

Animation

1. somme de 2 tensions sinusoïdales.
2. diffraction des ondes à la surface de l'eau
3. diffraction des ondes lumineuses
4. interférences (Mr Gastebois)
5. interférences (université de Nantes)
6. effet Doppler
7. spectres de raies d'absorption (Ostralo.net)

Table des matières

I) diffraction des ondes

- 1) le phénomène de diffraction
- 2) ondes lumineuses: relation entre longueur d'onde, taille de l'objet et ouverture angulaire

II) Interférences

- 1) le phénomène d'interférence
 - 2) Interprétation du phénomène d'interférence
- Animation:
- 3) Valeur de l'interfrange 'i'
 - 4) interférences de la lumière blanche: couleurs interférentielles

II) L'effet Doppler

- 1) Qu'est-ce que l'effet Doppler?
 - 2) Démonstration de l'effet Doppler
 - 3) L'effet Doppler Fizeau en astronomie
- Programme officiel

I) diffraction des ondes

1) le phénomène de diffraction

Vidéo de TP au laboratoire:

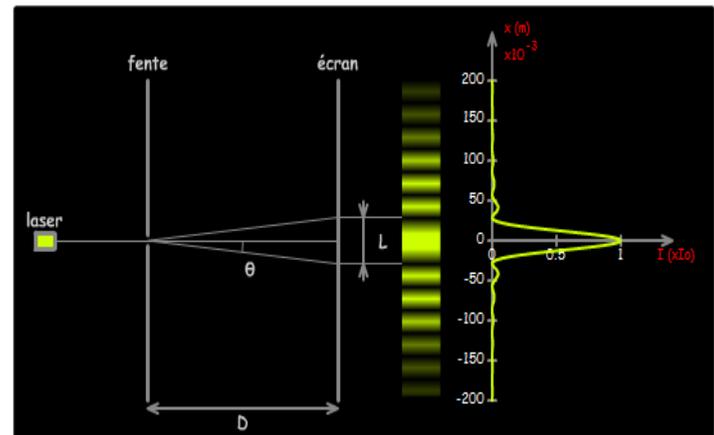
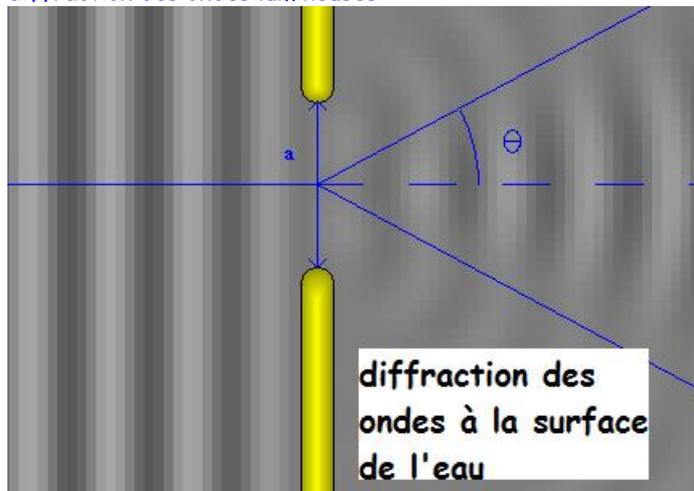
[diffraction lumineuse](#)

[diffraction des ondes à la surface de l'eau](#)

Animation: clique sur les animations suivantes et donne une définition de la diffraction.

