. Ch.3. PROPRIETES DES ONDES

Programme officiel. Observer. Ondes et matière.

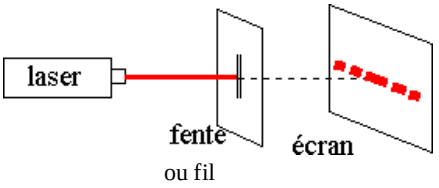
Quelles sont les caractéristiques et les propriétés des ondes ?

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 de diffraction.	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.
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche.	Connaître et exploiter la relation Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction. *Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.*
Interférences.	Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques.
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.	*Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.*
Effet Doppler.	*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.

I. LA DIFFRACTION DES ONDES

1. Observation avec des ondes lumineuses :

(Vidéo TP diffraction lumineuse : TS physique ch3: diffraction des ondes lumineuses en TP)

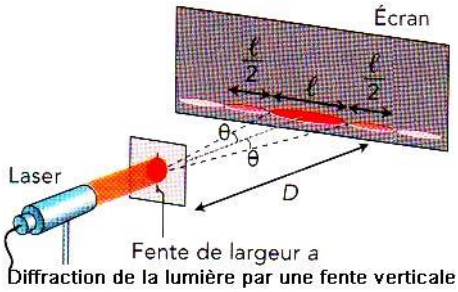


Dispositif expérimental pour l'observation de la diffraction des ondes lumineuses : un laser envoie une radiation monochromatique de longueur d'onde λ = 680 nm en direction d'un écran.

- Nous voyons que, sans obstacle, la radiation est unidirectionnelle : Le rayon lumineux n'est pas dévié.
- Puis, on interpose sur le trajet du rayon lumineux, un fil de diamètre 100 µm. L'écran est placé à 2 m du fil. On observe sur l'écran un phénomène remarquable.

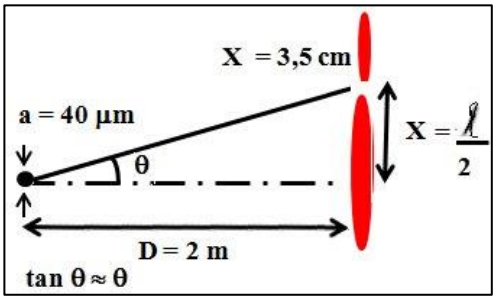
- Le figure obtenue est formée d'une **tache centrale très lumineuse** et de **taches latérales** dont les dimensions sont la moitié environ de la tache centrale. Entre la tache centrale et les taches latérales, il y a des zones d'ombre. La figure obtenue s'appelle **: figure de diffraction**. Remarquons également que la lumière qui se propageait de façon rectiligne précédemment, maintenant que l'on a interposé un obstacle, **se propage maintenant suivant un angle assez important** : ce phénomène est appelé **phénomène de diffraction des ondes lumineuses.**
- On remplace le fil de diamètre 100 µm par un fil dont le diamètre est a = 40 µm. **On voit que la figure de diffraction est beaucoup plus grande.**

Mesurons la longueur de la tache centrale. On trouve : l = 7,0 cm. Voir schéma expérimental.



Diffraction de la lumière par une fente verticale

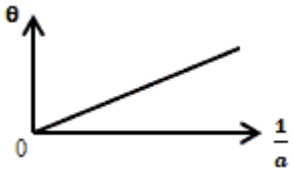
Déterminons la valeur de l'angle θ : angle entre le milieu de la tache centrale et le milieu de la première extinction.



- L'écart angulaire étant très faible, la tangente de l'angle est peu différente de la valeur de l'angle en radian: **tan θ ≈ θ. C'est l'approximation des petits angles**. θ est en effet petit car tan θ = $\frac{X}{D}$ et D est très grand devant x. Dans le triangle rectangle : tan θ = $\frac{X}{D} = \frac{\frac{l}{2}}{D} = \frac{l}{2D}$ soit $\theta = \frac{l}{2D}$
- D'autre part, on a vu que plus le diamètre du fil a est faible, plus l est grand donc plus θ est grand. On se demande quelle est la relation entre θ et l'inverse de a.

Voir TP :En TP , nous construisons la **courbe d'étalonnage. θ = f** $\left(\frac{1}{a}\right)$ en prenant des fils de diamètre 40 à 120 µm.

On mesure les différentes valeurs obtenues de l. On en déduit la valeur θ par la relation $\theta = \frac{l}{2D}$. Rappel : D = 2 m.



- **Remarque :** θ n'a pas de dimension physique puisque θ est en radian.
- **Ici : pour a = 40 µm :** $\theta = \frac{l}{2D} = \frac{7{,}0 \times 10^{-2}}{2 \times 2} = 1{,}75 \times 10^{-2}$ rad. D'autre part, $\frac{1}{a} = \frac{1}{40 \times 10^{-6}} = 2{,}5 \times 10^{4}$ **m^{-1}.**

  On a ainsi le point d'abscisse 1/ a = 2,5 x 10^4 m^{-1} et d'ordonnée θ =**1,75 x 10^{-2}** rad.

- **Graphe obtenu pour les différents fils de diamètres différents :**

On obtient une droite passant par l'origine : **θ et 1/a sont des grandeurs proportionnelles** : $\theta = k \cdot \frac{1}{a}$ avec k : coefficient directeur de la droite.

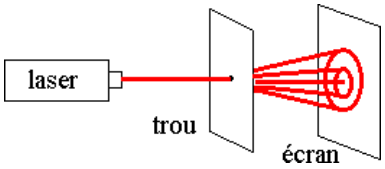
La détermination de la valeur conduit à environ 10^{-7} m ce qui correspond à 700 nm. On trouve que k est la longueur d'onde du laser utilisé (laser de 680 nm) : k = λ.

