

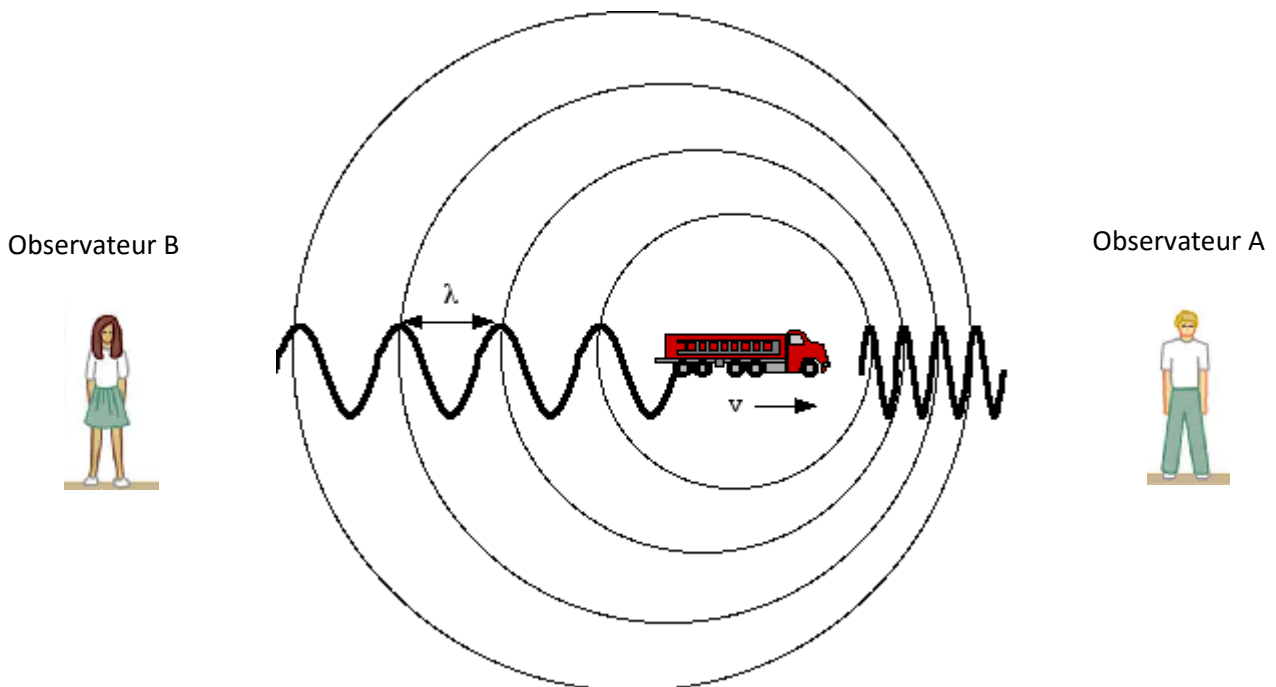
De la gendarmerie, à l'astrophysique....., mesurer une vitesse à partir de l'effet Doppler

Objectifs :

- Mettre en oeuvre 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.

I Principe :

- 1) A l'aide des vidéos, et de l'animation Flash « Doppler animation », décrire comment varie la fréquence apparente du son émis par un véhicule quand il s'approche ou quand il s'éloigne de l'observateur.



Les ondes lumineuses (ou sonores) émises par un corps en déplacement sont affectées par le mouvement de celui-ci par rapport à un observateur au repos.

L'intervalle séparant des ondes successives (Longueur d'onde) est plus petit dans la direction du mouvement et plus grand dans la direction opposée.

Il s'ensuit que la fréquence perçue par l'observateur A sera plus aiguë (Plus grande fréquence) que la fréquence réelle émise par la sirène et que pour l'observateur B cela sera l'inverse (Fréquence perçue plus grave, donc plus petite que l'originale)

La variation de fréquence est liée à la vitesse du véhicule, voir ci-après.

3.2 Démonstration de l'effet Doppler

• Soit une source qui se déplace à la vitesse v en direction d'un observateur fixe.

Elle émet des ondes périodiques, de période T , se propageant dans le milieu à la célérité c .

• À une date $t_1 = 0$, la première période de l'onde est émise, lorsque la source est à la distance D de l'observateur (Fig. 19.a).

• Celui-ci la reçoit à la date $t_2 = \frac{D}{c}$ (Fig. 19.b).

