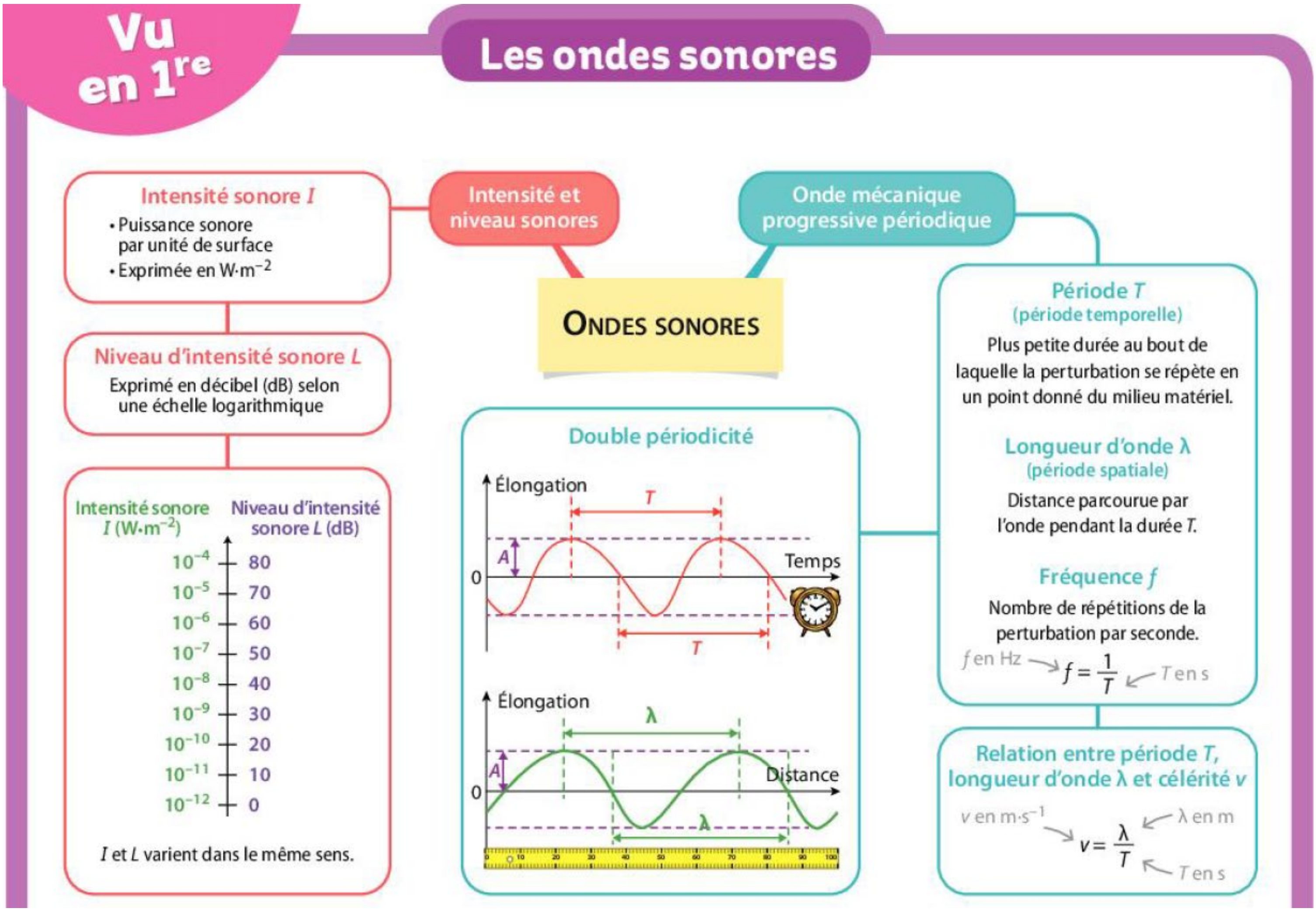
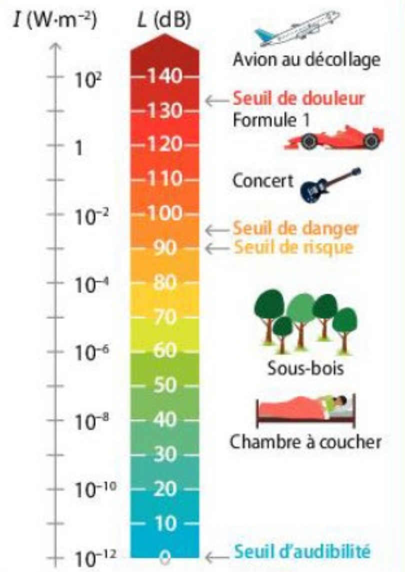