Conclusion : On a vérifié expérimentalement la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

La diffraction correspond au changement de direction de propagation d'une onde qui rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension (par rapport à sa longueur d'onde). Plus la taille de l'obstacle ou de l'ouverture est faible et plus le phénomène est marqué.

Lors du **phénomène de diffraction** d'une onde lumineuse monochromatique, **le demi-angle de diffraction** θ (rad) du faisceau est peu différent de $\theta = \frac{\lambda}{a}$ avec **λ : longueur d'onde (en m) de la radiation lumineuse et 'a' : largeur de la fente ou de l'obstacle (en m).**

• *Figure de diffraction obtenue avec un trou circulaire*



• En lumière polychromatique, chaque radiation de longueur d'onde λ donne sa propre figure de diffraction. La figure de diffraction présente des irisations.

Diffraction avec une fente éclairée en lumière blanche.

2. Diffraction d'ondes mécaniques

La diffraction s'applique aux ondes électromagnétiques (comme étudiées en TP : lumière monochromatique d'un LASER, lumière polychromatique d'une source de lumière blanche, ondes radio …).

Mais elle s'applique aussi aux ondes mécaniques, comme les ondes sonores ou les ondes à la surface de l'eau (la houle).

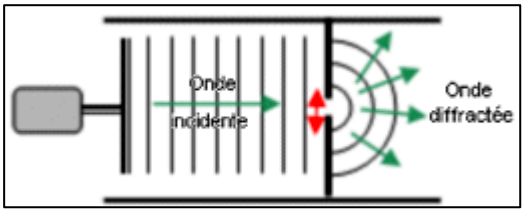
Voir ci-contre.

On remarque que le front des ondes est plan, puis il se courbe quand la houle arrive entre les rochers.

Remarque : le phénomène de diffraction se produit quand la dimension de l'obstacle « *a* » est du même ordre de grandeur que celle de la longueur d'onde « λ » des ondes.

Diffraction de la houle par une ouverture : à Pylos, en Grèce

Expériences de diffraction avec la cuve à onde.



Animation : Diffraction des ondes à la surface de l'eau

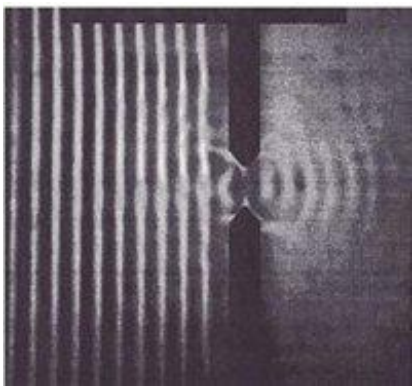
Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale rencontre une ouverture ou un obstacle de petite taille, sa propagation est modifiée : l'onde est déformée. On appelle ce phénomène la **diffraction**.

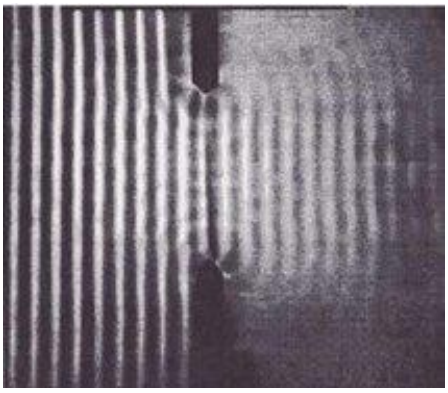
Lorsqu'une onde rectiligne rencontre un objet de dimension 'a' elle se propage alors dans toutes les directions: il y a diffraction de l'onde par l'objet. L'objet diffractant est une ouverture ou un obstacle.

Influence relative de la taille de l'ouverture (ou de l'obstacle) sur le phénomène de diffraction :

La diffraction de l'onde est d'autant plus marquée que les dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle sont proches de la valeur de la longueur d'onde (voir photo avec fente de 13 mm puis de 58 mm).

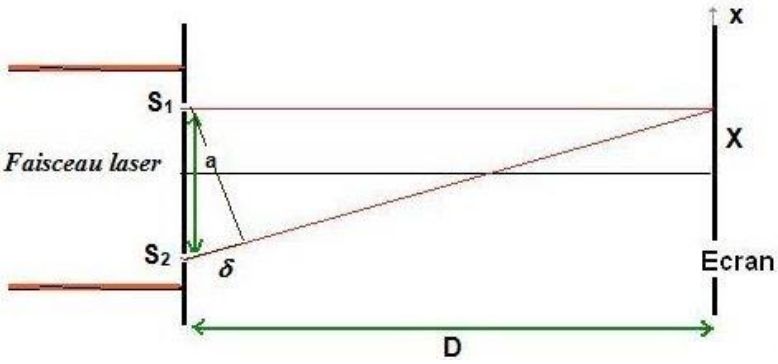
Ce phénomène de diffraction se manifeste si les dimensions d'une ouverture ou d'un obstacle sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde.
L'onde diffractée a la même longueur d'onde et la même fréquence que l'onde incidente.





3) Conclusion :

Définition : la diffraction correspond au changement de direction de propagation d'une onde qui rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension (par rapport à sa longueur d'onde). Plus la taille de l'obstacle ou de l'ouverture est faible et plus le phénomène est marqué.
La diffraction est caractéristique des ondes. La lumière ayant ce comportement, on peut en déduire qu'elle possède une nature ondulatoire.

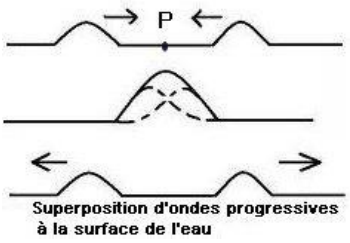


Faire exercices p. 76 n° 8, p. 77 n°15, p : 78 n°19.

