


ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE BAMAKO

Rue : 22 octobre 1946 Quartier du fleuve B.P 241

TEL. 20 22 89 FAX 20 23 04 61 E-mail : ensup@ml.refer.org

THEME : APPLICATION DE LA CINÉMATIQUE RELATIVISTE.

PRÉSENTÉ PAR :

Nom	Prénom	Etablissement	Filière
SANOGO	Drissa	EnSup	Chimie M1S1
TRAORE	Awa	EnSup	Chimie M1S1
TANGARA	Soumana	EnSup	Chimie M1S1

APPLICATIONS DE LA CINEMATIQUE RELATIVISTE :

I. Effet Doppler :

I.1. Introduction :

L'effet Doppler correspond au phénomène physique selon lesquels la fréquence d'une onde semble modifiée lorsque la source émettrice de l'onde et/ ou l'observateur de l'onde sont en mouvement.

L'effet Doppler est utilisé encore aujourd'hui dans de nombreux domaines de la vie courante et de la recherche.

I.2. Historique :

L'effet Doppler est **un effet cinématique** dont l'**éponyme** est le Mathématicien et Physicien Autrichien Christian Doppler (1803 – 1853). L'effet Doppler a été découvert en 1842 par Johann Christian Doppler. Puis, 6 ans plus tard par Hippolyte Fizeau (1819-1896/Français), d'où cet effet porte aussi le nom d'effet Doppler-Fizeau.

Grâce à son travail sur les ondes lumineuses et sonores, Doppler remarque que les perceptions étaient différentes si l'origine des ondulations et l'observateur étaient en mouvement relatif l'un par rapport à

l'autre. 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.

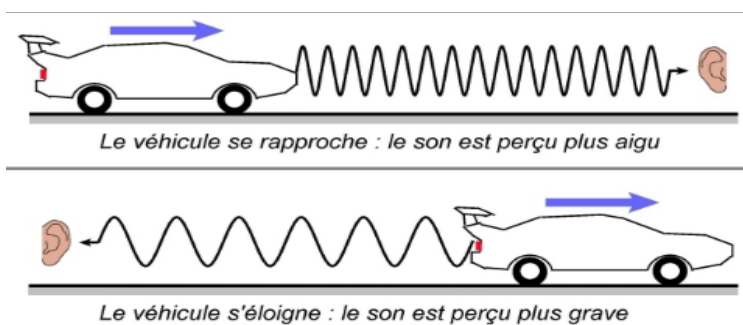
I.3. Définition :

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observée entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

On désigne de façon générale ce phénomène sous le nom d'effet Doppler.

Exemple illustrant l'effet Doppler :

Pour un observateur immobile (référentiel terrestre), le bruit émis par une voiture n'est pas le même quand celle-ci se rapproche ou s'éloigne.

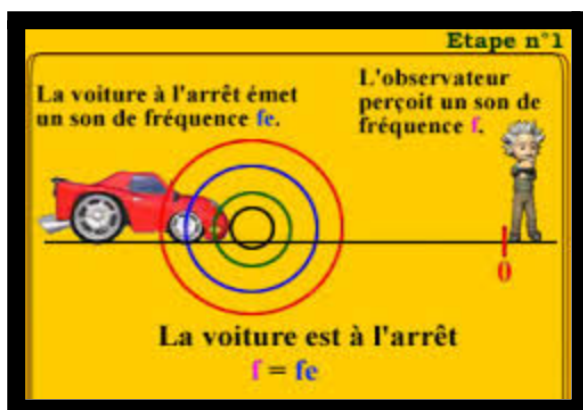


Quand la voiture se rapproche, le son paraît plus aigu que le son perçu par le conducteur. Quand elle s'éloigne le son paraît plus grave. C'est une Manifestation de l'effet Doppler.

I.4. Différents cas :

