

Les phénomènes

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

● 1^{re} Enseignement de spécialité ● 1^{re} Enseignement scientifique

- L'intensité sonore exprime la puissance par unité de surface transportée par l'onde sonore :

$$\text{intensité sonore } (W \cdot m^{-2}) \rightarrow I = \frac{P}{S} \quad \begin{array}{l} \text{puissance sonore délivrée par la source (W)} \\ \text{surface (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$\text{niveau sonore (dB)} \rightarrow L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \begin{array}{l} \text{intensité sonore (W} \cdot m^{-2}\text{)} \\ \text{intensité sonore du seuil d'audibilité : } I_0 = 1,0 \times 10^{-12} W \cdot m^{-2} \end{array}$$

- La célérité d'une onde rend compte de la distance parcourue par l'onde par unité de temps.

$$\text{célérité de l'onde (m} \cdot s^{-1}\text{)} \rightarrow c = \frac{d}{\Delta t} \quad \begin{array}{l} \text{distance parcourue par la perturbation (m)} \\ \text{retard ou durée pour parcourir la distance } d \text{ (s)} \end{array}$$

- La **période T** d'un phénomène périodique est la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même.

- La **fréquence f** est le nombre de fois que se répète le phénomène périodique par seconde.

$$\text{fréquence de l'onde (Hz)} \rightarrow f = \frac{1}{T} \quad \begin{array}{l} \text{période (s)} \end{array}$$

- La **longueur d'onde λ** est la plus petite distance séparant deux points vibrants en phase. C'est aussi la distance parcourue par l'onde en une période T .

$$\text{célérité de l'onde (m} \cdot s^{-1}\text{)} \rightarrow c = \frac{\lambda}{T} \quad \begin{array}{l} \text{longueur d'onde (m)} \\ \text{période (s)} \end{array}$$

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



SITUATION 1

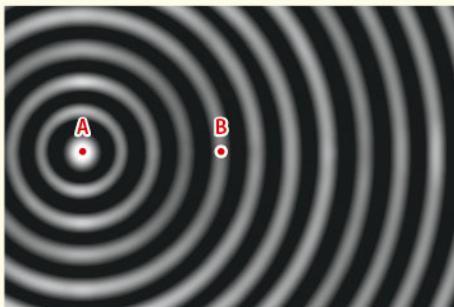
Un appareil de mesure relève une intensité sonore de $2,3 \times 10^{-3} W \cdot m^{-2}$ pour le casque audio d'un élève.

Sachant que le seuil de danger est de 85 dB, le niveau d'intensité sonore est-il raisonnable ?

SITUATION 2

Un vibreur provoque des ondes progressives sinusoïdales de fréquence 20 Hz à la surface de l'eau. Sur la photographie de la surface, ci-contre, la distance AB vaut 5,0 cm.

Déterminer la valeur de la longueur d'onde puis la célérité de cette onde.



ondulatoires

17

PHYSIQUE



Les casques avec réduction de bruit ont pris une place de plus en plus grande dans notre environnement. Comment expliquer le phénomène qui se produit lorsqu'on active ce système ?

► EXERCICE 34

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Intensité sonore, niveau d'intensité sonore et atténuation.
- ▶ Diffraction d'une onde par une ouverture, angle caractéristique de diffraction.
- ▶ Interférences de deux ondes ; interférences constructives et destructives.
- ▶ Interférences de deux ondes lumineuses : différence de chemin optique et interfrange.
- ▶ Effet Doppler.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- ▶ Illustrer les atténuations géométrique et par absorption. ► Activité 1
- ▶ Illustrer et caractériser expérimentalement le phénomène de diffraction. Exploiter la relation donnant l'angle caractéristique. ► Activité 2
- ▶ Tester les conditions d'interférences de deux ondes. ► Activité 3
- ▶ Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des ondes lumineuses. ► Activité 4
- ▶ Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse. ► Activité 5

CAPACITÉS MATHÉMATIQUES

- ▶ Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.

1. TACHE COMPLEXE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Utiliser un modèle

(AN/RA) Choisir, élaborer, justifier un protocole

Atténuation en dB

LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

Un citadin, vivant près d'une voie rapide très fréquentée, se plaint des nuisances sonores ambiantes.

Quelles solutions peut-il mettre en œuvre ?
Les illustrer en s'appuyant sur des expériences.

LISTE DU MATERIEL

- GBF + haut-parleur, fils, mètre ruban, sonomètre, chambre sourde, lot de matériaux différents.
- Un smartphone, avec une application permettant l'émission d'un son ou une application sonomètre, peut aussi être utilisé.



DOC 1 Source sonore

Une source sonore est *omnidirective* si le niveau d'intensité sonore est le même dans toutes les directions. Une source est *directive* s'il existe des directions d'émissions privilégiées.

La référence du niveau d'intensité sonore est prise à 1 m de la source sonore.

DOC 2 Atténuation géométrique

L'atténuation géométrique dépend de la géométrie des lieux, certaines formes favorisant les réflexions des ondes ou bien leur dissipation, mais aussi de la distance à la source sonore. Le niveau d'intensité sonore s'exprime en fonction de la distance x de la source :

$$L(x) = L(\text{à } 1 \text{ m}) - 20 \log x.$$

DOC 3 Atténuation par absorption

Les molécules présentes dans l'air vibrent lors de la propagation du son. Elles dissipent une partie de l'énergie sous forme de chaleur. Cette dissipation augmente avec la fréquence, et dépend de l'humidité de l'air.

L'absorption d'une onde sonore dépend aussi de la nature des matériaux (poreux, creux, pleins...) qu'elle doit traverser lors de sa propagation.