II. LES INTERFERENCES

1) Interférences entre deux ondes mécaniques de même fréquence :

a) Superposition de 2 ondes :



• Un point P se trouvant simultanément sur le passage de 2 ondes qui se croisent se déplace sous l'effet des 2 perturbations: la perturbation résultant en ce point correspond à la « somme » des 2perturbations. Après le croisement, les 2 perturbations continuent sans être modifiées : c'est **le principe de superposition des petites vibrations.**

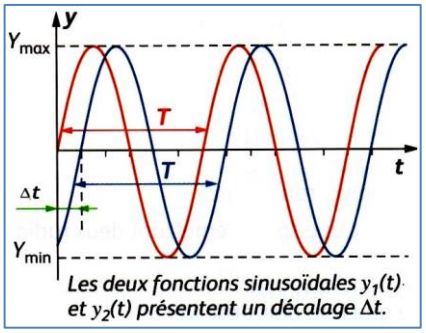
• Lorsque deux ondes sinusoïdales de même fréquence se superposent en un point P, **l'élongation résultante est la somme des élongations des 2 ondes en ce point**. On dit que les **ondes interfèrent au point P.**

b) Sources cohérentes :

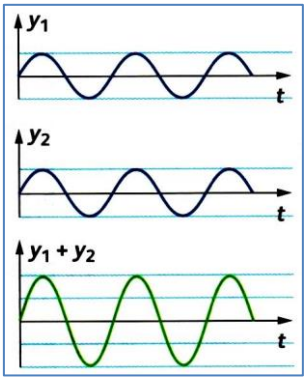
Il existe un **déphasage** entre deux fonctions sinusoïdales lorsqu'elles sont **décalées dans le temps**.

Deux sources sont **cohérentes si elles émettent des ondes sinusoïdales de même fréquence et si le retard de l'une par rapport à l'autre ne varie pas au cours du temps: elles gardent alors un déphasage constant.**

Si le décalage est nul ou multiple de la période, les deux courbes sont en phase. Si le maximum de l'une coïncide avec le minimum de l'autre, les deux courbes sont en opposition de phase. Nous supposerons dans la suite que ce déphasage est nul, c'est-à-dire que les sources sont en phase.



c) Interférences constructives et destructives :



• **2 ondes issues de 2 sources cohérentes interfèrent** en un point A du milieu.

$y_1(t)$ est l'élongation du point A due à la source S_1 seule.

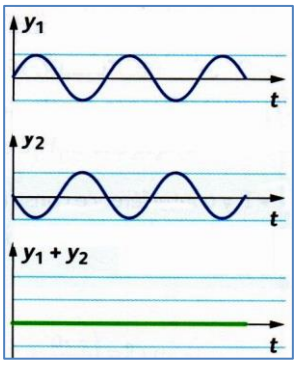
$y_2(t)$ est l'élongation du même point A due à la source S_2 seule.

Dans le cas choisi, les 2 ondes arrivent en A en phase.

L'amplitude de l'onde $y_1(t) + y_2(t)$ est alors maximale en A.

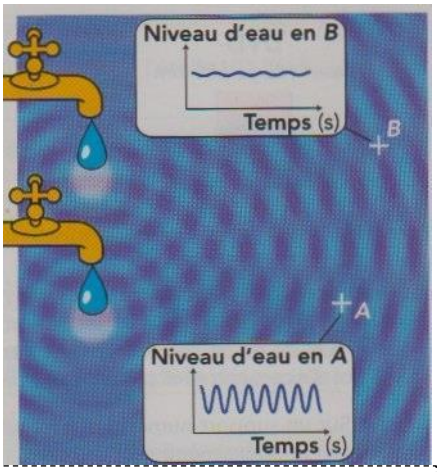
•Lorsque **les 2 ondes arrivent** en B **en opposition de phase**, à chaque instant en ce point B **l'élongation $y_1(t)$ due à la source S_1 est opposée à l'élongation $y_2(t)$ due à la source S_2.**

L'amplitude de $y_1(t) + y_2(t)$ est alors nulle en B (ou minimale si les amplitudes des ondes 1 et 2 ne sont pas égales).



•Il y a interférence constructive en un point A lorsque deux ondes provenant de deux sources cohérentes arrivent en phase en ce point A: l'amplitude de la vibration résultante en A est maximale.

• Il y a interférence destructive en un point B si les deux ondes arrivent en opposition de phase en ce point B : l'amplitude de la vibration résultante est minimale ou nulle.

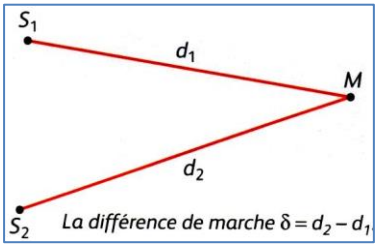


Remarque : Si les deux sources ne sont pas cohérentes, le phénomène d'interférence existe toujours mais il n'est pas observable, car en un point du milieu de propagation, le déphasage entre les deux ondes change continuellement comme le déphasage entre les deux sources.

d) Différence de marche :

• On appelle **différence de marche δ en un point M**, la différence entre les deux distances $d_1$et d_2, distances entre chacune des deux sources et le point M : **$\delta = d_2 - d_1 = S_2M - S_1M$.**

δ peut prendre des valeurs positives ou négatives.



• Le point M du milieu de propagation reproduit la vibration de la source S_1 avec un retard τ_1, et la vibration de la source S_2 avec un retard τ_2 .

Si v est la célérité des ondes dans le milieu de propagation, on a : **$\delta = d_2 - d_1$**= v. τ_2 - v. τ_1 = v (τ_2 - τ_1).