Vu en 1re
Les ondes sonores
Intensité sonore I
• Puissance sonore par unité de surface
• Exprimée en $W \cdot m^{-2}$
Intensité et niveau sonores
Onde mécanique progressive périodique
ONDES SONORES
Niveau d'intensité sonore L
Exprimé en décibel (dB) selon une échelle logarithmique
Intensité sonore I ($W \cdot m^{-2}$)
Niveau d'intensité sonore L (dB)
10^{-4} 80
10^{-5} 70
10^{-6} 60
10^{-7} 50
10^{-8} 40
10^{-9} 30
10^{-10} 20
10^{-11} 10
10^{-12} 0
I et L varient dans le même sens.
Double périodicité
Élongation
T
A
0
Temps
Élongation
λ
Distance
Période T
(période temporelle)
Plus petite durée au bout de laquelle la perturbation se répète en un point donné du milieu matériel.
Longueur d'onde λ
(période spatiale)
Distance parcourue par l'onde pendant la durée T.
Fréquence f
Nombre de répétitions de la perturbation par seconde.
f en Hz
$f = \frac{1}{T}$
T en s
Relation entre période T, longueur d'onde λ et célérité v
v en $m \cdot s^{-1}$
$v = \frac{\lambda}{T}$
λ en m
T en s

A Échelle d'intensité sonore I et de niveau d'intensité sonore L



> Par convention, les seuils correspondent aux moyennes calculées sur la population pour des sons de fréquence 1 000 Hz.

B Sonomètre mesurant un niveau d'intensité sonore

1 Le niveau d'intensité sonore

a. Intensité sonore

- Nous percevons les sons de manière plus ou moins intense.

L'**intensité sonore I** est la puissance P par unité de surface S transportée par une onde sonore.

$$I = \frac{P}{S}$$

I en W·m^{-2} ; P en W ; S en m^2

- L'oreille humaine perçoit des signaux sonores dont l'intensité sonore est comprise entre une valeur minimale (seuil d'audibilité) et une valeur maximale (seuil de douleur) (échelle **A**). Ces seuils dépendent de la fréquence du son perçu et varient d'un individu à un autre.

b. Niveau d'intensité sonore

- L'écart, de l'ordre de 10^{14} W·m^{-2}, entre les intensités sonores extrêmes rend peu pratique l'utilisation de cette grandeur. C'est pourquoi on définit le **niveau d'intensité sonore L**, plus facilement exploitable, à partir de l'intensité associée au seuil d'audibilité (échelle **A**).

Le **niveau d'intensité sonore L** est défini par :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

L en dB ; I et I_0 en W·m^{-2}

I_0 est l'**intensité sonore de référence**.

Le **niveau d'intensité sonore** noté L, comme *level* qui signifie « niveau » en anglais, a pour unité le décibel (dB). Il est mesuré à l'aide d'un sonomètre (photographie **B**).
L'**intensité sonore de référence** choisie, notée I_0, correspond au seuil d'audibilité moyenne à 1 kHz : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2} (échelle **A**).

- Lorsque plusieurs instruments de musique jouent ensemble, les intensités sonores I des sons de chaque instrument s'ajoutent. En revanche, les niveaux d'intensité sonore L ne s'ajoutent pas.

Exemple : Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2 et devient $I' = 2I$, alors le niveau d'intensité sonore L devient L'.

$$L' = 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right) \text{ d'où } L' = 10\log\left(\frac{2I}{I_0}\right)$$

$$L' = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) + 10\log(2) \text{ soit } L' = L + 3$$

Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore L augmente de 3 dB.

La fonction $x \mapsto 10^x$ est la réciproque de la fonction logarithme décimal de x : $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$). Elle permet de **calculer I à partir de L**.

- En partant de la définition du niveau d'intensité sonore $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, on obtient :

$$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10} \text{ soit } \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

Il est donc possible de calculer une intensité sonore à partir du niveau d'intensité sonore correspondant.