DOC 4 Chambre sourde

Une chambre sourde, ou anéchoïque, est une pièce permettant de mesurer le niveau d'intensité sonore d'un son sans avoir les perturbations dues aux réflexions sur les parois.



VOCABULAIRE

► **Atténuation en dB** : entre deux positions 1 et 2, l'atténuation en décibel s'écrit : $A_{\text{dB}} = L_2 - L_1$.

► **Humidité relative** : l'humidité relative compare la quantité d'eau présente dans l'atmosphère à la quantité qu'il faudrait pour saturer cet air en eau. Elle dépend de la température.

Je réussis si...

► Je sais illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

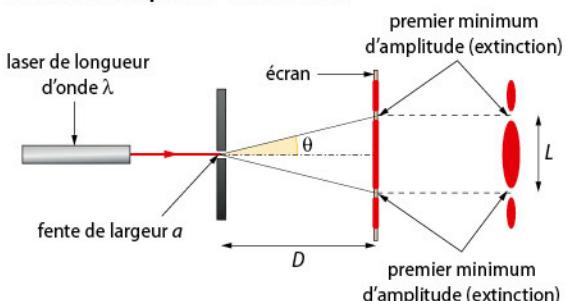
(VAL) Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence

Diffraction



En exploitant le phénomène de la diffraction, déterminer la taille de l'ouverture en précisant la méthode qui est la plus précise.

DOC 1 Pour déterminer l'angle caractéristique de diffraction



L'angle caractéristique de diffraction est défini par :

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

Dans l'approximation des petits angles, en utilisant la relation trigonométrique de la tangente, on trouve :

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D}$$

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2

Déterminer la taille d'une ouverture par un logiciel de traitement d'image

On éclaire la même ouverture avec le même laser.

- Enregistrer l'image de la tache de diffraction à l'aide d'une webcam (penser à montrer l'échelle de distance).
- Grâce au logiciel de traitement d'image, déterminer la distance L de la tache centrale entre les premiers minima d'amplitude, avec le plus de soin possible.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1

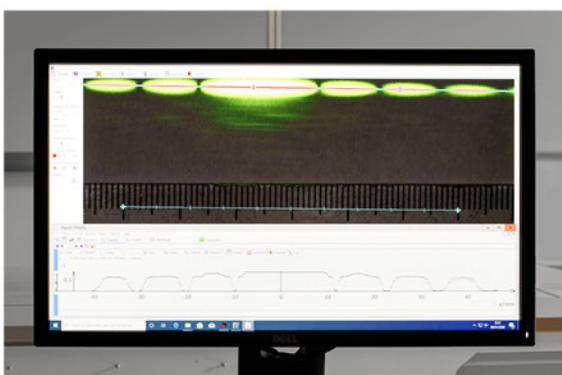
Pour déterminer la taille d'une ouverture

On éclaire l'ouverture (trou ou fente de taille a fournie par le constructeur) avec un laser de longueur d'onde 650 nm.

- Mesurer la distance L de la tache centrale entre les premiers minima d'amplitude, le plus précisément possible, en mesurant la distance entre deux minima consécutifs secondaires : $2L = \frac{L}{2} + L + \frac{L}{2}$:



DOC 2 Exemple de courbe d'intensité obtenue



MESURES ET ANALYSE

Détermination de la taille de l'ouverture

On considère une fente. Par deux méthodes de mesures expérimentales proposées par les protocoles 1 et 2 :

1. déterminer la taille de l'ouverture a de cette fente ;
2. déterminer les incertitudes-types des grandeurs qui interviennent et calculer l'incertitude-type $u(a)$ sur la taille de l'ouverture (VOIR FICHE MÉTHODE p. 538).

DONNÉE

$$u(a) = a \cdot \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

CONCLUSION

Comparer avec la valeur de référence du constructeur en utilisant la relation :

$$\frac{a_{\text{mes}} - a_{\text{ref}}}{u(a)}$$

où $u(a)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Conclure sur la méthode qui donne la valeur de l'ouverture la plus proche de celle fournie par le constructeur.

Je réussis si...

- Je sais mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer un angle caractéristique.
- Je sais évaluer une incertitude-type composée, la formule étant fournie.

3. TACHE COMPLEXE

TP

COMPÉTENCES :

- (AN/RA) Proposer une stratégie de résolution
(COM) Présenter une démarche de manière argumentée et cohérente à l'oral

Interférences de deux ondes à la surface de l'eau

Les ondes à la surface de l'eau permettent d'observer le phénomène d'interférences.

SITUATION-PROBLÈME

Mettre en œuvre une démarche pour tester les conditions d'interférences constructives ou destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase.

DOC 1 Phénomène des interférences

Le phénomène des interférences est dû à l'addition de vibrations de **même longueur d'onde**, et qui ont un déphasage constant : on dit qu'elles sont **cohérentes ou synchrones**.

On parle d'interférences constructives lorsque les amplitudes des ondes interférant s'ajoutent au point considéré, et d'interférences destructives lorsqu'elles s'annulent.

Ce phénomène est bien connu avec les ondes radio : ce sont ces parasites reçus par notre poste de radio lorsque deux ondes de même fréquence se superposent. Cela existe aussi avec le son et la lumière.