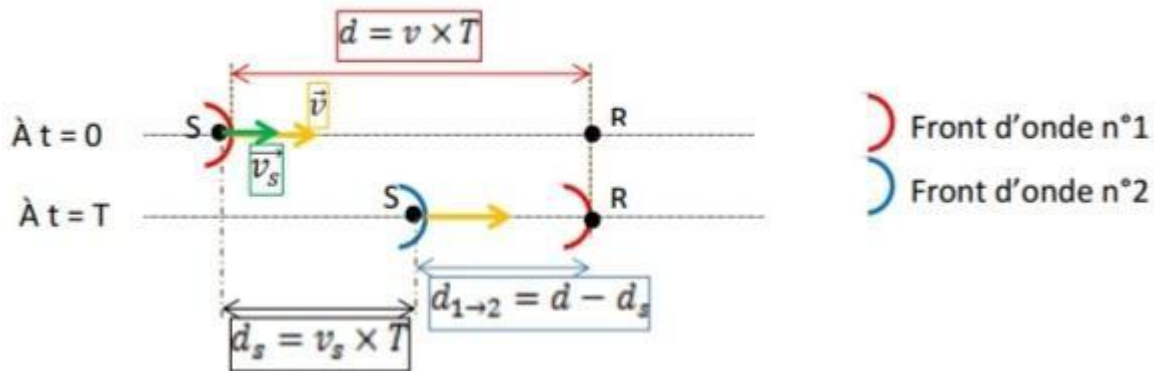
a. Récepteur et source sont immobiles

La source S émet un signal de fréquence f , comme elle est immobile, les ondes se propagent successivement avec la même période (et donc la même fréquence) au niveau du récepteur immobile. Ainsi, il n'y a pas de décalage Doppler.



b. Récepteur immobile et source s'approchant

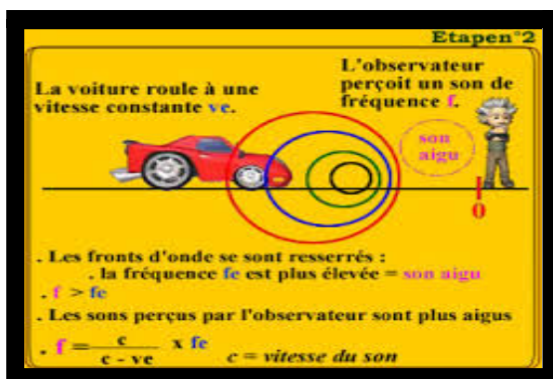
La source S émet un signal de fréquence et de période T. Le premier front d'onde a donc parcouru la distance $d = v \times t$. Comme la source est en mouvement, elle est parcourue, dans le même temps, la distance $d_s = v_s \times T$ avant d'émettre le deuxième front d'onde.



Or chaque front d'onde ayant la même vitesse de propagation v , l'écart entre deux fronts d'onde successifs sera la même. Ainsi la période apparente s'exprime :

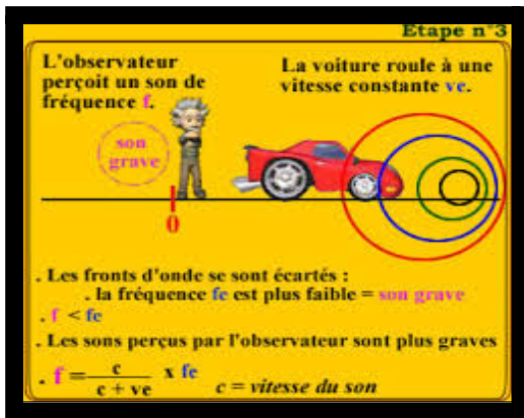
$$T_a = \frac{d_{1 \rightarrow 2}}{v} = T \frac{v - v_s}{v}$$

De ce fait la fréquence apparente est la suivante :



c. Récepteur immobile et source s'éloignent

Même raisonnement que précédemment, la seule différence est l'expression de $d_{1 \rightarrow 2}$, la fréquence apparente est donc la suivante :



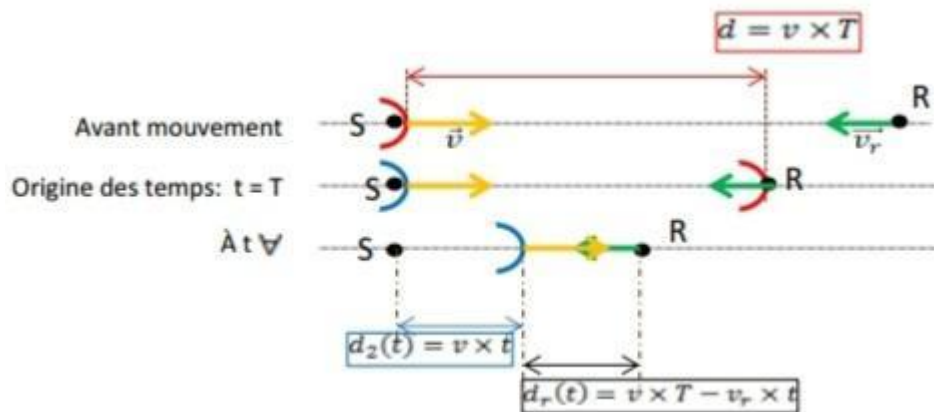
$$d_{1 \rightarrow 2} A = d + d_s = T(v + v_s)$$

d. Source immobile et récepteur s'approchant

La source 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. A un instant t quelconque il est possible d'écrire :