• *Démonstration : montrons que pour des interférences constructives, on a $\delta = k\lambda$:*

Il y a interférence constructive si τ_2 - τ_1= kT soit **$\delta = d_2 - d_1$**= v. kT or λ.= vT donc

$\delta = d_2 - d_1$ = kλ.

On observe des interférences constructives en tout point où $\delta = k.\lambda$.

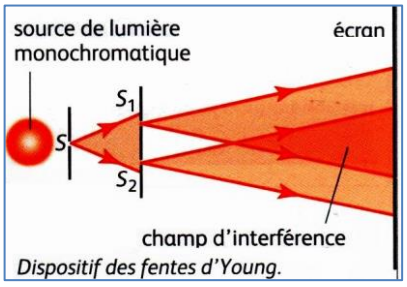
On observe des interférences destructives en tout point où $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} = k\lambda + \frac{1}{2}\lambda$ avec $k \in Z$.

2) Interférences en lumière monochromatique :

a) Obtention de deux sources cohérentes

Pour obtenir **2 sources lumineuses cohérentes**, il faut utiliser **2 sources secondaires créées à partir d'une source unique**. Les **fentes d'Young,** par exemple, utilisent ce principe.

Une fente de petite dimension diffracte la lumière d'une source monochromatique: cette fente joue le rôle d'une source S de lumière monochromatique, et éclaire deux fentes très proches l'une de l'autre. Ces deux fentes se comportent comme deux sources S_1 et S_2 cohérentes, en phase si la fente source est sur l'axe de symétrie du dispositif. Les faisceaux, diffractés par les deux fentes, interfèrent dans leur partie commune.



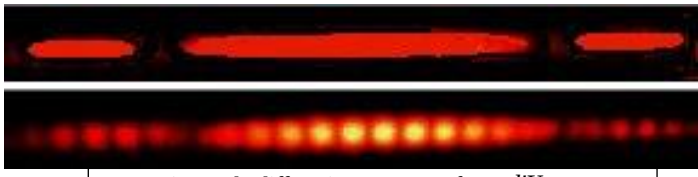
b) Franges d'interférences et interfrange :

• Lorsqu'une seule **fente** est éclairée en lumière monochromatique on obtient une figure de diffraction .

• Lorsqu'on éclaire **deux fentes proches et parallèles (fentes d'Young)** avec la lumière monochromatique, on observe une figure de diffraction striée d'une alternance de bandes noires et lumineuses appelées « franges d'interférences ».

Les franges d'interférences apparaissent dans la figure de diffraction.

Chaque fente se comporte comme une source lumineuse ponctuelle. La superposition des ondes issues de ces fentes est à l'origine de ce phénomène.



a. Figure de diffraction avec une fente d'Young.
b. Interférences obtenues avec 2 fentes d'Young).

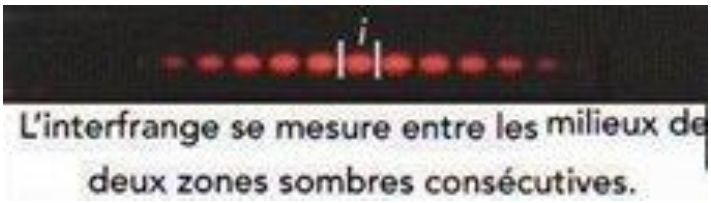
Lors d'interférences lumineuses, l'interfrange, noté i, est la distance séparant deux franges brillantes ou deux franges sombres consécutives. Avec un dispositif de fentes d'Young éclairé en lumière monochromatique de longueur d'onde λ, l'interfrange i s'exprime par : $i = \frac{\lambda . D}{b}$ b étant la distance séparant les deux fentes et D la distance entre le système de fentes et l'écran . (*Voir activité 3).*

La mesure de l'interfrange permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde de la lumière monochromatique.

Dans le cas de l'expérience des fentes d'Young dans l'air, la différence de marche des ondes qui interférent en P est $\delta = S_2P - S_1P$.

L'interfrange se mesure entre les milieux de deux zones sombres consécutives.

Faire exercices p : 74 n°4 - p. 77 n°17 : diffraction – interférences.

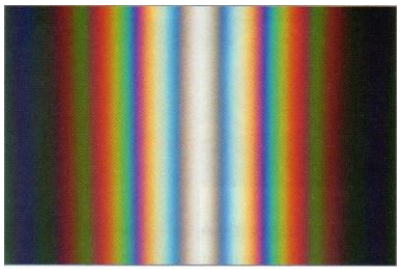


3) Lumière blanche et couleurs interférentielles :

a) Interférences en lumière blanche :

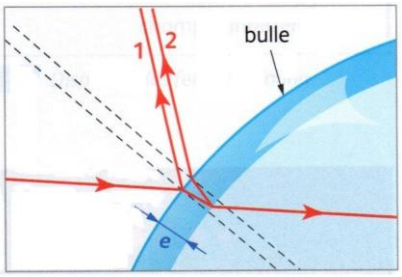
La lumière blanche émise par une source incandescente est formée d'une infinité de radiations monochromatiques de couleurs différentes. Chaque radiation forme une figure d'interférence, mais des radiations de fréquences différentes **n'interfèrent** pas entre elles. La figure d'interférence observée est donc l'addition des figures d'interférence de toutes les radiations.

L'interfrange n'étant pas le même pour chaque radiation car il dépend de λ, la figure d'interférence observée sur l'écran ne présente qu'une frange blanche (la frange centrale). On observe quelques franges brillantes irisées de part et d'autre.



Franges d'interférence en lumière blanche.

b) Couleurs interférentielles :



Réflexion de la lumière dans une bulle de savon

Certains objets ont des couleurs vives qui varient suivant l'angle sous lequel on les regarde. C'est le cas des ailes de certains papillons, des bulles de savon, des taches d'huile sur un sol mouillé ou encore des couches anti-reflets des objectifs photographiques.