DOC 3 Programme pour approcher la somme de deux fonctions sinusoïdales



```
from pylab import*
x = linspace(0, 2*pi, 30)
y1 = sin(x)
y2 = sin(x + 3*pi/2)
y3 = y1 + y2
plot(x, y1, label = "sin(x)")
plot(x, y2, label = "sin(x + dephasage")
plot(x, y3, label = "sin(x) + sin(x + dephasage")
legend()
show()
```

Dans l'expression d'une fonction telle que $\sin(x + \phi)$, ϕ représente le *déphasage angulaire, en radians*, de la fonction par rapport à la fonction $\sin(x)$.

DOC 5 Superposition de deux ondes à la surface de l'eau

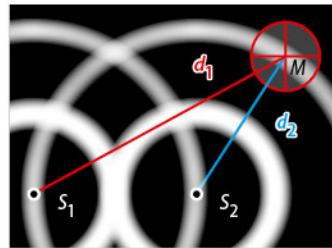
L'animation ci-dessous explique le principe de superposition de deux ondes à la surface de l'eau.



DOC 2 Conditions d'interférences

On définit la différence de chemin δ en un point M, la différence de distance du point M aux deux sources :

$$\delta = d_1 - d_2.$$



On observe des interférences *destructives* si δ est un multiple de la demi-longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$.

On observe des interférences *constructives* si δ est un multiple de la longueur d'onde λ .

DOC 4 Cuve à ondes

Pour comprendre le phénomène des interférences à la surface de l'eau, le recours à une cuve à ondes peut être utile. Voici le principe d'utilisation, en vidéo.



Je réussis si...

- Je sais tester les conditions d'interférences constructives/destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes ponctuelles en phase.
- Je sais représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase de l'un des deux.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

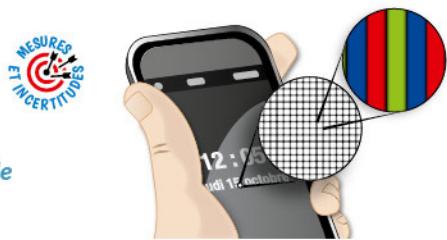
COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

(VAL) Estimer une incertitude

Résolution de l'écran d'un smartphone par interférences

L'écran d'un téléphone est subdivisé en pixels. À partir du phénomène d'interférences, il est possible de déterminer expérimentalement la taille d'un pixel et d'en déduire la résolution de l'écran.



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

1 Pour déterminer la taille du pixel

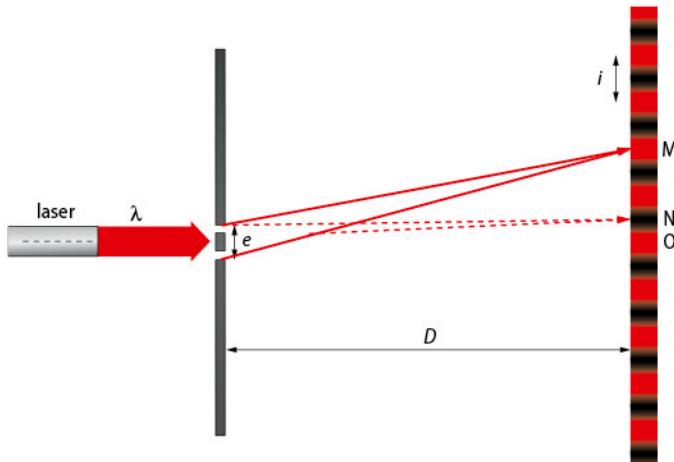
- L'écran du smartphone est constitué d'un quadrillage de pixels très petits, que l'on peut considérer comme autant de carrés réfléchissants accolés.
- Éclairer un écran de smartphone avec un laser.
- Par réflexion, repérer la figure d'interférence sur un écran.
- Mesurer le plus précisément possible l'interfrange i entre deux points lumineux.

VOCABULAIRE

► **Interfrange** : c'est la distance i entre le milieu de deux franges brillantes ou deux franges sombres.

► **Résolution (en dpi)** : c'est le nombre de pixels par pouce que peut afficher un écran, un pouce valant 2,54 cm.

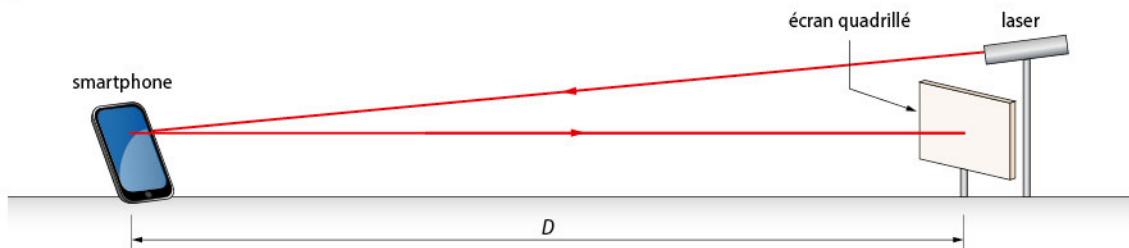
DOC 1 Pour déterminer l'interfrange



On peut relier la distance i entre deux points lumineux présents sur l'écran quadrillé à la distance e séparant les centres de deux pixels accolés de l'écran du smartphone par la relation :

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

DOC 2 Dispositif expérimental



MESURES ET ANALYSES

1 Détermination de l'interfrange

- Réaliser le protocole expérimental permettant de déterminer l'interfrange.
- Détailler le protocole pour estimer l'incertitude-type, de type A, sur l'interfrange (VOIR FICHE MÉTHODE ➔ p. 538).

CONCLUSION

Donner la résolution de l'écran de votre smartphone. Comparer avec des valeurs de résolution courantes en prenant en compte les incertitudes de mesures.

2 Détermination de la taille du pixel

En utilisant le document 1, déterminer la taille du pixel de l'écran du smartphone.

