

Leçon 18: L'effet Doppler (aspect qualitatif)

ACTIVITÉ HISTORIQUE

Christian Doppler (1803-1853) est un mathématicien et physicien autrichien. Il s'est rendu célèbre par une découverte qui porte maintenant son nom : l'**effet Doppler**. Sa publication la plus célèbre s'appelle « *Sur la lumière colorée des étoiles doubles et d'autres étoiles du ciel* ». Un peu plus tard et indépendamment, **Hippolyte Fizeau** découvre lui aussi ce phénomène et il l'étend aux ondes lumineuses. Ce phénomène s'applique à tous les types d'onde (sonores, ultrasonores et mécaniques - à la surface de l'eau par exemple). Pour les ondes lumineuses, on emploiera le terme d'**effet Doppler-Fizeau**.



Christian Doppler.



Hippolyte Fizeau.

Par exemple, le son d'une voiture (**Ex** : ambulance) est plus aigu quand celle-ci se rapproche de nous et plus grave quand elle s'éloigne de nous.



- Donner, à partir de cette historique, la définition de l'effet Doppler. Donner la différence entre l'effet Doppler et l'effet Doppler-Fizeau.
- Citer quelques autres situations réelles dans lesquelles on assiste à l'effet Doppler et à l'effet Doppler-Fizeau.

OBJECTIFS

- Expliquer qualitativement l'effet Doppler (ses manifestations)
- Citer quelques domaines d'application de l'effet Doppler.

Par exemple et selon le site de Wikipédia : Une personne est debout dans l'eau, au bord du rivage. Des vagues lui arrivent sur les pieds toutes les dix secondes. La personne marche, puis court en direction du large : elle va à la rencontre des vagues, celles-ci l'atteignent avec une fréquence plus élevée (par exemple toutes les huit secondes, puis toutes les cinq secondes). La personne fait alors demi-tour et marche puis court en direction de la plage ; les vagues l'atteignent avec une fréquence moins élevée, par exemple toutes les douze, puis quinze secondes.

4.1 Exemples de manifestations de l'effet Doppler

4.1.1. Définition

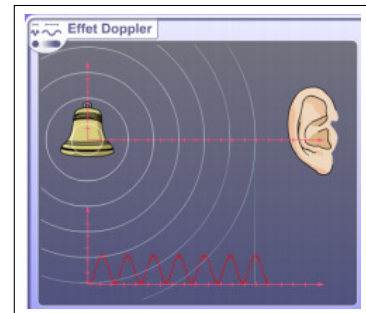
L'**effet Doppler** est le décalage de fréquence d'une onde (*généralement acoustique ou électromagnétique*) entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

4.1.2. Différents cas de manifestation de l'effet Doppler

a. Source et observateur immobiles

Principe : Lorsqu'une source fixe émet une onde sonore de fréquence donnée, un observateur fixe entend un son régulier dont la fréquence ne varie pas.

Ici, on ne constate pas l'effet Doppler, puisque la source et le récepteur sont immobiles. L'onde sonore a une célérité c , une longueur d'onde λ , une période T et une fréquence f . L'observateur perçoit une onde sonore ayant les mêmes caractéristiques.



b. Source se rapprochant et observateur immobile

Principe : La source sonore mobile, tend à rattraper les ondes sonores qu'elle émet ; les ondes se resserrent à l'avant du mobile. Pour un observateur lié au mobile, l'émission sonore se fait avec la même fréquence qu'à l'arrêt. Par contre, un observateur situé à l'avant du mobile, perçoit une onde sonore de fréquence plus élevée.

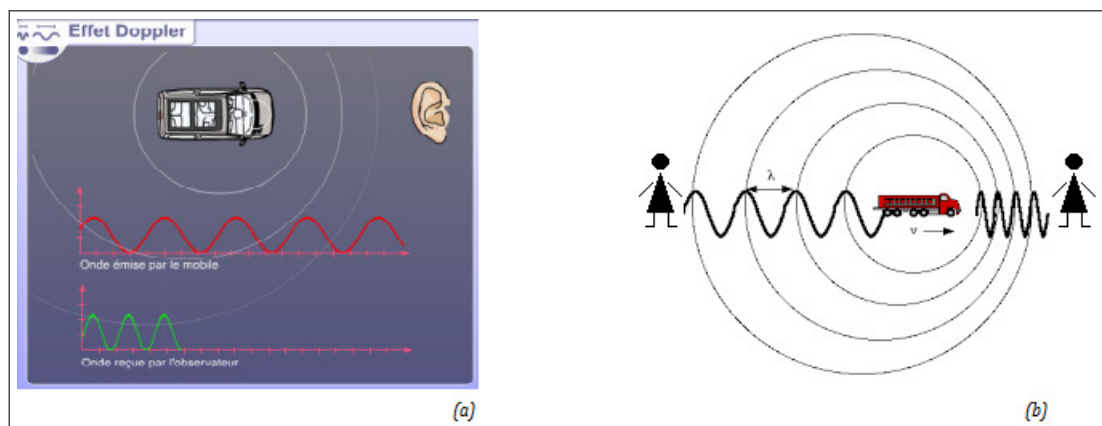


Figure 18.4 : Effet Doppler : source mobile, récepteur immobile

Un émetteur se dirige vers l'observateur situé à une distance d de l'émetteur à une vitesse constante v . À la date $t_1 = 0$, il y a émission d'un premier front d'onde. Celui-ci arrive à l'observateur à un temps :