[diffraction des ondes à la surface de l'eau](#)

[diffraction des ondes lumineuses](#)



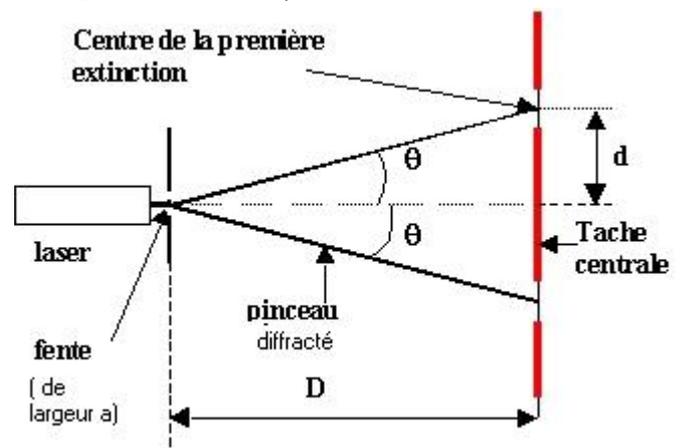
- $\lambda = 566 \text{ nm}$
- $D = 1.48 \text{ m}$
- $a = 29.0 \mu\text{m}$
- luminosité

diffraction d'une onde lumineuse monochromatique

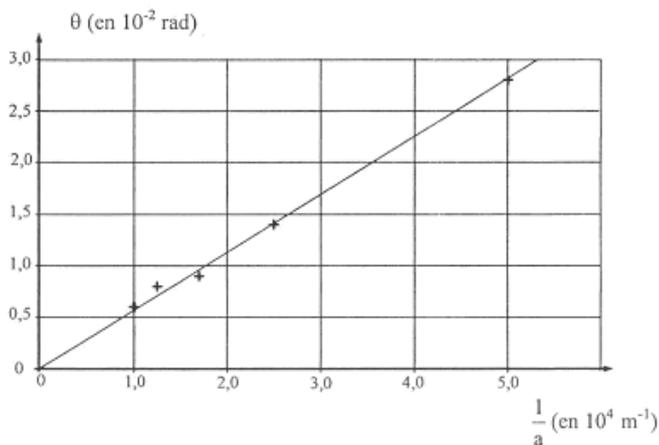
Lorsqu'une onde rectiligne rencontre un objet de dimension 'a' elle se propage alors dans toutes les directions: il y a diffraction de l'onde par l'objet. L'objet diffractant est une ouverture ou un obstacle.

2) ondes lumineuses: relation entre longueur d'onde, taille de l'objet et ouverture angulaire

On réalise la diffraction des ondes lumineuses avec un laser de longueur d'onde $\lambda = 5,8 \times 10^2 \text{ m}$. Schéma de l'expérience:



On fait varier la largeur 'a' de la fente. On calcule l'écart angulaire θ en fonction de la taille 'a'. L'écart angulaire est défini entre le milieu de la première extinction et l'axe du laser. On obtient le graphe suivant:



Calculer le coefficient directeur 'p' de la droite et en déduire une relation entre θ, λ et a .

Réponse: pour calculer 'p' prendre 2 points de la droite et trouver leurs coordonnées.

$$M_1 (1/a_1 = 0,9 \times 10^4 \text{ m}^{-1}; \theta_1 = 0,5 \times 10^{-2} \text{ rad})$$

$$M_2 (1/a_2 = 3,5 \times 10^4 \text{ m}^{-1}; \theta_2 = 2 \times 10^{-2} \text{ rad})$$

$$p = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1}} = \frac{(2 - 0,5) \times 10^{-2}}{(3,5 - 0,9) \times 10^4} = 5,8 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\Rightarrow p = \lambda$$

$$\text{conclusion: } \theta = \frac{\lambda}{a}$$

Lors du phénomène de **diffraction** d'une onde lumineuse monochromatique, l'**ouverture angulaire** θ (rad) du faisceau est peu différente du **rapport entre la longueur d'onde** λ (m) de la radiation lumineuse et la **largeur** 'a'(m) de la fente :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

L'écart angulaire étant très faible, la tangente de l'angle est peu différente de la valeur de l'angle en radian:

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{\lambda}{a}$$

or d'après la figure du schéma de l'expérience:

$$\tan \theta = \frac{d}{D} \text{ donc}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{\lambda}{a}; \text{ cette relation permet de déterminer}$$

expérimentalement la longueur d'onde du laser connaissant a, d et D . En effet :

$$\lambda = \frac{a \cdot d}{D}$$

d (m): distance entre le centre de la figure de diffraction et le milieu de la première extinction.