Je réussis si...

► Je sais exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses.

5. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Effectuer des procédures courantes (collecte de données, calcul)

(VAL) Faire preuve d'esprit critique

Effet Doppler

L'effet Doppler est un phénomène physique qui peut, quand un émetteur d'ondes est en mouvement par rapport à un observateur, être utilisé pour la mesure de vitesse.



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Détermination d'une vitesse par effet Doppler à l'aide d'un logiciel de traitement du son ou d'une application dédiée pour smartphone

- Ouvrir l'enregistrement sonore du klaxon d'une voiture à l'arrêt.
- Déterminer la fréquence du son à l'arrêt.
- Ouvrir l'enregistrement sonore d'une voiture qui se déplace à une vitesse v en émettant le son du klaxon.
- Déterminer la fréquence du son quand la source se déplace.

FICHIERS SONS

DOC 2 Exemples de résultats



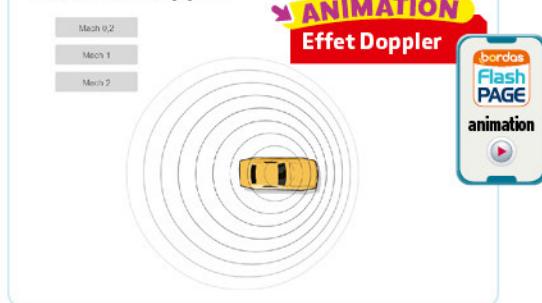
DOC 1 Expression du décalage Doppler

L'effet Doppler est une variation de fréquence de l'onde perçue par un observateur, s'il est en mouvement par rapport à la source ou si la source est en mouvement par rapport à lui. Le décalage Doppler Δf s'écrit alors :

$$\Delta f = f_R - f_e = \frac{f_e \cdot v}{c}$$

fréquence de l'onde perçue par l'observateur (Hz)
vitesse de l'émetteur par rapport à l'observateur ($m \cdot s^{-1}$)
décalage Doppler (Hz)
fréquence de l'onde émise par l'émetteur au repos (Hz)
vitesse de l'onde sonore ($m \cdot s^{-1}$)

DOC 3 Animation sur le principe de l'effet Doppler



DONNÉE

célérité du son dans l'air : $C = 340 m \cdot s^{-1}$.

MESURES ET ANALYSES

Détermination de la vitesse

On considère que la voiture se déplace sur une route départementale, limitée à $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Par deux méthodes de mesure expérimentale, et à l'aide des **FICHE MÉTHODE** p. 556 ET **FICHE PRATIQUE** p. 588, déterminer si le conducteur respecte le Code de la route.

CONCLUSION

Comparer les deux méthodes expérimentales et argumenter sur celle qui permet de déterminer le plus efficacement et précisément la vitesse d'un véhicule en déplacement.

Avoir un regard critique sur les incertitudes de mesures.

Je réussis si...

- Je sais mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer une vitesse.
- Je sais exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique.

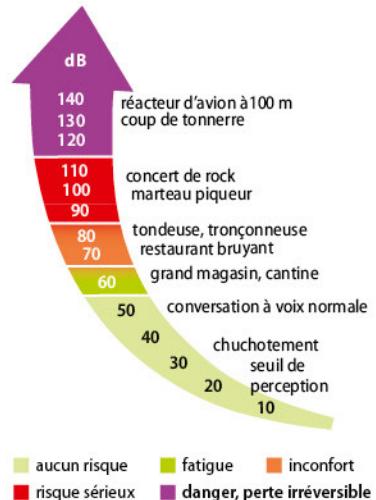
1 Niveau d'intensité sonore

► L'intensité sonore I et le niveau d'intensité sonore L

L'intensité sonore correspond à l'énergie transportée par l'onde sonore par unité de temps et de surface. Elle s'exprime en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). La valeur minimale audible, appelée seuil d'audibilité, vaut $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. La valeur maximale, appelée seuil de douleur, vaut $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

L'étendue de l'intensité sonore étant considérable, on préfère utiliser une échelle logarithmique, qui représente mieux la perception visuelle de l'oreille humaine, en introduisant le niveau d'intensité sonore (FIG. 1). Il est noté L , comme *level* qui signifie niveau en anglais, et est exprimé en décibel (dB) :

$$\text{niveau d'intensité sonore (dB)} \rightarrow L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \begin{array}{l} \text{intensité sonore } (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \\ \text{intensité sonore de référence } (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \end{array}$$



► Atténuation

Plus la distance entre la source et le récepteur augmente plus le niveau d'intensité sonore diminue : on parle **d'atténuation géométrique** (FIG. 2). D'autre part, on parle **d'atténuation par absorption** lorsqu'un matériau est interposé entre la source et le récepteur, ce qui amoindrit l'intensité sonore.

2 Diffraction d'une onde

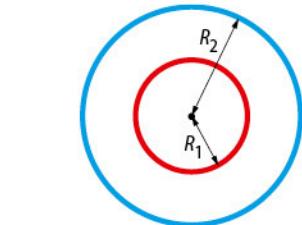
► Conditions d'observation

Lorsqu'une onde mécanique plane rencontre une ouverture, dont la taille est inférieure ou égale à sa longueur d'onde, il se produit un phénomène de **diffraction**. L'onde se transforme en onde circulaire, ce qui crée une vibration qui se propage dans une région plus vaste que l'ouverture seule (FIG. 3).