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



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

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

La fréquence apparente s'écrit donc : $f_a = f \frac{(v + v_r)}{v}$

e. Récepteur et source en mouvement :

•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 :

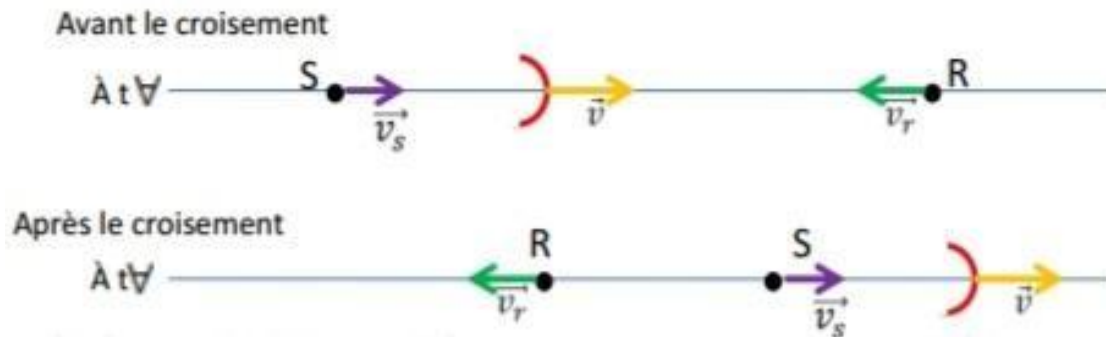
$$f_{a1} = \frac{1}{T_a} = f \frac{v}{v - v_s} \quad (1)$$



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

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

Or avant leur croisement la source et le récepteur se rejoignent.



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 :

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

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

De la même manière on détermine que la fréquence apparente après leur croisement s'exprime :

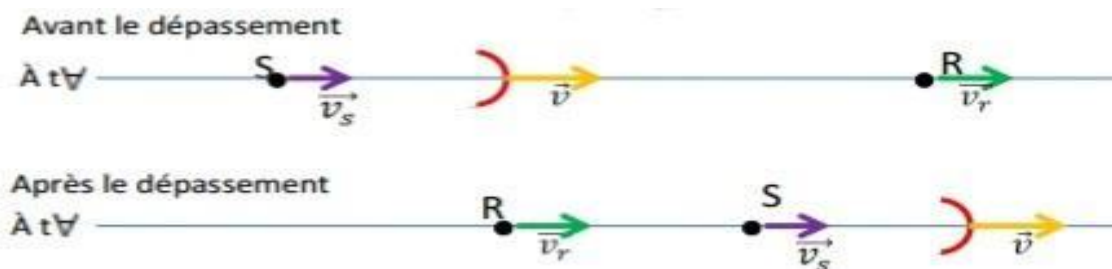
$$f_a = f \frac{v - v_r}{v + v_s}$$

• 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 récepteur on obtient :

Avant le dépassement tout se passe comme si le récepteur s'éloignait de la et la source se rapprochait du récepteur.

Après le dépassement tout se passe comme si la source s'éloignait du récepteur et le récepteur s'approchait de la source.



Avant le dépassement la fréquence apparente est :

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

Après le dépassement la fréquence apparente est :

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

I.5. Application de l'effet Doppler :

L'effet Doppler est utilisé dans des domaines où mesure de la vitesse de déplacement d'un milieu où d'un mobile est requis. On peut citer quelques applications suivantes :

- ❖ **Astronomie** : détermination de la vitesse de déplacement des étoiles.
- ❖ **Radar** : un appareil qui émet des paquets d'ondes et écoute ensuite le retour de cible. Si les cibles se déplacent, un effet Doppler est engendré ce qui permet de déterminer la vitesse de leur déplacement.
- ❖ **Médecine** : la mesure de la vitesse et la direction des globules rouges.
- ❖ **GPS** : le satellite envoie des ondes électromagnétiques. Ce système utilise la triangulation afin de déterminer la localisation d'un véhicule par exemple.