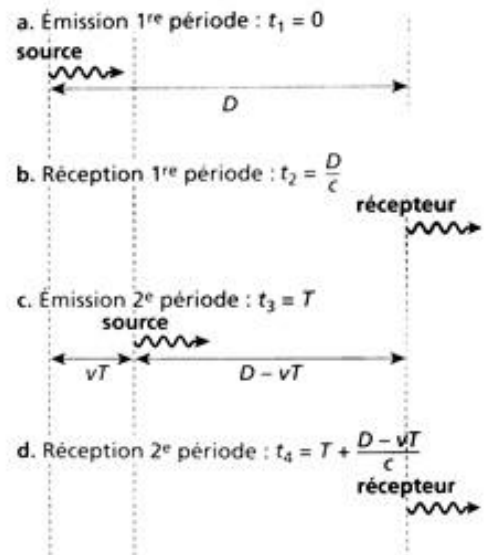
• La deuxième période de l'onde est émise à la date $t_3 = T$: la source ayant parcouru la distance vT , elle se trouve à $D - vT$ de l'observateur (Fig. 19.c).

• La durée de son trajet jusqu'à l'observateur est alors : $\frac{D - vT}{c}$ donc l'observateur la reçoit à la date $t_4 = T + \frac{D - vT}{c}$ (Fig. 19.d).

Pour l'observateur, la période est alors $T' = t_4 - t_2$ soit $T' = T - \frac{vT}{c} = \left(1 - \frac{v}{c}\right)T$

L'onde perçue peut aussi être caractérisée par sa fréquence f' ou sa longueur d'onde λ' avec $f' = \frac{1}{T'} = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$ et $\lambda' = cT' = \lambda \left(1 - \frac{v}{c}\right)$.

• Si la source s'éloigne de l'observateur fixe, le raisonnement est identique, il suffit de remplacer dans les expressions précédentes v par $-v$ puisqu'il y a éloignement : cela donne $T' = T \left(1 + \frac{v}{c}\right)$.



Représentation de l'émission et de la réception de deux périodes, dans le référentiel de l'observateur.

II Mesure de la vitesse d'une voiture à l'aide de l'effet doppler.

Soit f_1 la fréquence apparente de la voiture quand elle s'approche de l'observateur.

Soit f_2 la fréquence apparente de la voiture quand elle s'éloigne de l'observateur.

c est la célérité du son

- 2) Montrez à l'aide du complément théorique de la page précédente que la vitesse de la voiture v peut se calculer à l'aide de la relation suivante.

$$v = c \times \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2}$$

Facile à démontrer en sachant d'après l'extrait ci-dessus que

$$f_1 = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}} \text{ et } f_2 = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$$

On remplace dans f_1 , f par son expression trouvée dans l'autre expression c'est-à-dire

$$f = f_2 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

$$f_1 = \frac{f_2 \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{1 - \frac{v}{c}}$$

Puis on tripote l'expression pour sortir v

Vous avez à votre disposition 4 documents.

2 vidéos :une filmée à l'intérieur de la voiture, l'autre à l'extérieur. (Les vidéos ont subi 2 traitements pour passer sur generis)

Les bandes sons en fichier wav, de ces deux vidéos. (extraites après le premier traitement, fréquence d'échantillonnage 48 kHz)

Les dimensions de la voiture sont les suivantes.**4,317 m x 1,732 m x 1,694 m**

- 3) Quelle est la vitesse de la Zafira donnée par le compteur de la voiture ? (régulateur utilisé pour garder une vitesse constante)