Ce phénomène se produit aussi lorsqu'un faisceau laser rencontre une fente suffisamment fine. Après l'ouverture, au lieu de rester confiné à la dimension de l'ouverture, le faisceau s'éparpille : on obtient plusieurs taches lumineuses alternant la lumière et l'obscurité (FIG. 4). Ce phénomène, commun aux ondes mécaniques et lumineuses, décrit la lumière comme une onde.

► Caractéristiques de la diffraction

Le phénomène de **diffraction** (FIG. 5) dépend de la dimension de l'ouverture a et de la longueur d'onde λ . Il est d'autant plus marqué que a est voisin ou inférieur à λ .



Prenons un milieu homogène illimité et une source rayonnante dans toutes les directions. L'énergie émise est conservée, mais se répartit sur des sphères de plus en plus grandes.

FIG. 2 Atténuation géométrique : répartition de la même puissance sur deux sphères de rayons différents.

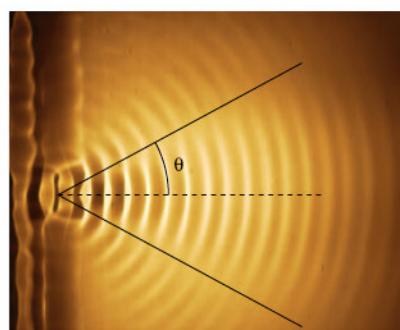


FIG. 3 Diffraction d'une onde mécanique plane sur l'eau.

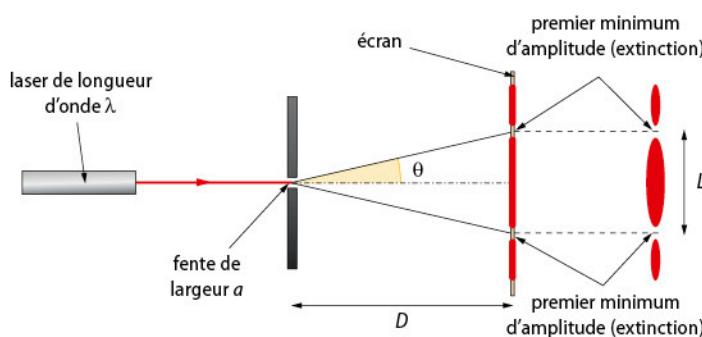


FIG. 5 Diffraction de la lumière d'un laser par une ouverture de dimension a .

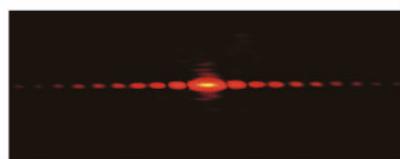


FIG. 4 Diffraction de la lumière d'un laser.

► Angle caractéristique de la diffraction θ

On exprime l'**angle caractéristique de la diffraction θ** comme le demi-angle délimitant les premiers minima d'amplitude (FIG. 5). Il s'exprime en radian (rad).

L'**angle caractéristique** vérifie la relation :

$$\text{angle caractéristique de diffraction (rad)} \rightarrow \theta = \frac{\lambda}{a} \quad \begin{array}{l} \text{longueur d'onde (m)} \\ \text{taille de l'ouverture (m)} \end{array}$$

EXEMPLE

Pour trouver le diamètre d'une ouverture, il suffit de mesurer la tache centrale L avec une règle, la distance fente-écran D , et lire sur le laser la longueur d'onde λ . On utilise l'approximation des petits angles :

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$$

On isole a , ce qui donne $a = \frac{2\lambda \cdot D}{L}$.

► ANIMATION Diffraction

3 Interférences de deux ondes

► Conditions d'observation

Lorsque deux ondes mécaniques, de même longueur d'onde, se rencontrent, elles se superposent géométriquement : on constate par endroit qu'elles se renforcent en s'additionnant, et que par ailleurs, elles s'annulent (FIG. 6A) : c'est le phénomène d'**interférences**.

Cela se produit aussi lorsque deux faisceaux de lumière issus d'une même source se superposent : on obtient sur un écran une alternance de zones brillantes et de zones sombres (FIG. 6B). Cela a beaucoup surpris les physiciens du xixe siècle : lumière + lumière = obscurité !

Là encore, ce phénomène, observé pour la lumière et pour les ondes mécaniques, confirme les propriétés ondulatoires de la lumière.

Pour être observées, il faut que les deux ondes respectent des **conditions d'interférences** :

- avoir la même longueur d'onde ou *fréquence* ;
- être *synchrones* (ou cohérentes), c'est-à-dire avoir un déphasage de l'une par rapport à l'autre constant.

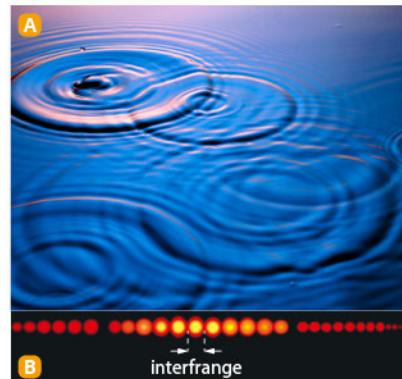


FIG. 6 A) interférences entre des ondes mécaniques à la surface de l'eau.

B) Interférences en lumière monochromatique

► Interférences constructives et destructives

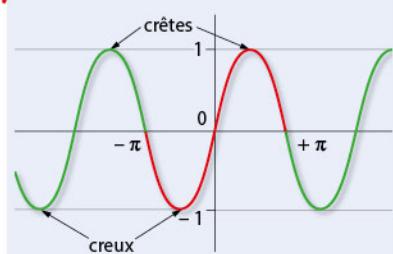
Une onde monochromatique peut être modélisée par une succession de creux et de crêtes, sous la forme d'une fonction sinusoïdale. La superposition de deux ondes de même longueur d'onde donne deux cas extrêmes.