Point maths Côté maths 8 p. 357

- La fonction $x \mapsto \log x$ est appelée logarithme décimal de x.
- Les fonctions $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) et $x \mapsto 10^x$ sont disponibles sur une calculatrice.
- Propriétés de la fonction $x \mapsto 10^x$:

$$10^{(a+b)} = 10^a \times 10^b$$
$$10^{(a-b)} = \frac{10^a}{10^b}$$
$$10^{\log a} = a \text{ pour tout } a > 0$$

- Propriétés de la fonction $x \mapsto \log x$ pour tout $a > 0$ et $b > 0$:

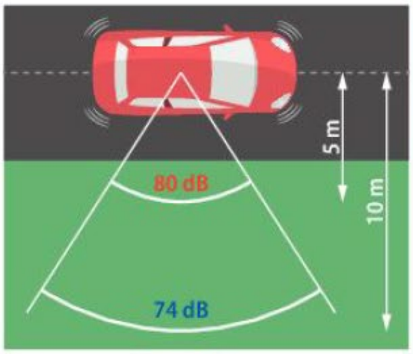
$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$
$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$$
$$\log(10^a) = a$$

c. Atténuation géométrique

L'intensité sonore est égale à la puissance de l'onde par unité de surface. Lorsqu'une onde se propage à partir d'une source ponctuelle, l'énergie transportée par l'onde se répartit sur une surface de plus en plus grande. L'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore diminuent donc.

Exemple : Lorsque la distance à la source est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore est atténué de 6 dB (dessin C).

C Atténuation géométrique



> Quand la distance à la source est multipliée par 2, l'onde se répartit sur une surface $2^2 = 4$ fois plus grande. Alors, le niveau d'intensité sonore diminue de 6 dB.

L'**atténuation géométrique** A, en décibel (dB), est la diminution du niveau d'intensité sonore L lorsque la distance à la source sonore augmente : $A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}}$

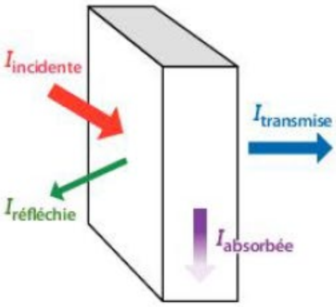
d. Atténuation par absorption

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, elle peut être transmise, réfléchie ou absorbée (schéma D).

L'**atténuation par absorption** A, en décibel (dB), évalue l'efficacité d'un matériau à lutter contre la transmission de bruit :

$$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$$

D Interactions entre une onde sonore et une paroi



2 L'effet Doppler

a. Présentation de l'effet Doppler

- Le son émis par un véhicule est perçu plus aigu quand le véhicule s'approche d'un observateur, et plus grave quand il s'en éloigne.

L'**effet Doppler** est l'existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde électromagnétique ou mécanique émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie. Le **décalage Doppler** est $\Delta f = f_R - f_E$.

- La fréquence f d'une onde, sa période T et sa longueur d'onde λ sont liées les unes aux autres, l'effet Doppler correspond donc aussi à un décalage de période ou de longueur d'onde.

Le **signe du décalage Doppler** dépend du sens d'évolution de la distance entre l'émetteur E et le récepteur R.

Rapprochement de E et R	Distance constante entre E et R	Éloignement de E et R
		
Lorsque l'émetteur (Samu) s'approche du récepteur (brancardier), celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R < \lambda_E$. Alors $T_R < T_E$ et $f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$	Lorsque l'émetteur est immobile par rapport au récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R = \lambda_E$. Alors $T_R = T_E$ et $f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$	Lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R > \lambda_E$. Alors $T_R > T_E$ et $f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Le décalage Doppler

VIDÉO DE COURS

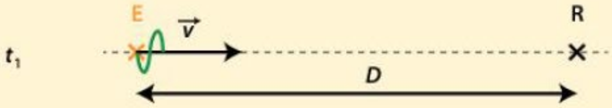
E Radar routier utilisant l'effet Doppler

b. Expression du décalage Doppler

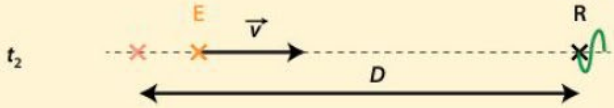
• L'expression du décalage Doppler dépend du type d'onde, de la nature du mouvement de l'émetteur par rapport au récepteur et de la présence éventuelle d'une réflexion des ondes (photographie **E**).

Considérons un émetteur d'ondes sonores E, qui se rapproche d'un récepteur fixe R avec une vitesse de valeur v. E émet avec une période T_E une succession de signaux qui se propagent à la célérité $v_{onde} > v$.