II. Expérience de Fizeau

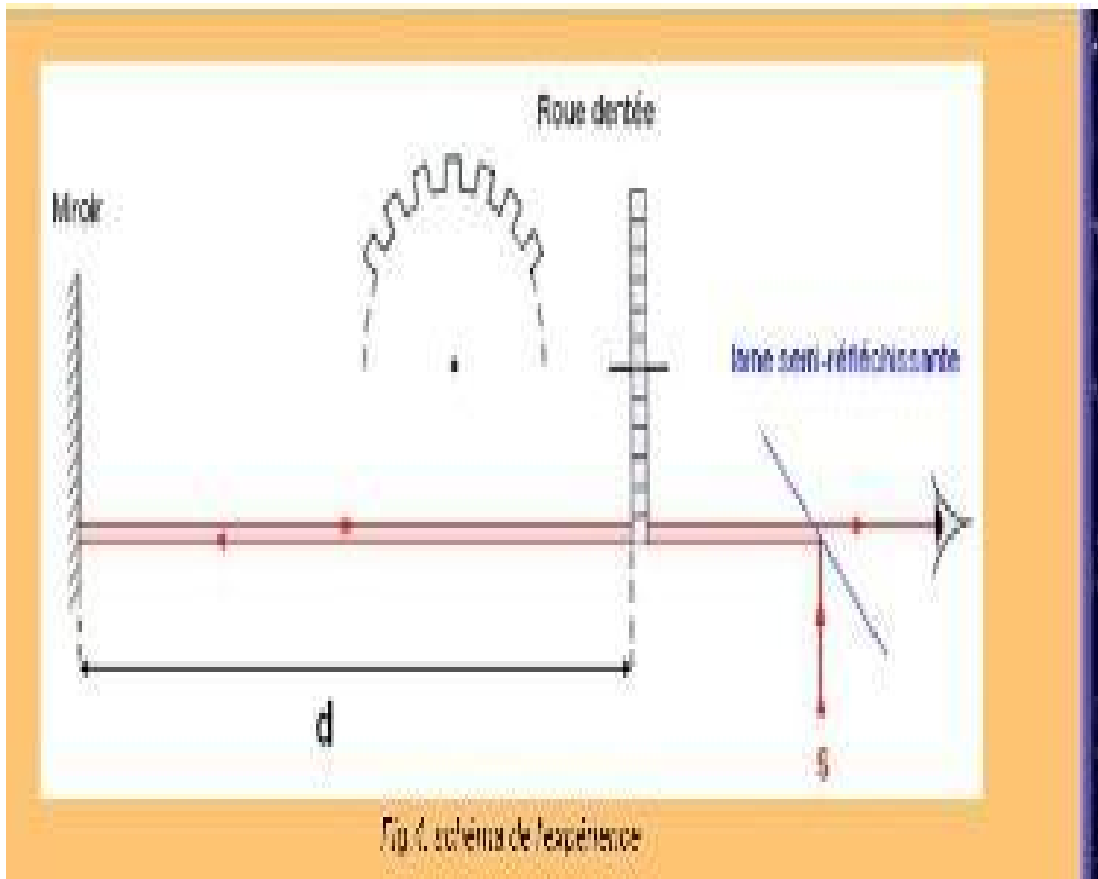
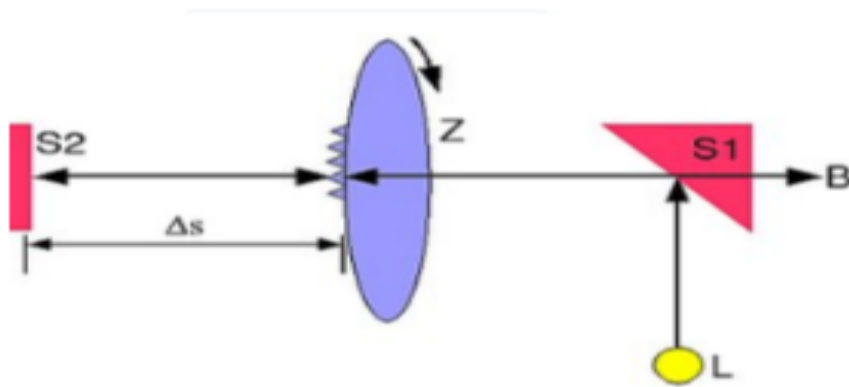
II.1. Introduction :

L'expérience de Fizeau est une expérience destinée à mesurer la vitesse de la lumière de manière terrestre et réalisé en 1849 à Suresnes par le physicien Hyppolyte Fizeau. Il installa une lunette permettant, grâce à des miroirs ingénieusement placés, d'envoyer un rayon lumineux à Montmartre (à 8633m) où se trouvait une autre lunette dont le foyer avait été remplacé par un miroir. La première lunette était coupée par une roue dentée (de 720 dents).