$$t'_1 = \frac{d}{c} \quad (18.1)$$

À $t_2 = T$, un deuxième front d'onde est émis. Pendant ce laps de temps, l'émetteur a parcouru une



distance

$$d' = v.T = \frac{v}{f} \quad (18.2)$$

Le deuxième front d'onde arrive à l'observateur au bout d'un temps

$$t'_2 = t_2 + \frac{d - d'}{c} \quad (18.3)$$

Soit T' la période de l'onde sonore perçue par l'observateur :

$$T' = t'_2 - t'_1 = t_2 + \frac{d - d'}{c} - \frac{d}{c} \quad (18.4)$$

Ce qui conduit à :

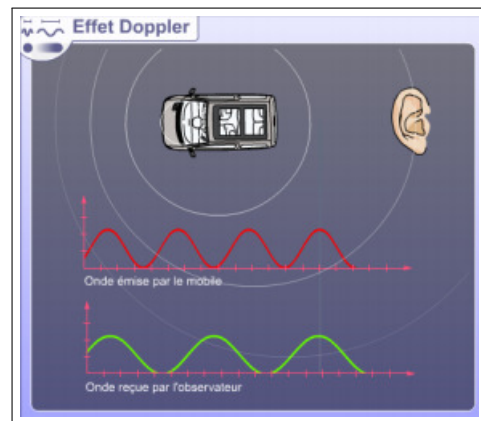
$$\begin{cases} T' = T \times \left(1 - \frac{v}{c}\right) \\ f' = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}} \end{cases} \quad (18.5)$$

c. Source s'éloignant et observateur immobile

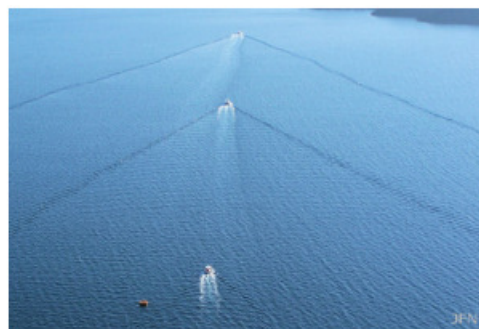
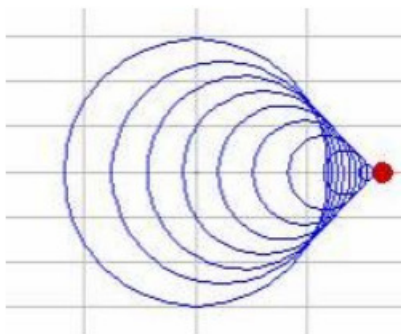
Principe : Un observateur situé en arrière du mobile perçoit une onde sonore de fréquence plus faible et entend donc un son plus grave.

Si la source s'éloigne, on trouvera, en suivant le même raisonnement que précédemment (avec quelques ajustements au niveau des signes) :

$$\begin{cases} T' = T \times \left(1 + \frac{v}{c}\right) \\ f' = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}} \end{cases} \quad (18.6)$$



4.1.3. Vitesse supérieure à la vitesse de propagation



Voici ce que l'on observe quand la vitesse de déplacement de l'émetteur est supérieure à la vitesse de propagation de l'onde. C'est le cas des avions de chasse quand ceux-ci passent le mur du son ou plus visible sur l'image ci-dessous (Fig. 18.7) des bateaux qui se meuvent plus vite que l'onde qu'ils provoquent à la surface de l'eau.

Lorsqu'un avion vole en vitesse subsonique (*vitesse supérieure à la célérité du son dans l'air*), il crée des ondes dites de **pression** qui se propagent à la célérité du son (**Figure 1**). Lorsqu'il accroît sa vitesse et qu'il atteint la célérité du son, les ondes de pression s'accumulent devant le nez de l'avion (**Figure 2**). Lorsqu'il dépasse la célérité du son (*on dit qu'il passe le mur du son*), il produit alors des **ondes de**



compression et de **dilatation** qui provoquent ce fameux « *bang* » perceptible à plusieurs dizaines de kilomètres à la ronde. Pour une vitesse supérieure à la célérité du son, les ondes se propagent derrière l'avion dans un cône appelé **cône de Mach** (Figure 3).