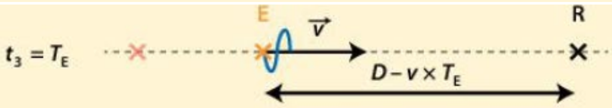
• À une date $t_1 = 0$ s, un signal est émis par E, alors que la distance entre E et R est égale à D.



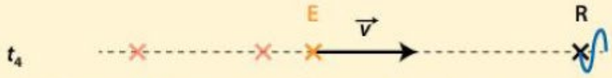
• Ce signal émis à la date t_1 est reçu par R à la date $t_2 = \dfrac{D}{v_{onde}}$.



• À la date $t_3 = T_E$, donc 1 période après la première émission, un autre signal est émis, alors que l'émetteur E se trouve à une distance $D - v \times T_E$ de R.



• Ce signal émis à la date t_3 est reçu par R à la date $t_4 = T_E + \dfrac{D - v \times T_E}{v_{onde}}$.



Les signaux émis par E avec une période $T_E = t_3 - t_1$ sont reçus par R avec une période $T_R = t_4 - t_2$.

Donc $T_R = T_E + \dfrac{D - v \times T_E}{v_{onde}} - \dfrac{D}{v_{onde}} = T_E - \dfrac{v \times T_E}{v_{onde}} = T_E \times \left(1 - \dfrac{v}{v_{onde}}\right)$.

Comme $f = \dfrac{1}{T}$, cela conduit à $f_R = f_E \times \dfrac{v_{onde}}{v_{onde} - v}$.

Quand un **émetteur se rapproche d'un récepteur fixe**, le décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ est donc : $\Delta f = f_E \times \dfrac{v_{onde}}{v_{onde} - v} - f_E = f_E \times \dfrac{v}{v_{onde} - v}$.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

L'expression du décalage Doppler peut être simplifiée si la valeur de la vitesse de déplacement est très inférieure à celle de propagation de l'onde.

Pour un rapprochement :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v} \approx f_E \times \frac{v}{v_{onde}} > 0$$

Pour un éloignement :

$$\Delta f = -f_E \times \frac{v}{v_{onde} + v} \approx -f_E \times \frac{v}{v_{onde}} < 0$$

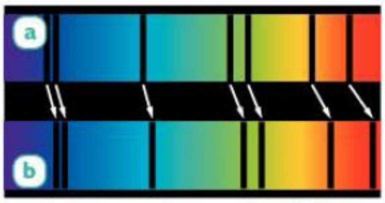
• Des démonstrations de ce type peuvent être menées pour d'autres situations et permettent de relier Δf et v.

L'effet Doppler constitue une **méthode de mesure de valeurs de vitesse**.

c. Effet Doppler-Fizeau

Les raies visibles dans le spectre de la lumière venant d'une galaxie sont souvent décalées par rapport à celles mesurées pour une source immobile sur Terre (spectres **F**).

F Effet Doppler-Fizeau pour un éloignement



> Décalage vers le rouge (*redshift*) des raies entre le spectre obtenu pour une source et un observateur immobiles (a) et celui obtenu pour un éloignement entre la source et l'observateur (b).

Le **décalage de longueur d'onde** dû à l'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse d'éloignement ou de rapprochement d'une galaxie par rapport à la Terre.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Le décalage Doppler
QCM
Version interactive

1 Le niveau d'intensité sonore

Calcul de I à partir de L

On utilise la fonction logarithme décimal $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) qui est la réciproque de la fonction $x \mapsto 10^x$:

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Niveau d'intensité sonore L en dB

Intensité sonore I en $W \cdot m^{-2}$: puissance par unité de surface transportée par une onde sonore

Intensité sonore de référence I_0 en $W \cdot m^{-2}$

Atténuation A en décibel (dB)

Atténuation géométrique liée à la distance parcourue par l'onde sonore
$A = L_{proche} - L_{éloigné}$

Atténuation par absorption liée à la paroi traversée par l'onde sonore
$A = L_{incident} - L_{transmis}$

$A > 0$

2 L'effet Doppler

Effet Doppler

Existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.