D (m) : distance entre la fente et la figure de diffraction. θ en radian (rad).

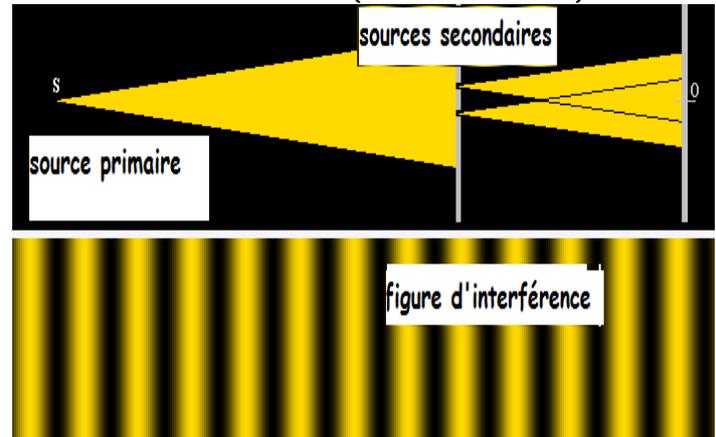
II) Interférences

1) le phénomène d'interférence

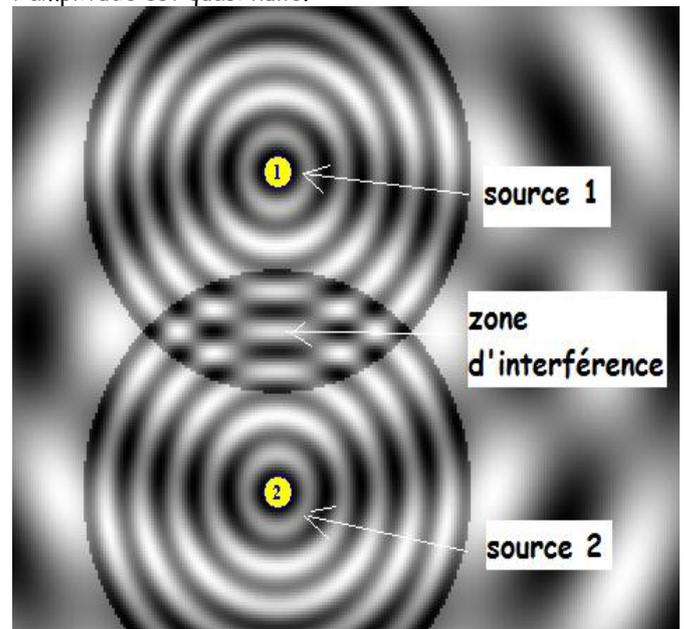
Animation : interférences (Mr Gastebois) Observer et décrire le phénomène d'interférence des ondes lumineuses et des ondes à la surface de l'eau.

Animation: [interférences université de Nantes](#)

Interférence lumineuse. On éclaire avec une source principale 2 ouvertures de largeur a . Celles ci envoient à leur tour de la lumière vers un écran. Ces 2 sources appelées sources secondaires ont la même fréquence et vibrent en phase. On dit qu'il s'agit de **sources synchrones**. On observe une **figure d'interférence** composée de zones lumineuses et de zones noires (absence de lumière).



Interférences d'ondes mécaniques à la surface de l'eau. 2 sources d'ondes cohérentes ou synchrones (c'est à dire de même fréquence et vibrant en phase) vont se superposer et produire une figure d'interférence à la surface de l'eau. Cette figure d'interférence est composée de lieux où l'amplitude des vagues est maximum et de lieux où l'amplitude est quasi nulle.