- Si les creux et les crêtes coïncident, les deux ondes sont exactement décalées d'un multiple de la longueur d'onde λ : on dit que les **deux ondes sont en phase**. Lors de la superposition, les amplitudes des deux ondes s'ajoutent et l'onde résultante est renforcée : on parle d'**interférences constructives**.

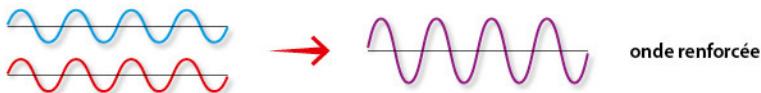
- Si les creux d'une des ondes coïncident avec les crêtes de la seconde, les deux ondes sont précisément décalées d'un multiple de la demi-longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$, on dit que **les ondes sont en opposition de phase**. Lors de la superposition, les amplitudes des deux ondes s'annulent, on parle d'**interférences destructives** (FIG. 7).

UN PONT VERS LES MATHS

La fonction sinus est une courbe qui alterne crêtes et creux.



Interférences constructives : les ondes sont décalées de $\delta = k \cdot \lambda$ (k entier)



Interférences destructives : les ondes sont décalées de $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (k entier)



FIG. 7 Conditions d'interférences constructives ou destructives.

EXEMPLE

Le phénomène d'interférences est utilisé dans les casques à réduction de bruit : un micro interne détecte les ondes sonores ambiante et crée un signal en opposition de phase de nature à annihiler le bruit ambiant.

► Interférences de deux ondes lumineuses

Dans l'expérience des trous d'Young (FIG. 8), un faisceau laser de longueur d'onde λ éclaire deux trous distants d'un écart e . Ils se comportent ainsi comme deux sources synchrones, notées S_1 et S_2 (FIG. 9).

La superposition en un point M de l'écran des deux ondes sinusoïdales dépend de la **différence de chemin optique**, notée δ , due au déplacement supplémentaire de la deuxième onde par rapport à la première :

$\delta = S_2M - S_1M = S_2S_1'$. Par relation trigonométrique dans l'approximation des petits angles, on peut écrire, dans le triangle IOM , $\tan \alpha \approx \alpha = \frac{x}{D}$
Mais aussi dans le triangle $S_1S_2S_1'$: $\sin \alpha \approx \alpha = \frac{\delta}{e}$



FIG. 8 Thomas Young (1773-1829) est un illustre physicien, mathématicien et médecin.

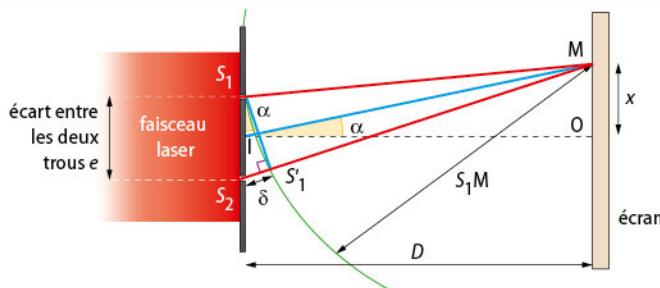


FIG. 9 Expérience des trous d'Young.

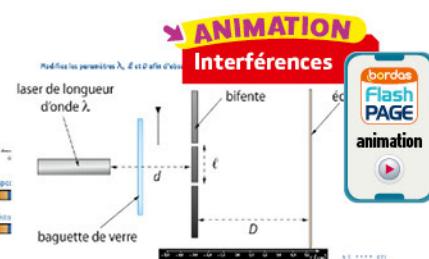
En égalisant les deux relations : $\alpha = \frac{x}{D} = \frac{\delta}{e}$, on obtient l'expression de la différence de chemin optique en fonction de l'abscisse x du point M :

$$\delta = \frac{e \cdot x}{D}$$

La plus petite valeur de x séparant deux points où des interférences constructives vont être observées s'appelle l'**interfrange**, noté i (FIG. 6B). Elle s'obtient pour $\delta = \lambda$, la distance entre ces deux interférences constructives consécutives : $\lambda = \frac{e \cdot i}{D}$, ce qui permet d'obtenir l'expression de l'interfrange i :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{e}$$

longueur d'onde (m)
interfrange (m) distance entre les deux fentes et l'écran (m)
écart entre les deux fentes (m)



4 Effet Doppler

Définition

Lorsqu'un train klaxonne en passant dans une gare à vitesse importante, le son perçu est plus aigu quand il s'approche, et plus grave lorsqu'il s'éloigne.

L'effet Doppler est une variation de fréquence de l'onde perçue par un observateur, si la source est en mouvement par rapport à l'observateur. Le **décalage Doppler** est d'autant plus marqué que la vitesse de la source par rapport à l'observateur est grande.

Décalage Doppler

Considérons une source qui se rapproche à une vitesse v , faible devant la célérité c des ondes. À $t = 0$ s, elle émet une onde, de fréquence $f_e = \frac{1}{T_e}$ et de longueur d'onde λ_e (FIG. 10).

Pendant une durée égale à une période T_e , l'onde se déplace d'une longueur d'onde λ_e . Elle sera entendue à l'instant $t_1 = \frac{D}{c}$.

Pendant ce temps, la source avance d'une distance $d = v \cdot T_e$ et émet une deuxième onde à $t_2 = T_e$. L'onde n'a plus qu'à parcourir la distance $D - d$. On appelle t_3 l'instant où l'onde est reçue par l'observateur : $t_3 = T_e + \frac{D - d}{c}$.