Décalage Doppler

$\Delta f = f_R - f_E$

Rapprochement de E et R

$\lambda_R < \lambda_E$; $T_R < T_E$

$f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$

Distance constante entre E et R

$\lambda_R = \lambda_E$; $T_R = T_E$

$f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$

Éloignement de E et R

$\lambda_R > \lambda_E$; $T_R > T_E$

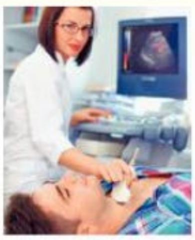
$f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

Établissement de l'expression du décalage Doppler

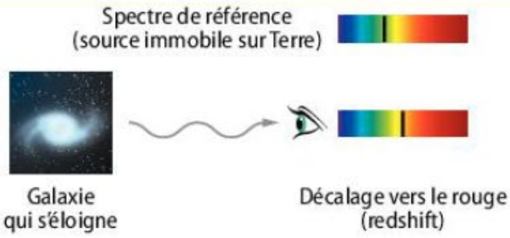
Chronologie de deux émissions consécutives de signaux et de leurs deux réceptions consécutives → Expression de T_R en fonction de T_E → Expression de f_R en fonction de f_E, puis de Δf

Détermination de valeurs de vitesse et de sens de déplacement

Vitesse d'un véhicule



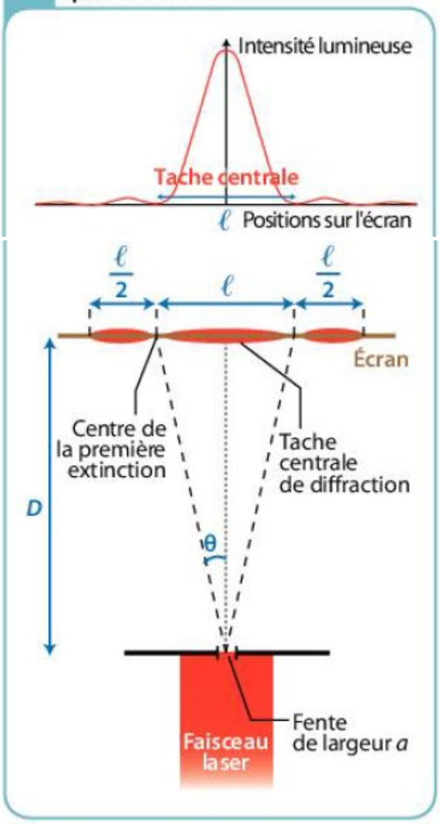
Vitesse d'écoulement du sang



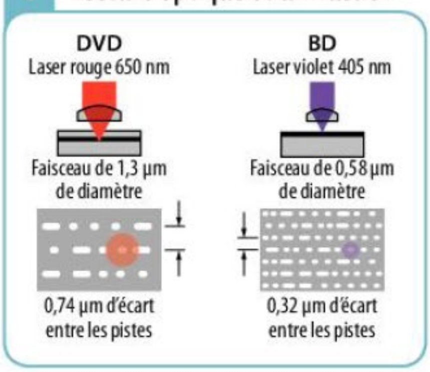
Vitesse d'éloignement d'une galaxie

A Phénomène de diffraction de la houle

B Diffraction de la lumière par une fente



C Lecture optique et diffraction

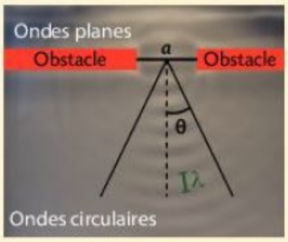


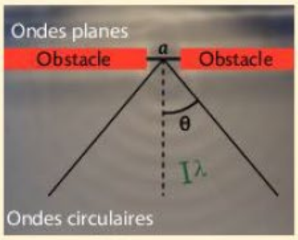
1 La diffraction

a. Conditions d'observation et caractéristiques

• Lorsqu'une onde mécanique ou lumineuse rencontre une ouverture sans changer de milieu, on peut observer un changement de direction de propagation de l'onde (photographie **A**) : c'est le phénomène de diffraction. La longueur d'onde reste inchangée si le milieu est homogène.

Le **phénomène de diffraction**, changement de direction de propagation d'une onde, s'observe lorsque les dimensions de l'ouverture sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde pour une onde mécanique, voire de plusieurs dizaines de longueurs d'onde pour une onde lumineuse.





L'importance du phénomène de diffraction peut être mesurée à l'aide de l'**angle caractéristique de diffraction θ**.

• Sur la figure de diffraction d'ondes lumineuses monochromatiques par une fente, l'angle qui caractérise ce phénomène est pointé du centre de la tache centrale, la plus lumineuse, au centre de la première raie sombre (ou extinction) observée (schéma **B**).