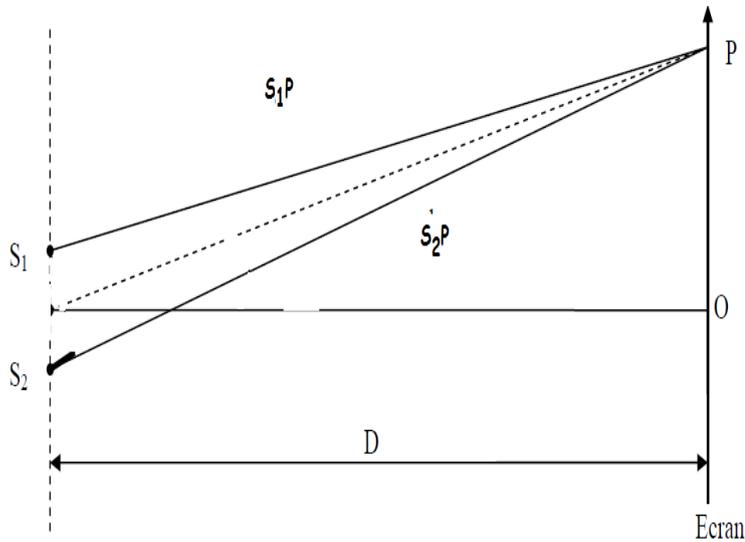


Conclusion: Lorsque des ondes périodiques progressives produites par 2 sources synchrones se superposent dans un milieu, des interférences sont produites. Des zones d'amplitude minimale et maximale apparaissent.

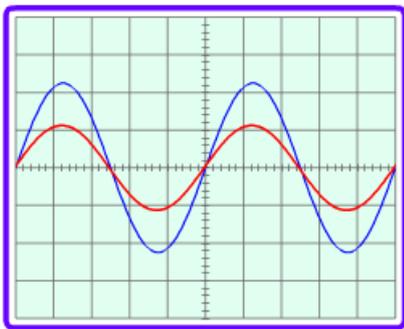
2) Interprétation du phénomène d'interférence

Animation: somme de 2 tensions sinusoïdales. Effectuer la somme de 2 tensions sinusoïdales en phase (atteignant leur maximum en même temps) puis la somme de 2 tensions en opposition de phase (quand l'une atteint son maximum l'autre atteint son minimum). Conclusion.

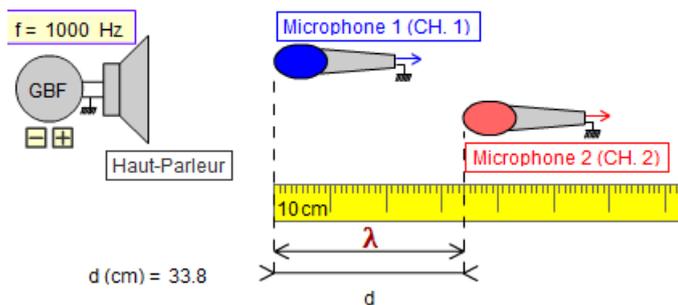
Considérons 2 sources cohérentes S_1 et S_2 et un point du milieu de propagation noté P. Les 2 ondes issues des sources arrivent en P. L'une a parcouru une distance S_1P , l'autre une distance S_2P . On appelle **différence de marche** la différence entre S_2P et S_1P . elle est notée $\delta(m)$.
 $\delta = S_2P - S_1P$



Rappel: On sait que 2 points d'un milieu éloignés d'un nombre égale de longueur d'onde $n\lambda$ vibrent en phase.

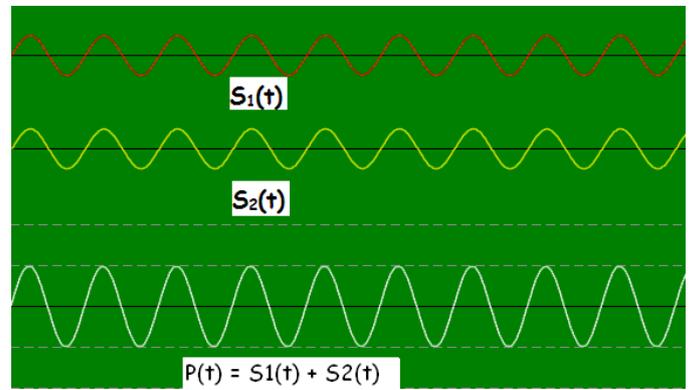


$b = 0.2 \text{ ms/div}$



Par conséquent si la **différence de marche** est égale à un **nombre entier de longueur d'onde** les 2 ondes qui vont arriver en P seront en **phase**. Les 2 ondes ont des **élongations maximales** en même temps, ce qui rend leur somme **maximale**: on dit alors que l'**interférence est constructive**.