Lorsqu'une couche transparente de très faible épaisseur est éclairée par de la lumière blanche, la lumière subit des réflexions sur les deux faces de la couche. Les rayons réfléchis interfèrent et l'interférence est destructive pour certaines longueurs d'onde: des couleurs apparaissent.

Ces couleurs dépendent de l'épaisseur *e* de la couche et de l'angle d'incidence.

❖ Couleurs d'une bulle de savon

Lorsqu'un rayon de lumière arrive sur une bulle, il subit de multiples réflexions sur les deux faces extérieure et intérieure de la bulle. Seuls les deux premiers rayons réfléchis 1 et 2 ont une intensité lumineuse non négligeable et très voisine. Ces deux rayons, issus de la même source peuvent interférer.

La différence de marche dépend de l'épaisseur de la bulle, qui n'est pas uniforme, et de l'angle d'incidence. Pour certaines longueurs d'onde, l'interférence est destructive. La lumière réfléchie n'est plus blanche mais colorée.

Faire exercice p : 82 n°30 : Couleurs interférentielles des colibris

❖ Filtres interférentiels

Les filtres interférentiels sont des lames qui fonctionnent sur le même principe qu'une bulle de savon : la lame, dont les faces sont planes et sont recouvertes d'une couche à fort pouvoir réfléchissant, a une épaisseur e rigoureusement constante.

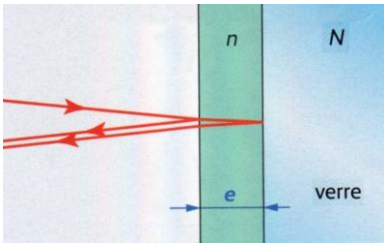
Compte tenu du traitement des faces, le nombre de rayons qui interfèrent est très important, en transmission comme en réflexion.

Le choix de l'épaisseur *e* permet de rendre ces filtres interférentiels très sélectifs en créant des interférences constructives pour une seule valeur du produit kλ. Ainsi, la lumière qui traverse ces filtres interférentiels est pratiquement monochromatique.

❖ Couche anti-reflet

C'est une couche transparente d'épaisseur *e* qui est placée sur les lentilles d'un objectif ou sur les verres correcteurs de lunettes.

En incidence normale, la différence de marche vaut *2ne*. L'épaisseur e est choisie pour donner des interférences destructives pour les longueurs d'onde situées au milieu du spectre visible (plus grande sensibilité de l'œil).



III. L'EFFET DOPPLER ?

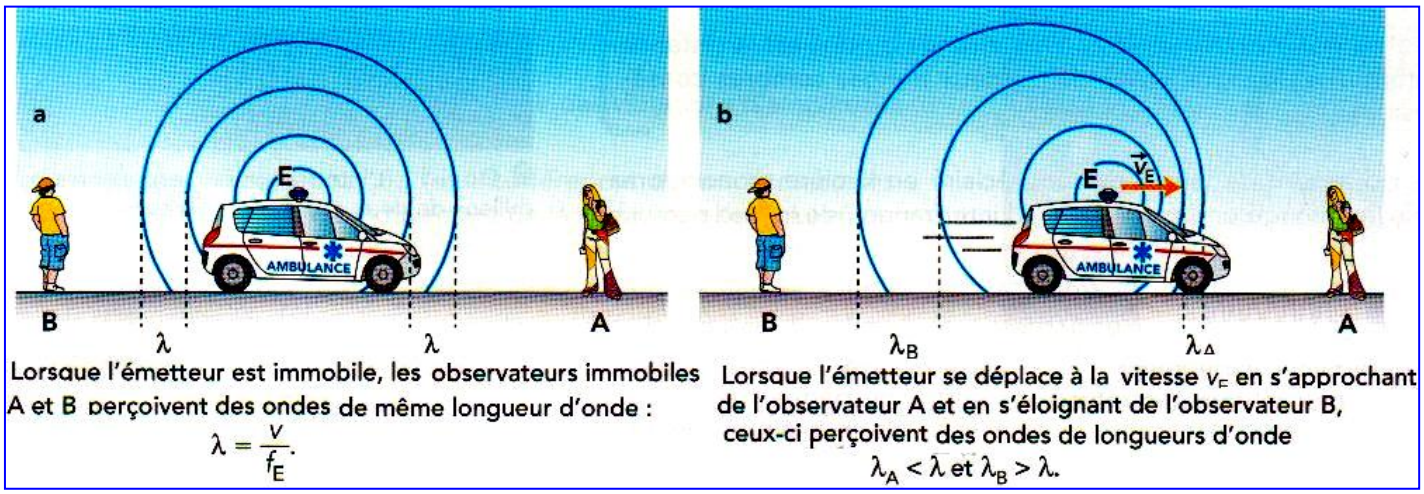
1) Définition :

Lorsqu'une sirène d'un camion de pomper s'approche d'un observateur, le son perçu parait plus aigu, puis plus grave lorsque le camion s'éloigne. La fréquence de l'onde sonore reçue par l'observateur varie lorsque l'émetteur se déplace.

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde mesurée entre l'émission et la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

C'est un phénomène assez courant que l'on rencontre presque tous les jours sans pour autant qu'on s'en rende compte.
Par exemple, on pourra expliquer grâce à cet effet pourquoi la sirène d'une ambulance paraît plus aiguë lorsqu'elle s'approche d'un observateur et plus grave si elle s'éloigne de lui.
De la même façon, on pourra expliquer pourquoi une voiture de formule 1 qui passe près de nous a un son strident, voir aigu, et lorsqu'elle s'éloigne, la hauteur du son semble décroître.
Quand une source sonore se rapproche d'un observateur il y a une compression des ondes sonores ; la longueur d'onde perçue est plus courte et le son émis semble plus aigu.
Quand une source sonore s'éloigne d'un observateur il y a une décompression des ondes sonores ; la longueur d'onde perçue est plus longue et le son émis semble plus grave.
Cet effet est utilisé pour mesurer une vitesse. Il est d'une grande importance en astronomie, en médecine …

2) Décalage Doppler à faible vitesse :



Lorsque l'émetteur est immobile, les observateurs immobiles A et B perçoivent des ondes de même longueur d'onde : $\lambda = \frac{v}{f_E}$.