• Dans le cas d'une ouverture rectangulaire de largeur a, le sinus de l'angle caractéristique de diffraction θ, aigu et positif, a pour expression :

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a} \qquad \lambda \text{ en m} \quad a \text{ en m}$$

Si le rapport $\frac{\lambda}{a}$ est petit, on fait l'approximation $\sin\theta = \theta$ (θ en radian) :

$$\theta \text{ en rad} \quad \theta = \frac{\lambda}{a} \qquad \lambda \text{ en m} \quad a \text{ en m}$$

• Pour les ondes lumineuses, dans le cas d'une ouverture circulaire de diamètre d et d'un rapport $\frac{\lambda}{d}$ petit :

$$\theta \text{ en rad} \quad \theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d} \qquad \lambda \text{ en m} \quad d \text{ en m}$$

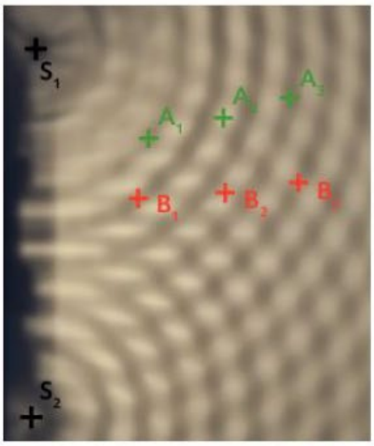
b. Situations de diffraction

Le phénomène de diffraction intervient dans de nombreuses situations physiques : lecture optique, cristallographie, astronomie, acoustique...

• Sur un Blu-ray Disc (BD), l'augmentation de la capacité de stockage, par rapport à un DVD, nécessite des pistes plus serrées. Or le faisceau laser qui permet la lecture est élargi par diffraction et peut déborder sur deux pistes attenantes. Il faut donc utiliser une radiation avec la plus petite longueur d'onde possible (schémas **C**).

• En astronomie, la monture des objectifs diffracte la lumière reçue : pour une bonne résolution, il faut augmenter leur diamètre.

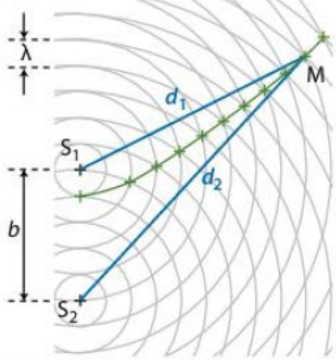
D Interférences à la surface de l'eau d'une cuve à ondes



> Interférences constructives (A_1, A_2, A_3) et destructives (B_1, B_2, B_3).

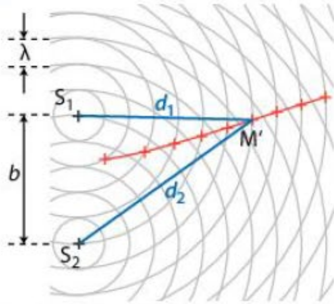
E Interférences

a Constructives



> Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \lambda$, $d_2 - d_1 = 2\lambda$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\lambda$, $d_2 - d_1 = -2\lambda$, etc. constituent les franges de forte amplitude.

b Destructives



> Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = \frac{3\lambda}{2}$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = -\frac{3\lambda}{2}$, etc. constituent les franges d'amplitude nulle.

c **Ni constructives, ni destructives.** En d'autres points où les interférences ne sont ni constructives ni destructives, on observe des ondes d'amplitude intermédiaire.

2 Les interférences

a. Conditions d'observation

- Deux vibreurs, jouant le rôle de sources ponctuelles, oscillent au-dessus de la surface de l'eau d'une cuve à ondes (schéma **D**), de manière synchrone, avec la même fréquence f et un déphasage (différence de phase) constant. Il en résulte la propagation de deux ondes progressives circulaires qui se superposent pour donner une figure d'interférences.

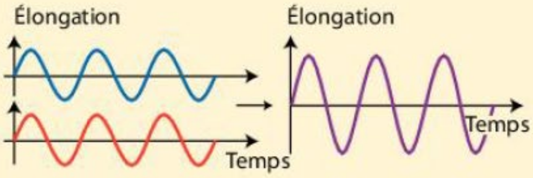
- On observe des zones fortement agitées (points A_1, A_2 et A_3) et d'autres zones peu agitées (points B_1, B_2 et B_3). C'est le **phénomène d'interférences**.