Fig.2, dispositif expérimental

II.2. Expérience :



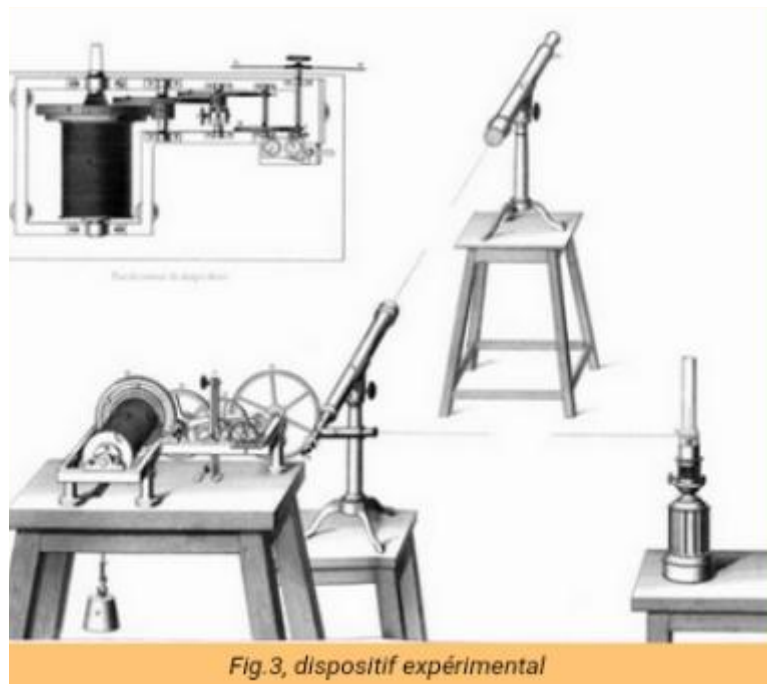
•Le principe de l'expérience :

La roue dentée Z est mise en rotation, la source lumineuse L, est réfléchié par un premier miroir semi-transparent S₁, une échancrure de la roue, parcourt la distance d, se réfléchit sur un miroir lointain S₂, parcourt à nouveau la distance d, et arrive à nouveau sur la roue dentée. Mais celle-ci, entre-temps, a légèrement tourné : la lumière réfléchié peut tomber sur une dent et donc être bloquée, où passer par une échancrure suivante. En mesurant le temps t qu'il a fallu à la roue pour devenir bloquante, à partir de sa vitesse de rotation, et de la distance parcourue (également connue : **2d**), on calcule la vitesse de la lumière

$$C : C = \frac{2d}{t}$$

•La description de l'expérience :

La schématisation du dispositif expérimental, permet de représenter plus facilement le principe de l'expérience. En partant d'une source lumineuse, la lumière va se réfléchir sur une lame semi-réfléchissante inclinée à 45° . Elle passe alors à travers la roue dentée, par une des échancrures, puis part dans l'axe de la seconde lunette située à 8633 m de là, sur la butte Montmartre. Le miroir de la seconde lunette va réfléchir la lumière qui va ainsi parcourir à nouveau la distance d entre le miroir et la roue. Elle retourne alors à son point de départ : Le Mont valérien à Suresnes. Ce rayon lumineux traverse comme à l'allée une des échancrures de la roue, et arrive ainsi à l'observateur situé derrière la lampe semi réfléchissante, qui observe la lumière à travers oculaire de la lunette.



Lorsqu'on tourne très lentement la roue, l'observateur peut apercevoir l'éclat de la lumière qui apparaît et disparaît en alternance, cela est possible car les dents de la roue en rotation font obstacle au passage du faisceau lumineux. En accélérant la roue, l'alternance entre les périodes lumineuses et obscures s'accélère, et le clignotement disparaît pour ne laisser qu'une tache lumineuse continue. En effet, nous ne voyons plus qu'une tache lumineuse car nos yeux ne peuvent plus observer les passages où la lumière ne passe plus. Pourtant, en accélérant encore la roue il arrive un certain moment où le temps que la lumière met pour parcourir la distance **$2D$ (Suresnes-Montmartre-Suresnes)** correspond exactement à la durée de passage d'une dent dans le faisceau lumineux. En fait la lumière ne peut plus passer dans une échancrure à son retour car elle est bloquée par une dent. Cet effet, ce produit quand la vitesse de la roue 12.6 tours par secondes.

En réalité la grande difficulté de l'expérience de Fizeau est de déterminer la vitesse de rotation de la roue. La difficulté a été minimisée grâce à des compteurs installés sur les engrenages d'entraînement de la roue qui ont permis une mesure très précise de cette rotation de la roue. La vitesse de rotation permet ainsi dans les calculs de l'expérience d'établir la valeur du temps que met la lumière pour parcourir **$2D$**