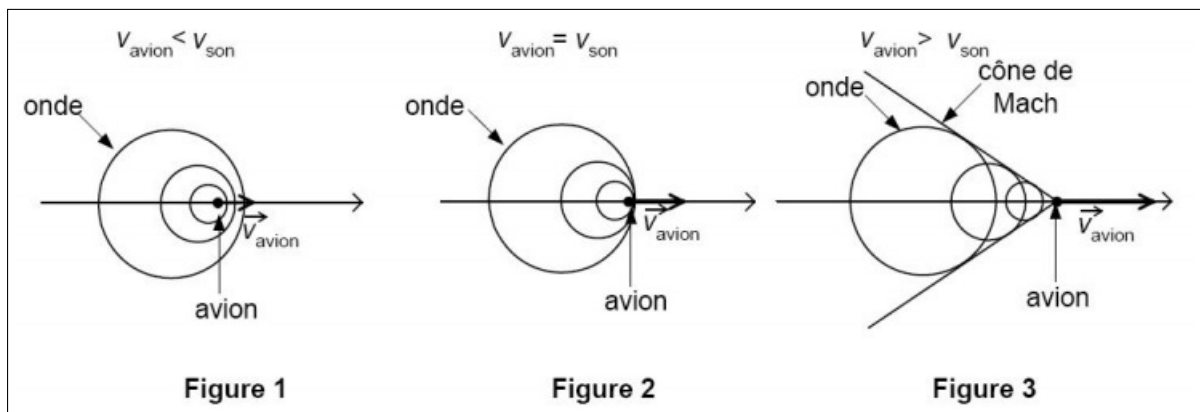


Figure 7.

Note

- Aussi incroyable que cela puisse paraître, c'est le même phénomène de passage du mur du son qui explique le claquement d'un coup de fouet.
- Il est à noter également qu'on puisse trouver étrange que la fréquence perçue lorsque l'émetteur est en mouvement ne change pas. En effet, on a l'impression d'entendre un son de plus en plus aigu quand par exemple une sirène de pompier est en approche or la fréquence perçue est effectivement plus grande que la fréquence de l'émetteur mais cette fréquence est constante. Cette sensation vient du fait de l'augmentation de l'intensité du son. On peut montrer ce phénomène en branchant un haut-parleur à un GBF en signal sinusoïdal d'une fréquence d'environ 1 kHz et en faisant varier l'amplitude du signal émis.

4.2 Applications technologiques

L'effet Doppler est utilisé dans les domaines où la mesure de la vitesse de déplacement du milieu ou d'un mobile est requise. Parmi ces applications, on peut citer :

4.2.1. Astronomie

Dans l'astronomie, l'effet Doppler renseigne à la fois sur le mouvement des astres et sur les mouvements des matières à l'intérieur des astres.

4.2.2. Radar

Un **radar** est appareil électronique qui émet des paquets d'ondes et écoute ensuite le retour de cible. Si ces cibles se déplacent, un effet Doppler est enregistré ce qui permet d'obtenir la vitesse radiale de leur déplacement. On distingue cependant plusieurs types de radars parmi lesquels :



a. Le radar de contrôle routier

La police ou la gendarmerie utilise les radars pour évaluer la vitesse des automobiles le long des axes lords. Pour cela, elle utilise un radar dont la fréquence est connue. La mesure de la fréquence de l'écho donne la vitesse du véhicule. La technologie moderne permet aujourd'hui d'avoir des radars automatiques.



b. Le radar météorologique

Ici, on utilise pas la variation de fréquence due à l'effet Doppler à cause de sa faible valeur, mais plutôt la variation de la phase entre deux impulsions revenant des précipitations.

4.2.3. Médecine

- **En échographie** : l'effet Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins afin de voir s'il y a rétrécissement des vaisseaux. Sa première utilisation date de 1960 avec l'utilisation d'ondes ultrasonores.
- **En cardiologie** : l'effet Doppler est utilisé pour l'analyse de la vitesse des parois cardiaques à l'aide du Doppler tissulaire : c'est l'**imagerie Doppler des tissus**.

4.2.4 GPS (Global Positioning System)

Le GPS 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 :

- 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.

4.3 Récapitulatifs des formules de l'effet Doppler

- Source et récepteur immobiles : $f' = f \leftrightarrow T' = T$ (18.7)

- Récepteur immobile et source s'approchant à la vitesse v_s : $f' = f \times \frac{v}{v - v_s}$ (18.8)

- Récepteur immobile et source s'éloignant : $f' = f \times \frac{v}{v + v_s}$ (18.9)

- Source immobile et récepteur s'approchant à la vitesse v_r : $f' = f \times \left(1 + \frac{v_r}{v}\right)$ (18.10)

- Source immobile et récepteur s'éloignant : $f' = f \times \left(1 - \frac{v_r}{v}\right)$ (18.11)

- Source et récepteur se déplaçant dans le même sens

- Avant le croisement : $f' = f \times \frac{v + v_r}{v - v_r}$ (18.12)

- Après le croisement : $f' = f \times \frac{v - v_r}{v + v_r}$ (18.13)

- Source et récepteur se déplaçant dans le sens inverse

- Avant le dépassement : $f' = f \times \frac{v - v_r}{v - v_r}$ (18.14)

- Après le dépassement : $f' = f \times \frac{v + v_r}{v + v_r}$ (18.15)

Bilingual game

When a source and observer (receiver) of wave are moving relative to each other, the observed frequency is different from the frequency of the vibrating source. This change in observed or apparent frequency due to relative motion of source and observer is called the **Doppler effect**.