Des **interférences** s'obtiennent avec des **ondes** de **même fréquence** et présentant un **déphasage constant**. Les sources qui émettent ces ondes sont des **sources ponctuelles en phase**.

b. Interférences constructives et destructives

- À la surface de l'eau, les interférences constructives correspondent à la superposition de deux ondes en phase, c'est-à-dire d'élongations toutes deux maximales ou toutes deux minimales (schéma **D**).

Il y a **interférences constructives** quand deux ondes de longueur d'onde λ, se déplaçant dans un milieu homogène et provenant de deux **sources ponctuelles en phase,** arrivent **en phase** en un point.

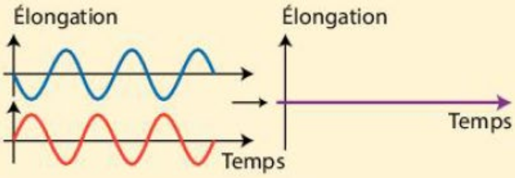


L'amplitude de l'onde résultante est alors supérieure à celle des ondes de départ.

En un point M où les interférences sont constructives (schéma **E a**), parviennent des ondes qui ont parcouru les distances $d_1 = S_1M$ et $d_2 = S_2M$ de sorte que : $\boldsymbol{d_2 - d_1 = k \times \lambda}$, avec k entier relatif.
C'est la **condition d'interférences constructives**.

- À la surface de l'eau, les interférences destructives correspondent à la superposition de deux ondes en opposition de phase, c'est-à-dire l'une d'élongation maximale et l'autre d'élongation minimale (schéma **D**).

Il y a **interférences destructives** quand deux ondes de longueur d'onde λ, se déplaçant dans un milieu homogène et provenant de deux **sources ponctuelles en phase,** arrivent en **opposition de phase** en un point.



L'amplitude de l'onde résultante est alors nulle.

En un point M′ où les interférences sont destructives (schéma **E b**), parviennent des ondes qui ont parcouru les distances $d_1 = S_1M'$ et $d_2 = S_2M'$ de sorte que : $\boldsymbol{d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda}$ avec k entier relatif.
C'est la **condition d'interférences destructives**.

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

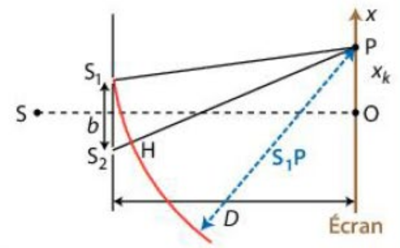
Pour observer une figure d'interférences stable avec de la lumière, il faut éclairer deux trous (ou deux fentes) avec une unique source lumineuse monochromatique. Ces trous, dits sources secondaires, émettent alors des ondes de même fréquence et de déphasage constant ; ils jouent le rôle de **sources ponctuelles en phase**.

a. Différence de chemin optique

- Deux ondes lumineuses de longueur d'onde dans le vide λ_0 émises par les sources secondaires S_1 et S_2 se superposent en un point P de l'écran après avoir parcouru les distances S_1P et S_2P (schéma F).
- On définit la **différence de chemin optique ΔL** entre les deux ondes :

$\Delta L = n \times (S_2P - S_1P)$ avec n l'indice du milieu de propagation

F Superposition de deux ondes et distances parcourues



> Ici, les ondes arrivant en P après passage par S_2 ont parcouru une plus grande distance que celles arrivant en P après passage par S_1. La différence de distances est $S_2H = S_2P - S_1P$.

Si la **différence de chemin optique** ΔL est telle que :

- $\Delta L = k \times \lambda_0$ avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent **en phase** en P. Les interférences sont **constructives.** On observe alors des **franges brillantes ;**
- $\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0$ avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent **en opposition de phase** en P. Les interférences sont **destructives.** On observe alors des **franges sombres.**

INFO

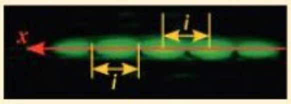
Le chemin optique est la distance qui serait parcourue par l'onde dans le vide pendant la même durée que celle de sa propagation dans le milieu d'indice n.

- Une onde de longueur d'onde λ_0 dans le vide a une longueur d'onde $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ dans un milieu d'indice n.

Dans l'air, on a $n = 1{,}00$. Ainsi, $\Delta L = S_2P - S_1P$, et $\lambda = \lambda_0$.

b. Interfrange

L'**interfrange** i est la distance $x_{k+1} - x_k$ séparant les centres de deux franges brillantes ou sombres consécutives.