Lorsque l'émetteur se déplace à la vitesse v_E en s'approchant de l'observateur A et en s'éloignant de l'observateur B, ceux-ci perçoivent des ondes de longueurs d'onde $\lambda_A < \lambda$ et $\lambda_B > \lambda$.

Dans le cas où la **vitesse de la source (émetteur) v** est faible par rapport à la célérité c de l'onde, l'expression de la fréquence perçue se simplifie :

- $f' = f\left(1 + \frac{v}{c}\right)$ lorsque la source et le récepteur se rapprochent.
- $f' = f\left(1 - \frac{v}{c}\right)$ lorsque la source et le récepteur s'éloignent.

La différence f '- f, notée Δf, est le décalage Doppler.

Une onde, de célérité *c*, dont la fréquence d'émission est *f*, est perçue par un observateur dont la vitesse par rapport à la source est v, petite par rapport à *c*, **avec un décalage Doppler de fréquence $\Delta f = f.\frac{v}{c}$:**

- **si l'observateur et la source se rapprochent l'un de l'autre, la fréquence perçue est *f* +Δf,**
- **si l'observateur et la source s'éloignent l'un de l'autre, la fréquence perçue est *f*- Δ*f*.**

Application :

Le klaxon d'une voiture à l'arrêt émet un son sinusoïdal de fréquence f= 480 Hz. Lors d'un déplacement, le conducteur aperçoit un piéton en train de traverser et klaxonne. Le piéton perçoit un son de fréquence f'= 508 Hz. Quelle est la vitesse v de la voiture ? La célérité du son dans l'air est c = 340 m.s^{-1}.

Le décalage Doppler entre la fréquence du son émis par le klaxon au repos (*f= 480 Hz)* et la fréquence du son perçu par le piéton (*f'= 508 Hz)* est Δf = f'- f = 28 Hz. Comme le son perçu est plus aigu, la voiture se rapproche donc du piéton. On a : $\Delta f = f.\frac{v}{c}$

La vitesse de la voiture est donc v = c. $\frac{\Delta f}{f}$ = 340 x $\frac{28}{480}$ = 20 m.s^{-1}.

Dans le cas d'un réflecteur, la formule devient : $f' = f\left(1 + \frac{2v}{c}\right)$

3) Exemples d'effet Doppler dans la vie courante :

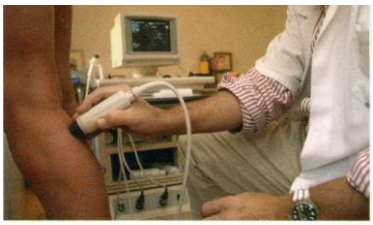
- Les **radars automatiques** pour les contrôles routiers se présentent sous forme d'une « armoire » contenant un ou plusieurs cinémomètre(s), une caméra et un flash.

Un radar de contrôle routier est un instrument servant à mesurer la vitesse des véhicules circulant sur la voie publique à l'aide d'ondes radar.
Le radar émet une onde continue qui est réfléchie par toute cible se trouvant dans la direction pointée.
Par effet Doppler, cette onde réfléchie possède une fréquence légèrement différente de celle émise : plus grande fréquence pour les véhicules s'approchant du radar et plus petite pour ceux s'en éloignant. En mesurant la différence de fréquence entre l'onde émise et celle réfléchie, on peut calculer la vitesse de la «cible». Les radars sont à la fois émetteurs et récepteurs.

• **En météorologie**, le radar Doppler permet d'analyser la vitesse et le mouvement des perturbations et de fournir des prévisions de grêle, de pluies abondantes, de neige ou de tempêtes.

• **En imagerie médicale :** une échographie Doppler permet de déterminer la vitesse d'écoulement des fluides biologiques en déterminant la variation de fréquence d'une onde ultrasonore lorsque celle-ci se réfléchit sur les cellules du fluide en mouvement.

• **En astronomie :** l'analyse du spectre de la lumière émise par un astre permet de déceler un décalage en fréquence par rapport au spectre obtenu au laboratoire. La mesure du décalage permet d'estimer la vitesse de l'astre (voir paragraphe suivant).


Mesure de la vitesse du sang par effet Doppler

4) Application de l'effet Dopler à l'astronomie : l'effet Doppler-Fizeau

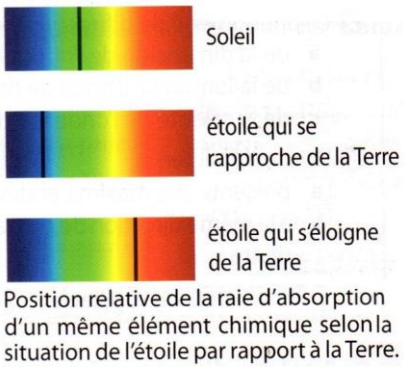
L'effet Doppler appliqué à la lumière permet de mesurer les vitesses radiales* des étoiles par rapport à la Terre dans la direction d'observation.

** La vitesse radiale d'une étoile est la vitesse à laquelle elle s'éloigne ou se rapproche de la Terre*

La mesure du décalage permet d'accéder à la vitesse relative de l'étoile en comparant les positions sur le spectre de l'étoile des raies d'absorption d'un élément chimique avec les positions de ces mêmes raies sur le spectre du Soleil, considéré comme fixe.