si $\delta = S_2P - S_1P = n\lambda \Rightarrow$ interférence constructive

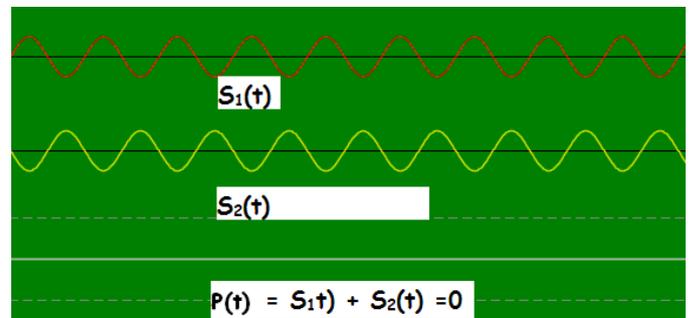


Par contre lorsque la différence de marche vaut :

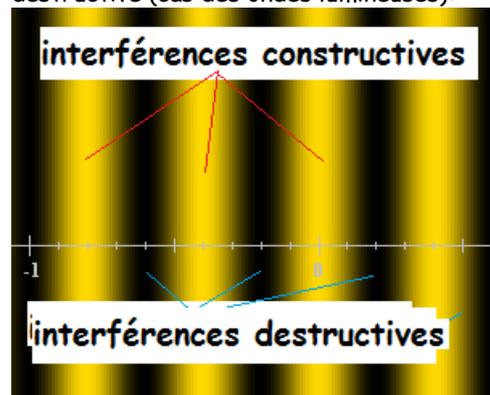
$$(n + \frac{1}{2})\lambda$$

($1/2, 3/2, 5/2 \dots$ longueur d'onde) alors les 2 signaux arrivant au point P sont en **opposition de phase**. La somme de ces 2 ondes est égale à 0. On dit alors que l'**interférence est destructive**.

si $\delta = S_2P - S_1P = (n + \frac{1}{2})\lambda \Rightarrow$ interférence destructive



Exemple: Lieu où la différence de marche entre 2 ondes issues de sources synchrones est constructive ou destructive (cas des ondes lumineuses):



Interférences constructives : **luminosité maximale**
 Interférences destructives : **luminosité nulle**

3) Valeur de l'interfrange 'i'

Cliquer sur l'animation suivante [interférences \(Mr Gastebois\)](#) faire varier la distance D, la longueur d'onde et la distance 'a' entre les 2 sources synchrones. Comment évolue alors la distance entre 2 milieux de zones d'ombres consécutives? Proposez une formule liant ces 4 grandeurs.

Lors des **interférences lumineuses**, la distance séparant deux milieux de zones d'ombres consécutives est appelée **interfrange** i . La valeur de l'interfrange i vaut:

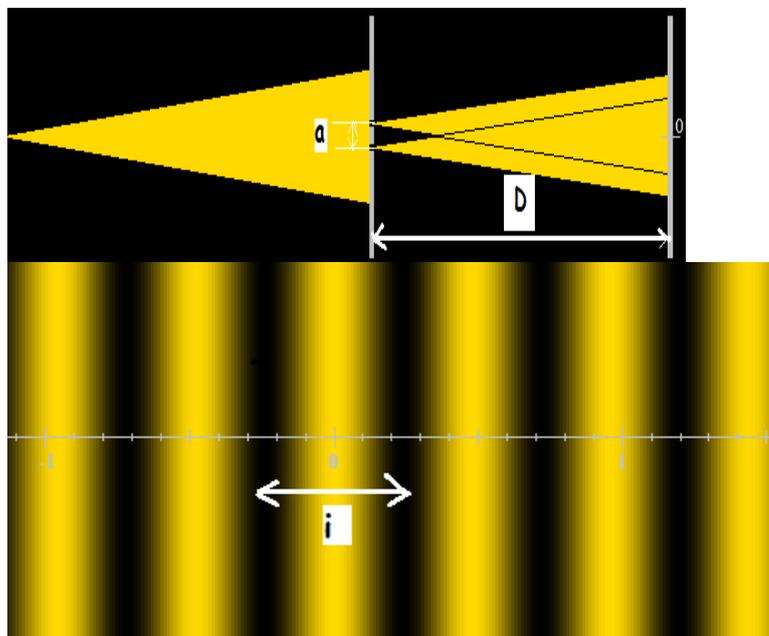
$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

D : distance (m) entre les sources secondaires et l'écran

a : distance(m) entre les 2 sources secondaires

λ : longueur d'onde (m) de la radiation monochromatique

i : interfrange, distance (m) entre 2 milieux consécutifs de zones d'ombre.



Quelle donnée peut-on calculer à partir de la valeur de l'interfrange? Connaissant D et a par la mesure, on peut déterminer la longueur d'onde de la radiation.

4) interférences de la lumière blanche: couleurs interférentielles

Cliquer sur l'animation suivante **interférences (Mr Gastebois)**, et choisir **lumière blanche**. On obtient la figure d'interférence suivante:



Si les sources secondaires émettent de la lumière blanche on n'observe que quelques franges colorées au centre de la figure d'interférences. Ce sont les couleurs interférentielles. Les 2 sources émettent plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes, correspondant à des figures d'interférences différentes qui se

superposent. Les couleurs sont **mêlées** car les franges de différentes couleurs se brouillent.

Exemple: couleurs interférentielles du colibri (vidéo). On observe également des couleurs interférentielles sur la surface d'une flaque d'essence, sur un CD etc..

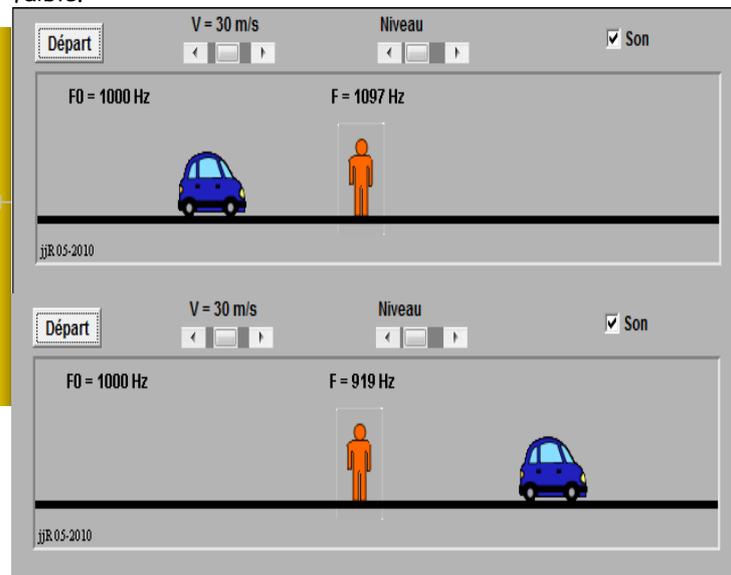
III) L'effet Doppler

1) Qu'est-ce que l'effet Doppler?

Clique sur l'animation suivante **effet Doppler**

Quelles sont les sensations auditives que vous percevez lors de l'approche puis de l'éloignement d'une ambulance?

Lorsqu'une ambulance se rapproche de vous le son est aigu ($f = 1097$ Hz sur le schéma ci dessous) et le niveau sonore est de plus en plus élevé. Par contre lorsque l'ambulance s'éloigne le son est plus grave ($f = 919$ Hz) que lorsque qu'elle s'approche et le niveau sonore est de plus en plus faible.