La différence de chemin optique ΔL_k en P d'abscisse x_k (schéma F) a pour expression $\Delta L_k = \frac{n \times x_k \times b}{D}$ où b est la distance séparant les sources secondaires et D la distance de ces sources à l'écran (avec $D \gg b$).

L'interfrange $\boldsymbol{i = x_{k+1} - x_k}$ est déterminé en combinant la condition d'interférences constructives ou celle d'interférences destructives avec l'expression fournie de la différence de chemin optique.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Différence de chemin optique

VIDÉO DE COURS

Cas de deux franges brillantes consécutives

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1} \times D}{n \times b} - \frac{\Delta L_k \times D}{n \times b}$$

$$i = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{n \times b} - \frac{k \times \lambda_0 \times D}{n \times b}$$

soit : $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}(k + 1 - k)$

d'où : $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$

i en m ; λ_0 et D en m ; sans unité ; b en m

Cas de deux franges sombres consécutives

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1} \times D}{n \times b} - \frac{\Delta L_k \times D}{n \times b}$$

$$i = \frac{\left([k+1] + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \times D}{n \times b} - \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \times D}{n \times b}$$

soit : $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b} \times \left(k + 1 + \frac{1}{2} - k - \frac{1}{2}\right)$

d'où : $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$

i en m ; λ_0 et D en m ; sans unité ; b en m

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Différence de chemin optique

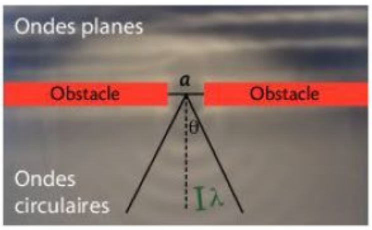
QCM
Version interactive

1 La diffraction

Diffraction : changement de direction de propagation de tout type d'onde lors de la traversée d'une ouverture.

Conditions d'observation

Dimensions maximales de l'ouverture :
– du même ordre de grandeur que λ pour les ondes mécaniques ;
– égales à quelques dizaines de longueurs d'onde pour les ondes lumineuses.



Domaines d'intervention

Cristallographie, astronomie, lecture optique, acoustique, etc.

Angle caractéristique de diffraction θ (aigu et positif)

- Dans le cas d'une ouverture de largeur a : $\sin\theta = \dfrac{\lambda\,(\mathrm{m})}{a\,(\mathrm{m})}$.
- Si le rapport $\dfrac{\lambda}{a}$ est petit : $\theta\,(\mathrm{rad}) = \dfrac{\lambda\,(\mathrm{m})}{a\,(\mathrm{m})}$.
- Pour une onde lumineuse, et dans le cas d'une ouverture circulaire de diamètre d :

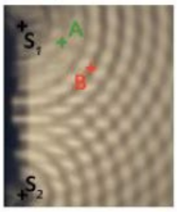
$$\theta\,(\mathrm{rad}) = 1{,}22 \times \frac{\lambda\,(\mathrm{m})}{d\,(\mathrm{m})}$$

2 Les interférences

Interférences : superposition d'ondes de même type en un point.

Conditions d'observation

Ondes de même fréquence et de déphasage constant qui se superposent.



Domaines d'intervention

Couleurs de certains objets, brouillage de signaux radio, protection sonore, etc.

Interférences constructives et destructives

Interférences constructives au point A :
- Arrivée de deux ondes **en phase** en ce point.
- Amplitude de l'onde résultante maximale.
- $S_2A - S_1A = k \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

Interférences destructives au point B :
- Arrivée de deux ondes **en opposition de phase** en ce point.
- Amplitude de l'onde résultante nulle.
- $S_2B - S_1B = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

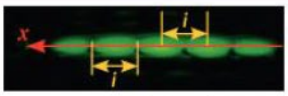
Observation de **franges brillantes en un point P** si :
- les **interférences** sont **constructives** ;
- la différence de chemin optique ΔL est :

$$\Delta L = k \times \lambda_0 \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

Observation de **franges sombres en un point P** si :
- les **interférences** sont **destructives** ;
- la différence de chemin optique ΔL est :

$$\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

Établissement de l'interfrange



Interfrange = distance séparant les centres de deux franges brillantes ou sombres consécutives

Poser la condition soit d'interférences constructives soit d'interférences destructives → Utiliser l'expression fournie de la différence de chemin optique ΔL pour exprimer x_{k+1} et x_k → En déduire l'expression de i à partir de $i = x_{k+1} - x_k$