Lorsqu'une étoile s'éloigne de la Terre, son spectre d'absorption se décale vers les basses fréquences, donc vers les grandes longueurs d'onde (ce décalage vers le rouge est appelé « redshift »), et inversement (ce décalage vers le bleu est appelé « blueshift »).

Par exemple, si l'astre s'éloigne de nous, la fréquence d'une raie d'absorption qui, pour une source immobile, a la valeur *f*, prend une valeur diminuée de $\Delta f = f\frac{v}{c}$, ce qui permet de calculer $v = c.\frac{\Delta f}{f}$.

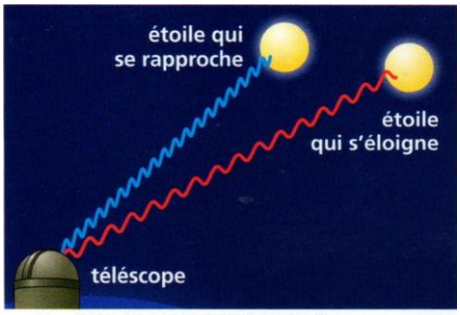


Position relative de la raie d'absorption d'un même élément chimique selon la situation de l'étoile par rapport à la Terre.

La **mesure du décalage des raies d'absorption d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile permet de déterminer si celle-ci s'éloigne ou se rapproche de la Terre, ainsi que sa vitesse de déplacement.**

Lorsque l'étoile s'éloigne de la Terre : le spectre d'absorption se décale vers le rouge (augmentation de la longueur d'onde)

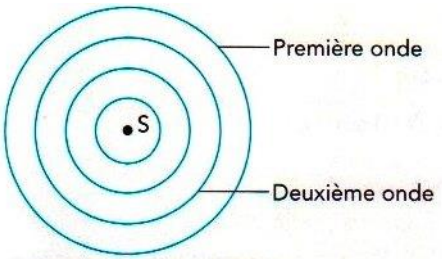
Lorsque l'étoile se rapproche de la Terre : le spectre d'absorption se décale vers le bleu (diminution de la longueur d'onde)



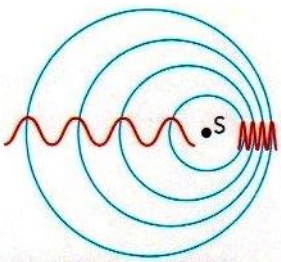
Décalage vers le bleu ou le rouge selon que l'étoile se rapproche ou s'éloigne.

EXERCICES Ch.3 p : 85 n°36 . RADAR ET EFFET DOPPLER - Comprendre un énoncé

Un véhicule muni d'une sirène est immobile. La sirène émet un son de fréquence f = 680 Hz. Le son émis à la date t = 0 se propage dans l'air à la vitesse c = 340 $m.s^{-1}$ à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.
Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v inférieure à c. Les figures ci-dessous représentent le front de l'onde sonore à la date t = 4 T.



a. Le véhicule est immobile.



b. Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v < c.

Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile.
Pendant l'intervalle de temps T, le son parcourt la distance λ.
Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance d = v.T.
La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source S a donc l'expression suivante : $\lambda' = \lambda - v.T$ **(1)**

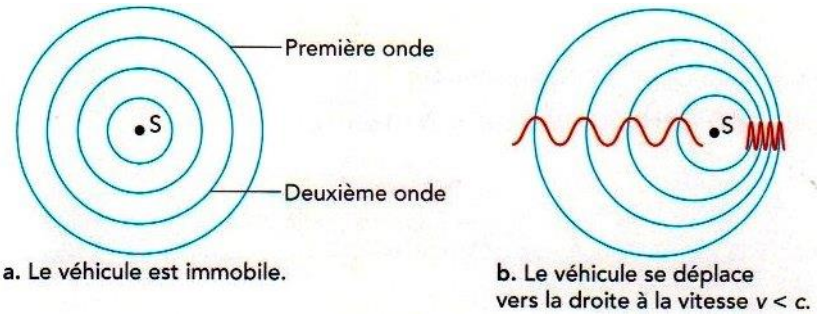
1. À partir de la relation (1) et de celle liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde, montrer que : $f' = f.\frac{c}{c-v}$ f' étant la fréquence sonore perçue par l'observateur.
2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.
3. Exprimer, puis calculer en $km.h^{-1}$, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence f' = 716 Hz.
4. a .Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ" et de la nouvelle fréquence f" perçues par l'observateur en fonction de f, v et c.
   b. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine. Justifier.

Exercices à faire :
p : 76 n°13 : Comparer des fréquences
p : 81 n°26 : Expérience historique

Solution. EXERCICES Ch.3 p : 85 n°36 . RADAR ET EFFET DOPPLER –

Comprendre un énoncé

Un véhicule muni d'une sirène est immobile. La sirène émet un son de fréquence f = 680 Hz. Le son émis à la date t = 0 se propage dans l'air à la vitesse c = 340 m.s^{-1} à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.
Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v inférieure à c. Les figures ci-dessous représentent le front de l'onde sonore à la date t = 4 T.



a. Le véhicule est immobile.
b. Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v < c.

Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile.
Pendant l'intervalle de temps T, le son parcourt la distance λ.
Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance d = v.T.
La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source S a donc l'expression suivante : λ'= λ - v.T **(1)**

1. À partir de la relation (1) et de celle liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde, montrer que :
f' = f . $\frac{c}{c-v}$ f' étant la fréquence sonore perçue par l'observateur.
2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.
3. Exprimer, puis calculer en km.h^{-1}, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence f' = 716 Hz.
4.a .Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ" et de la nouvelle fréquence f" perçues par l'observateur en fonction de f, v et c.
b. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine. Justifier.