Une onde mécanique ou électromagnétique de fréquence au repos f_E est perçue avec :

- une fréquence f (approche) plus élevée lorsqu'elle s'approche du lieu de réception :

$$f(\text{approche}) > f_E$$

- une fréquence f (éloigne) plus faible lorsqu'elle s'éloigne du lieu de réception :

$$f(\text{éloigne}) < f_E$$

Cette effet est appelé l'**effet Doppler**

L'effet Doppler est utilisé, entre autre ; dans les radars automatiques pour déterminer les vitesses des véhicules.

2) Démonstration de l'effet Doppler

Soit une source se déplaçant avec une vitesse v en direction de l'observateur. Elle émet des ondes périodiques de période T se propageant avec une célérité c .

A l'instant $t_1 = 0$, l'onde est émet la première période, elle se trouve à une distance d_1 de l'observateur. Celui ci la reçoit à l'instant $t_2 = d_1/c$ ($c = d_1/t_2$)

A l'instant $t_3 = T$, l'onde émet une seconde période. La source a parcourue une distance $d_2 = v.t_3$. Elle se trouve donc à une distance $d_3 = d_1 - d_2 = d_1 - v.T$ de l'observateur. L'observateur reçoit cette seconde onde à l'instant $t_4 = T + d_3/c = T + (d_1 - v.T)/c$

Pour l'observateur la période l'onde perçue n'est plus T mais $T' = t_4 - t_2 = T + (d_1 - v \cdot T) / c - d_1 / c = T - v \cdot T / c$
 $T' = T(1 - v/C) < T!$

La fréquence f' du son reçu est plus aigu que celle émise par la source au repos car :

$$f' = 1/T' > f$$

De la même manière lorsque la source s'éloigne la période T'' de l'onde est:

$$T'' = T(1 + v/C) > T$$

La fréquence f'' du son reçu est plus grave que celle de la source au repos car:

$$f'' = 1/T'' < f$$

$f'' < f$ alors la longueur d'onde de l'onde reçu lors de l'éloignement est plus grande

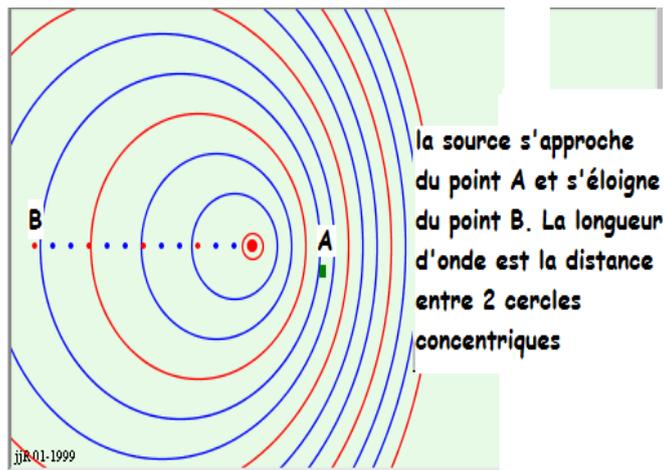
$f' > f$ alors la longueur d'onde de l'onde reçu

lors de l'approche est plus petite

$$\lambda' = v \cdot T' = \frac{v}{f'} < \lambda = \frac{v}{f}$$

$f'' < f$ alors la longueur d'onde de l'onde reçu lors de l'éloignement est plus grande

$$\lambda'' = v \cdot T'' = \frac{v}{f''} > \lambda = \frac{v}{f}$$



La valeur de la différence entre les 2 fréquences f_A ou f_B et la fréquence de l'émetteur au repos f_E , permet de calculer la vitesse v de déplacement de l'objet:

$$v = c \cdot \left(\frac{f_A - f_E}{f_A} \right)$$

$$v = c \cdot \left(\frac{f_E - f_B}{f_B} \right)$$

v ($m \cdot s^{-1}$): vitesse de déplacement de l'objet

f_A (Hz): fréquence de l'onde perçue au point A (l'objet s'en approche)