Ainsi, le récepteur a reçu la première onde à l'instant t_1 et la deuxième onde à l'instant t_3 .

$$\text{La période de l'onde reçue est donc : } T_R = t_3 - t_1 = T_e + \frac{D - d}{c} - t_1 = T_e - \frac{d}{c}$$

$$T_R = T_e - \frac{v \cdot T_e}{c} = T_e \left(1 - \frac{v}{c} \right) = T_e \left(\frac{c - v}{c} \right).$$

En prenant l'inverse pour obtenir la fréquence reçue $f_R = \frac{1}{T_R}$:

$f_R = f_e \left(\frac{c}{c - v} \right)$. On retrouve bien une fréquence perçue f_R plus grande que celle émise f_e , ce qui correspond à un son perçu plus aigu.

Bien entendu, si la source s'éloigne de l'observateur, il y a juste à permute le signe $-v$ en $+v$:

$f_R = f_e \left(\frac{c}{c + v} \right)$. On retrouve bien une fréquence perçue $f_R < f_e$.

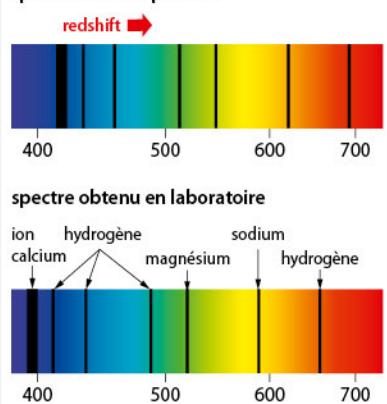
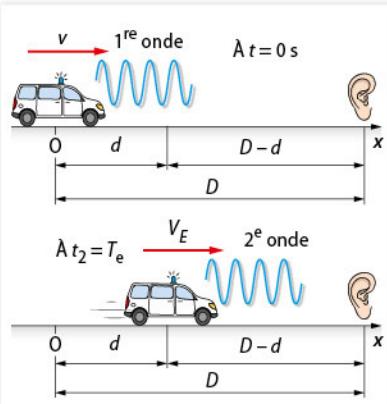
Le décalage Doppler Δf s'obtient en faisant la différence $\Delta f = f_R - f_e$:

$$\Delta f = f_R - f_e = f_e \left(\frac{c}{c - v} - 1 \right) = f_e \left(\frac{v}{c - v} \right).$$

Si la vitesse v de la source est très faible devant la célérité c des ondes, alors $c - v \approx c$, le décalage Doppler s'écrit :

$$\Delta f = f_R - f_e = \frac{f_e \cdot v}{c}$$

fréquence de la source au repos (Hz) vitesse de l'émetteur par rapport à l'observateur ($m \cdot s^{-1}$)
 décalage Doppler (Hz) vitesse de l'onde ($m \cdot s^{-1}$)
 fréquence de l'onde perçue par l'observateur (Hz) fréquence de l'onde émise par l'émetteur au repos (Hz)



En astronomie, l'analyse du spectre de la lumière émise par une étoile permet de déceler le décalage en longueur d'onde par rapport au spectre de l'élément obtenu en laboratoire. Comme la longueur d'onde $\lambda = \frac{c}{f}$ est inverse de la fréquence, si l'étoile s'éloigne de la Terre, les longueurs d'onde sont supérieures à celles obtenues en laboratoire. On parle de décalage vers le rouge ou encore *redshift*.

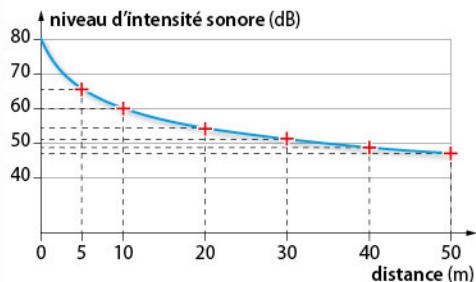
FIG. 11 Phénomène du redshift.

1 Niveau d'intensité sonore

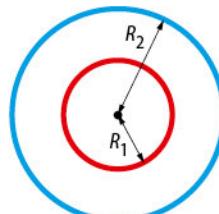
$$\text{niveau d'intensité sonore (dB)} \rightarrow L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \begin{array}{l} \text{intensité sonore (W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} \\ \text{intensité sonore de référence (W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} \end{array}$$

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

Atténuation géométrique



Prenons un milieu homogène illimité et une source rayonnante dans toutes les directions. L'énergie émise est conservée, mais se répartit sur des sphères de plus en plus grandes.

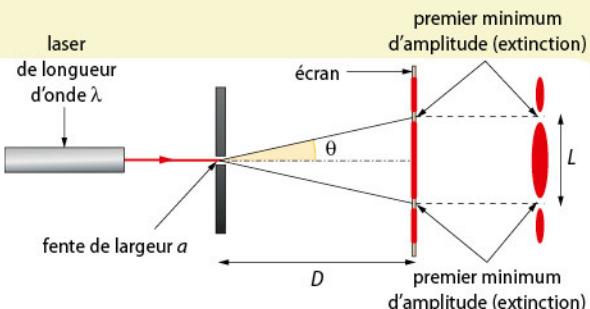


L'atténuation par absorption dépend du milieu de propagation ou du milieu absorbant, et aussi de la fréquence.