La vitesse lue sur le compteur est de 60 km/h, ou encore $v = 16,7$ m/s

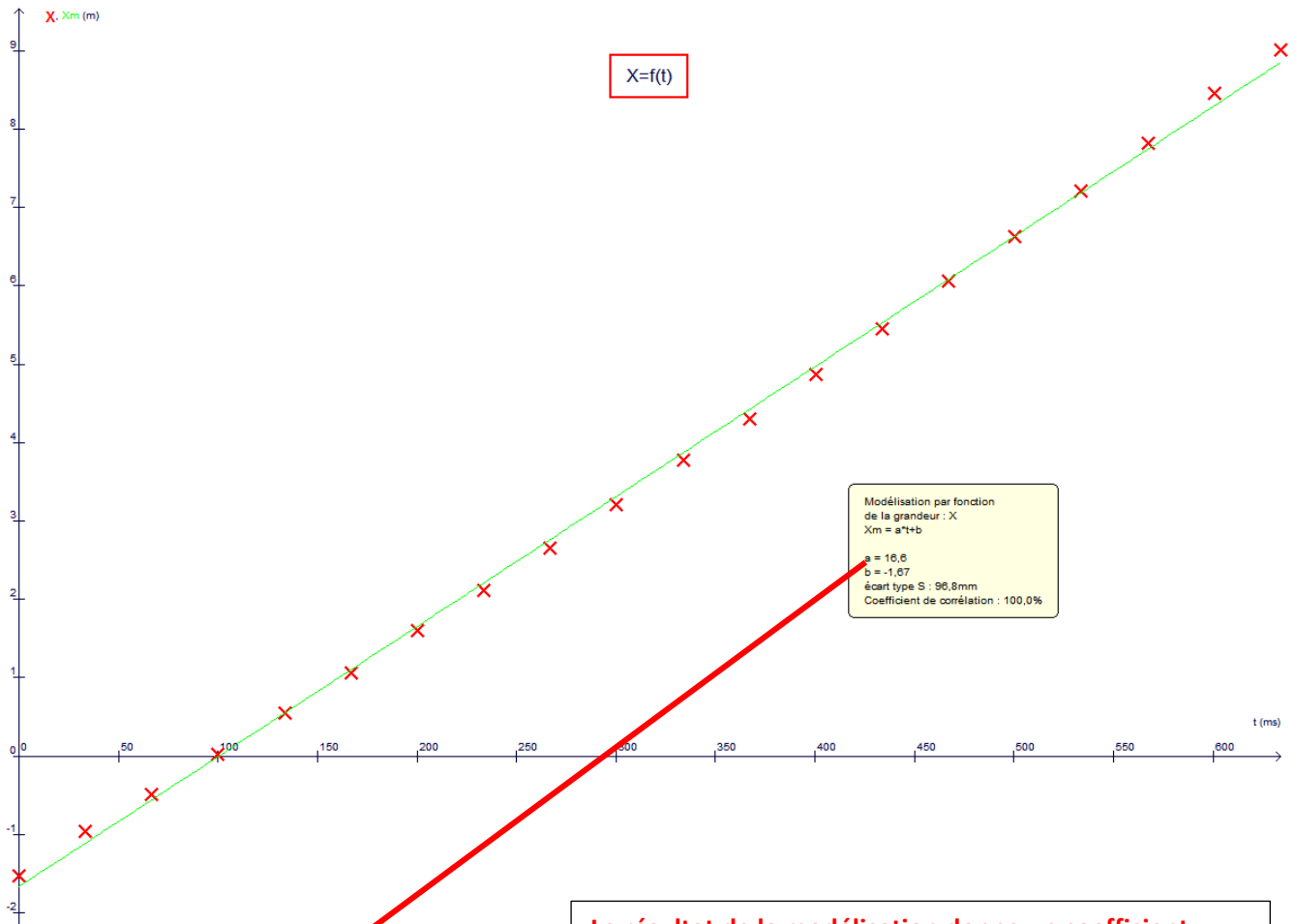
- 4) A l'aide de générés et du pointage vidéo, estimer la vitesse de la voiture, en m/s puis en km/h, ce résultat est-il en accord avec le résultat précédent.

Expliquer votre protocole

On Utilise la longueur de la voiture pour étalonner la vidéo, puis on pointe le déplacement d'un point de celle-ci en fonction du temps.

On modélise X en fonction du temps, on obtient une droite, le coefficient directeur de cette droite donne la vitesse de la voiture





Le résultat de la modélisation donne un coefficient directeur de 16,6 m/s

Ce qui a d'ailleurs été la moyenne pour le groupe B

Le coefficient de corrélation est excellent

Le résultat est parfaitement en accord avec la valeur donnée dans la question précédente

Modélisation par fonction de la grandeur : X
 $X_m = a \cdot t + b$
 $a = 16,6$
 $b = -1,67$
 écart type S : 96,8mm
 Coefficient de corrélation : 100,0%

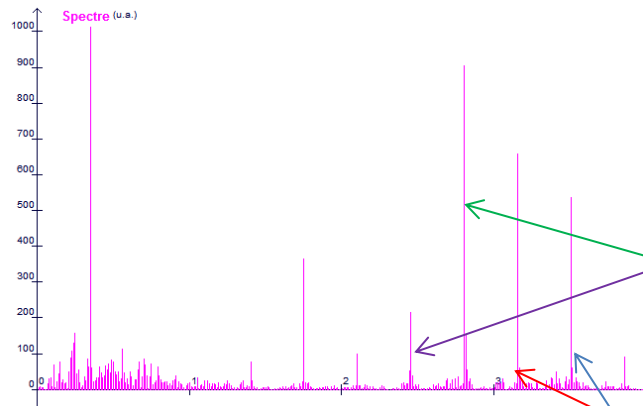
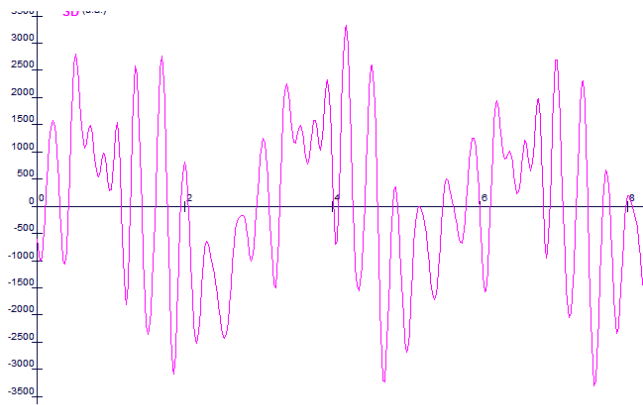
5) Mesure à l'aide de l'effet Doppler :

A l'aide des indications du professeur (pour la manipulation de generis), donner les 4 « harmoniques » de plus grandes amplitudes, du Klaxon dans le référentiel de la voiture.

fréquences (Hz)	2455	2807	3158	3510
f_0				

Est-ce que ces fréquences subissent l'effet doppler ? Justifier.