Le véhicule se rapproche :

1. La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur λ'= λ - v.T (λ : longueur d'onde du son émis de célérité c = 340 m.s^{-1}.
Soit : $\frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f}$ avec v : vitesse du véhicule. On tire f' de cette relation :
$\frac{c}{f'} = \frac{c-v}{f}$ On inverse les 2 membres de l'équation : $\frac{f'}{c} = \frac{f}{c-v}$ soit f ' = f. $\frac{c}{c-v}$
2. On a $\frac{c}{c-v}$ > 1 donc f ' > f : la fréquence du son perçu est plus grande. Le son perçu est plus aigu quand le véhicule se rapproche de l'observateur..

3. Vitesse du véhicule sachant que f' = 716 Hz :
Décalage Doppler : différence de fréquence Δf = f.$\frac{v}{c}$: On en déduit v = c . $\frac{\Delta f}{f}$ On a Δf = f' – f = 716 -680 = 36Hz.
A.N. : v = 340 x $\frac{36}{680}$ = **18 m.s^{-1}** **v** = 18. 10^{-3} x 3600 = **65 km.h^{-1}.**

4. **Le véhicule s'éloigne:**

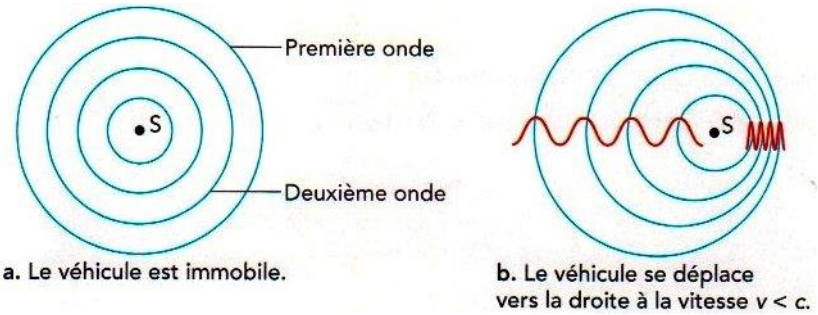
a. La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur λ''= λ + v.T soit $\frac{c}{f''} = \frac{c}{f} + \frac{v}{f}$ soit $\mathbf{f'' = f.\frac{c}{c+v}}$

b. On a $\frac{c}{c+v}$ < 1 donc f '' < f : la fréquence du son perçu est plus petite. Le son perçu est plus grave quand le véhicule s'éloigne de l'observateur.

EXERCICES Ch.3 p : 85 n°36 . RADAR ET EFFET DOPPLER –

Comprendre un énoncé

Un véhicule muni d'une sirène est immobile. La sirène émet un son de fréquence f = 680 Hz. Le son émis à la date t = 0 se propage dans l'air à la vitesse c = 340 $m.s^{-1}$ à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.
Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v inférieure à c. Les figures ci-dessous représentent le front de l'onde sonore à la date t = 4 T.



a. Le véhicule est immobile.

b. Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v < c.

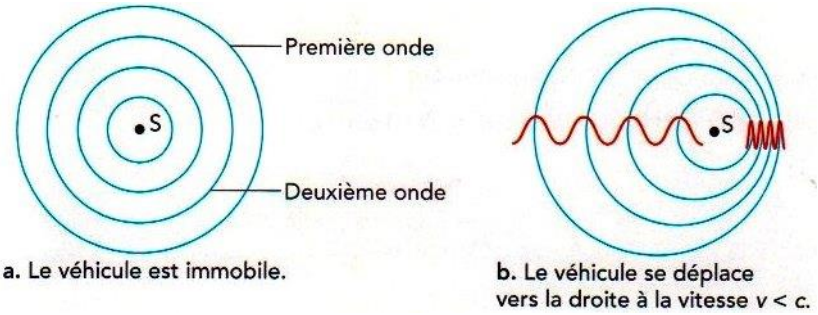
Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile.
Pendant l'intervalle de temps T, le son parcourt la distance λ.
Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance d = v.T.
La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source S a donc l'expression suivante : $\lambda' = \lambda - v.T$ **(1)**

1. À partir de la relation (1) et de celle liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde, montrer que :
   $f' = f . \frac{c}{c - v}$ f' étant la fréquence sonore perçue par l'observateur.
2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.
3. Exprimer, puis calculer en $km.h^{-1}$, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence f' = 716 Hz.
4. a .Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ" et de la nouvelle fréquence f" perçues par l'observateur en fonction de f, v et c.
   b. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine. Justifier.

EXERCICES Ch.3 p : 85 n°36 . RADAR ET EFFET DOPPLER –

Comprendre un énoncé

Un véhicule muni d'une sirène est immobile. La sirène émet un son de fréquence f = 680 Hz. Le son émis à la date t = 0 se propage dans l'air à la vitesse c = 340 $m.s^{-1}$ à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.
Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v inférieure à c. Les figures ci-dessous représentent le front de l'onde sonore à la date t = 4 T.



a. Le véhicule est immobile.

b. Le véhicule se déplace vers la droite à la vitesse v < c.

Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile.
Pendant l'intervalle de temps T, le son parcourt la distance λ.
Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance d = v.T.
La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source S a donc l'expression suivante : $\lambda' = \lambda - v.T$ **(1)**

1. À partir de la relation (1) et de celle liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde, montrer que :
   $f' = f . \frac{c}{c - v}$ f' étant la fréquence sonore perçue par l'observateur.
2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.
3. Exprimer, puis calculer en $km.h^{-1}$, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence f' = 716 Hz.
4. a .Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ" et de la nouvelle fréquence f" perçues par l'observateur en fonction de f, v et c.
   b. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine. Justifier.