f_B (Hz): fréquence de l'onde perçue au point B (l'objet s'en éloigne)

f_E : fréquence de l'onde émise par la source

c ($m \cdot s^{-1}$): célérité de l'onde dans le milieu de propagation

Exemple: dans le cas du graphique ci dessus $f_A = 1097$ Hz, $f_B = 919$ Hz, $c = 340$ $m \cdot s^{-1}$, $f_E = 1000$ Hz. La vitesse v du véhicule est:

$$v = c \cdot \left(\frac{f_A - f_E}{f_A} \right) = c \cdot \left(\frac{f_E - f_B}{f_B} \right) = 32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3) L'effet Doppler Fizeau en astronomie

Rappel: [vidéo](#) sur les spectres de raies d'absorption

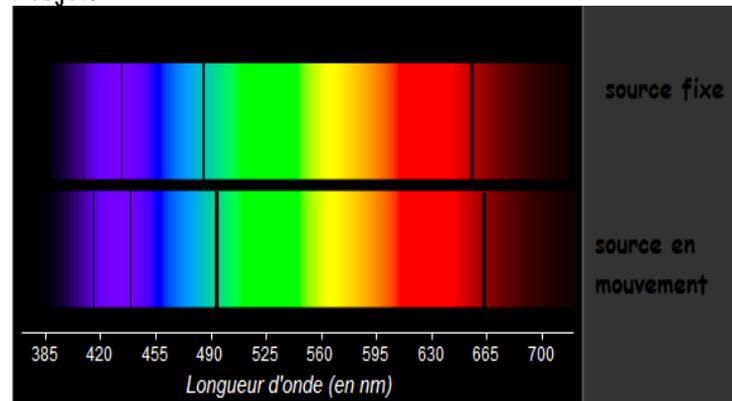
Animation: [spectres de raies d'absorption \(Ostralo.net\)](#)

A partir des travaux de C Doppler M Fizeau postule en 1848 que si une étoile ou une galaxie s'éloigne ou s'approche de la Terre on doit observer un décalage de ses raies d'absorption. La mesure de ce décalage permettrait de calculer la vitesse radiale de l'étoile (vitesse à laquelle l'astre s'approche ou s'éloigne de la Terre). Les calculateurs récents ont permis de vérifier son hypothèse.

Lorsque l'étoile s'approche de la Terre les longueurs d'onde correspondant aux raies noires du spectre d'absorption des éléments présents dans l'atmosphère de l'étoile:

- diminuent si l'étoile se rapproche
- augmente si elle s'éloigne.

Exemple: Voici le spectre d'absorption de l'hydrogène si la source est fixe par rapport au récepteur, puis si la source est en mouvement. La source s'éloigne ou se rapproche de l'objet?



L'objet s'éloigne car les longueurs d'onde correspondant aux raies noires de la source en mouvement sont plus grandes que celle du spectre de référence (source fixe). L'astronome anglais W. Huggins en 1868 mesura le décalage des raies de l'hydrogène dans le spectre de Sirius et en déduisit que Sirius s'éloigne du Soleil avec une vitesse de l'ordre de 45 $km \cdot s^{-1}$.

Programme officiel

Observer

Ondes et matière

Les ondes et les particules sont supports d'informations.

Comment les détecte-t-on ? Quelles sont les caractéristiques et les propriétés des ondes ?

Comment réaliser et exploiter des spectres pour identifier des atomes et des molécules ?

Propriétés des ondes

Notions et contenus	Compétences exigibles
Diffraction. Influence relative de la taille de l'ouverture ou de l'obstacle et de la longueur d'onde sur le phénomène	Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle.

de diffraction.	
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche.	<p>Connaître et exploiter la relation</p> <p>Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.</i></p>
Interférences.	<p>Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques.</p>
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.	<p><i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.</i></p>
Effet Doppler.	<p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.</i></p> <p>Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.</p> <p>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.</p>