Non car la vidéo est prise dans la voiture, donc le référentiel du klaxon et le référentiel de l'observateur sont les mêmes, la vitesse du klaxon par rapport à l'observateur est nulle

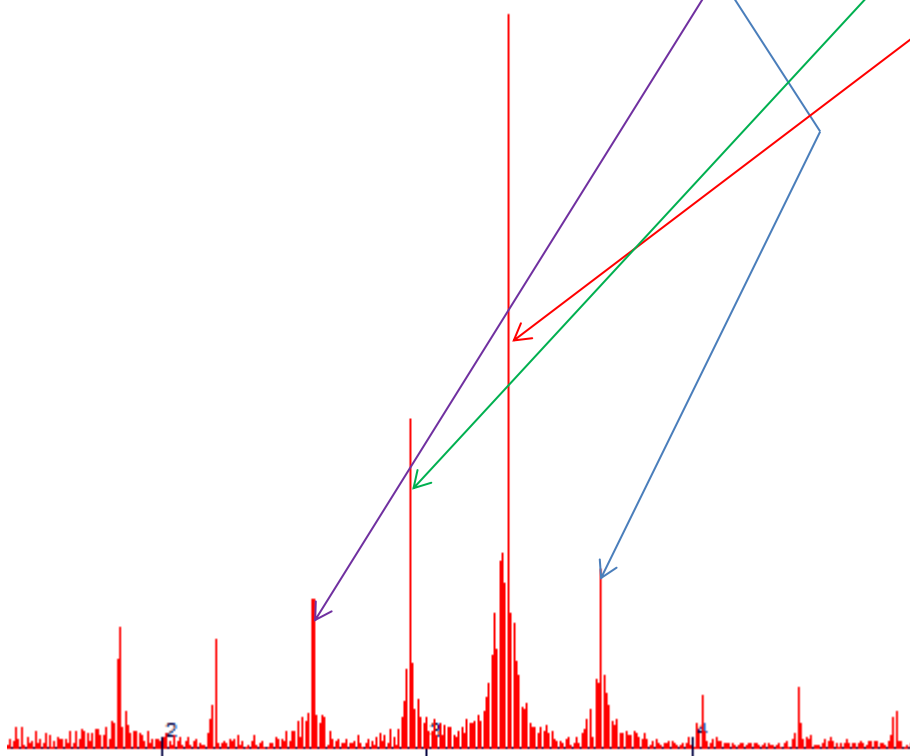


On compare les 4 fréquences dans les 3 cas suivants.

Dans la voiture

Extérieur : Voiture approchant

Extérieur : voiture s'éloignant



f1	f2	vitesse
2573	2331	16,7781403
2936	2666	16,3870046
3307	2995	16,8327515
3676	3336	16,486024

Faire de même pour les harmoniques des fréquences f_1 et f_2 , en prenant soin de prendre des mesures assez éloignées sur le spectre, pour minimiser l'effet vitesse radiale.

fréquences f_1 (approche)	2573	2936	3307	3676
--------------------------------	------	------	------	------

Les fréquences f_1 sont bien supérieures à f_0 comme le prévoyait la théorie

fréquences f_2 (Eloignement)	2331	2666	2995	3336
-----------------------------------	------	------	------	------

Les fréquences f_2 sont bien inférieures à f_0 comme le prévoyait la théorie

En déduire les valeurs des vitesses données par les 4 harmoniques.

$$v = c \times \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2}$$

Vitesse (m/s)	16,8	16,4	16,8	16,5
---------------	------	------	------	------

Comparer ces vitesses (et leur moyenne) avec les deux précédentes. Quelles peuvent-être les sources d'erreurs.

Moyenne = 16,6 m/s (obtenue avec les résultats du tableau Excel de début de feuille)

Les résultats sont parfaitement cohérents avec ceux donnés par le compteur et le pointage (16,7 m/s compteur, 16,6 m/s pointage, 16,6 m/s doppler)

Donner des conseils permettant d'améliorer ces résultats

L'observateur devrait être plus près de la route pour faire la prise de son, mais cela est difficile dans ce cas pour avoir une video correcte de la voiture.

Conclure.

L'effet Doppler permet de mesurer assez précisément la vitesse de la voiture, il faut néanmoins prendre les mesures de fréquences assez loin de l'observateur car celui-ci était assez décalé de l'axe de la route