delta f = \frac{f_E \times v}{v_{sonde}}$$

$$17,2 = \frac{40900 \times v}{340}$$

$$17,2 = \frac{40900}{340} \times v$$

$$v = \frac{40900 \times 17,2}{340 \times 17,2} = \frac{30 \times 17,2}{1000}$$

$$v = 6,99 \text{ m/s}$$

Calcul de la vitesse par traitement vidéo

Grâce à AVIMACA, nous déterminons une échelle à  $3,0 \times 10^{-4} \text{ cm}$ .

Nous faisons 11 points de repérage à différentes images de la vidéo.

Ce qui va nous permettre les coordonnées des points pour pouvoir calculer la vitesse.

Nous analysons notre pointage à l'aide magnesi. Requête nous calcule la vitesse qui est de  $154,0 \pm 1,5 \text{ mm/s}$  soit  $1,540 \pm 0,0015 \text{ m/s}$ .

*calculé par la méthode de la vidéo*

En conclusion, quand on compare les 2 méthodes, on remarque que l'on obtient pas la même vitesse ce qui serait causé par des sources d'erreurs diverses.

Par exemple pour la Méthode 2, on a pu faire un mauvais pointage où la vidéo est de mauvaise qualité. Pour la Méthode 1 mauvais placement des curseurs.

# Effet Doppler

## 1. Calcul de la vitesse par effet Doppler

Le signal observé à l'oscilloscope numérique a pour fréquence  $\Delta f$ . Pour déterminer la fréquence du signal, deux méthodes sont possibles :

- Déterminer la période  $T$  et en déduire la fréquence
- Effectuer la transformée de Fourier

Pour calculer la vitesse de l'émetteur, la formule donnée dans le document 1 est utilisée :

$$\Delta f = \frac{f_s \times v}{v_{\text{onde}}}$$

L'inconnue ici étant la vitesse  $v$ , il faut l'isoler de la formule :

$$v = v_{\text{onde}} \times \frac{\Delta f}{f_s}$$

Nous savons que la vitesse d'une onde ultrasonore dans l'air est de  $340 \text{ m.s}^{-1}$ . De plus, il est indiqué dans le document 2 que la fréquence de la source vaut  $40,9 \text{ kHz}$  soit  $40\,900 \text{ Hz}$ .

$$\text{A.N : } v = 340 \times \frac{18,04}{40900} = 15 \text{ cm.s}^{-1}$$

La vitesse de l'émetteur est de  $15 \text{ cm.s}^{-1}$ .

## 2. Calcul de la vitesse par traitement de vidéo

Calcul de la vitesse par traitement vidéo :

- Ouvrir la vidéo avec le logiciel Aviméca
- Définir l'échelle à l'aide de l'étalon présent sur la vidéo
- Effectuer le pointage toutes les 20 images jusqu'à l'image 200
- Copier les mesures dans le presse papier
- Ouvrir le logiciel Regressi, puis cliquer sur « Presse papier »
- Afficher alors le graphique représentant la position en fonction du temps
- Modéliser la droite, le coefficient directeur correspond à la vitesse

## 3. Comparaison des deux méthodes

Recopier et compléter le tableau suivant :

	Méthode 1	Méthode 2
Nom de la méthode	Effet Doppler	Traitement vidéo
Valeur trouvée de la vitesse	....	...
Source(s) d'erreur	Détermination de la fréquence	Précision échelle Pointage vidéo Qualité vidéo



## **L'effet Doppler et ses applications dans les différents domaines de la physique**

---

L'effet Doppler est un phénomène observé lorsque la source et le récepteur sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre. En effet, il se produit alors un décalage en fréquence qui s'exprime de manière différente suivant le mouvement de la source et du récepteur. Ce phénomène, découvert par Christian Doppler au XIX<sup>ème</sup> siècle est encore utilisé aujourd'hui. En effet, les radars fixes, le GPS, la médecine (échographie) et l'astrophysique exploitent encore l'effet Doppler. Ce dernier est principalement utilisé pour déterminer une vitesse, quel que soit le domaine d'application mais peut également servir à déterminer la distance entre deux objets (GPS, échographie) ou la présence d'une exo planète en astronomie. L'effet Doppler est traité en classe de terminale scientifique. Il est alors demandé aux élèves d'utiliser le phénomène pour calculer une vitesse ou encore de se mettre dans la peau d'un chercheur en astrophysique. L'activité expérimentale proposée dans ce rapport permet de déterminer une vitesse à l'aide de l'Effet Doppler. Pour cela, des logiciels ont été utilisés (ScopeInBox, Regressi, AviMéca...). Quelques modifications sont à apporter au sujet pour régler notamment le timing de l'activité. Une fois ces améliorations effectuées, ceci pourrait être un bon entraînement aux ECE pour les élèves.

---

Mots-clés : Effet Doppler, Décalage en fréquence, Détermination d'une vitesse, Terminale S

### **The Doppler effect and its application in the field of physics**

---

The Doppler effect is a phenomena which takes place when the source and the receiver are in motion. Actually, there is a frequency shift which is different according to the movement of the source and the receiver's one. This phenomena, discovered by Christian Doppler in the 19<sup>th</sup> century is still used nowadays. In fact, the fixed speed cameras, the GPS, the medecine (sonogram) and astrophysics still use the Doppler effect. The latter is principally used to determine a speed, whatever is the field of application but it can also be used to determine the distance between two objects (GPS, sonogram) or the presence of an exo planet in astronomy. The Doppler effect is adressed in the upper sixth, science. The pupils have to use the fenomena to calculate a speed or put themselves in researcher's place in astrophysics. The experiment which is described in this dissertation allows students to determine a speed thanks to the Doppler Effect. To do this, some softwares were used (ScopeInBox, Regressi, AviMéca...). Some modifications are necessary to improve the timing of the activity. Once done, this subject may be a good training for the ECE.

---

Keywords : Doppler Effect, Frequency shift, Speed determination, upper sixth science