2 Diffraction d'une onde

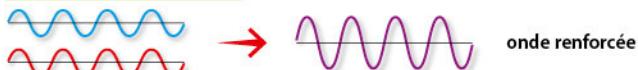
$$\text{angle caractéristique de diffraction (rad)} \rightarrow \theta = \frac{\lambda}{a} \quad \begin{array}{l} \text{longueur d'onde (m)} \\ \text{taille de l'ouverture (m)} \end{array}$$

En optique, la **diffraction** vient limiter le pouvoir séparateur de la lunette astronomique.



3 Interférences de deux ondes

Interférences constructives : les ondes sont décalées de $\delta = k \cdot \lambda$ (k entier)

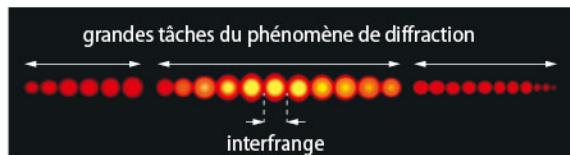


Interférences destructives : les ondes sont décalées de $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (k entier)



$$\text{distance entre les deux sources (m)} \quad \text{abscisse de l'écran où se superposent les deux ondes (m)}$$

$$\text{différence de chemin optique (m)} \rightarrow \delta = \frac{e \cdot x}{D} \quad \text{distance fentes-écran (m)}$$



$$\text{interfrange (m)} \rightarrow i = \frac{\lambda \cdot D}{e} \quad \begin{array}{l} \text{longueur d'onde (m)} \\ \text{distance fentes-écran (m)} \\ \text{distance entre les deux sources (m)} \end{array}$$

4 Effet Doppler

vitesse de l'émetteur par rapport à l'observateur ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$\text{décalage Doppler (Hz)} \rightarrow \Delta f = f_R - f_e = \frac{f_e \cdot v}{c} \quad \begin{array}{l} \text{vitesse de l'onde (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \\ \text{fréquence de l'onde émise par l'émetteur au repos (Hz)} \end{array}$$

fréquence de l'onde perçue par l'observateur (Hz)



EXERCICES

Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 593**



1 Niveau d'intensité sonore

	A	B	C
1 Le niveau d'intensité sonore correspondant à une intensité $I = 5,9 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ vaut :	59 dB	132 dB	58 dB
2 L'intensité sonore associée au niveau d'intensité sonore 104 dB est :	$2,5 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,5 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-12} \times 10^{-\frac{104}{10}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

2 Diffraction d'une onde

	A	B	C
3 Identifier les photographies où le phénomène de diffraction se manifeste.			
4 La fente a une largeur de : $d = 2,40 \text{ cm}$ $a = ?$ $D = 2,70 \text{ m}$ écran	$a = 1,46 \times 10^{-6} \text{ m}$	$a = 146 \mu\text{m}$	$a = 2,88 \times 10^{-9} \text{ m}$

3 Interférences de deux ondes

	A	B	C
5 Dans cette situation, la somme des deux ondes donne :	une zone sombre.	une zone éclairée.	une zone peu éclairée.
6 La longueur d'onde vaut :	2,25 mm	2,0 mm	2,75 mm

4 Effet Doppler

	A	B	C
7 Un émetteur ultrasonore de fréquence $f = 40,0 \text{ kHz}$, s'éloigne à la vitesse de $20,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La célérité du son vaut $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La fréquence perçue vaut :	2,35 kHz	42,4 kHz	37,6 kHz

Acquérir les bases

1 Niveau d'intensité sonore

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Utiliser la fonction mathématique logarithme décimal et sa fonction réciproque.
- Exploiter l'expression $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ ou $I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$
- Connaître l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption

→ Acquérir les bases : 8 → S'entraîner : 28

→ Acquérir les bases : 11

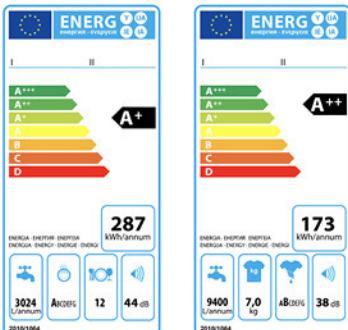
DONNÉES

- seuil d'audibilité à 1 000 Hz : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,
- célérité du son : $c_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- célérité de la lumière : $c_{\text{lumière}} = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

8 Plus on est nombreux...

- Un groupe de musiciens joue de la guitare : le niveau d'intensité sonore est de 75 dB. Avec quel appareil doit-on effectuer cette mesure ?
- Sachant qu'une guitare a un niveau sonore de 65 dB, combien y a-t-il de guitares identiques dans ce groupe ?
- Un percussionniste les accompagne et frappe un triangle, de niveau sonore 50 dB. Quelle est l'intensité sonore totale ? Commenter.

9 Performance d'un appareil ménager



Pour l'achat d'un lave-vaisselle, le niveau sonore est toujours indiqué par le fabricant.

- Comparer les intensités sonores de ces deux appareils.
- La différence de niveau d'intensité sonore mérite-t-elle une attention particulière lors de l'achat ?

10 Santé au travail

D'après le Code du travail, les ouvriers d'une entreprise ne doivent pas être soumis à des niveaux d'intensité sonore supérieurs à 87 dB. Un ouvrier travaille sur une machine de niveau sonore 83 dB. Il est entouré de deux machines voisines émettant un niveau d'intensité sonore de 82 dB chacune.

- Calculer les intensités sonores associées aux machines.
- a. Sachant que les intensités sonores s'ajoutent, calculer le niveau d'intensité sonore total reçu par l'ouvrier.
- b. L'entreprise satisfait-elle au Code du travail ?

11 Feux d'artifice

« Mais quel est l'intérêt de baisser le niveau sonore de ces spectacles pyrotechniques ? La raison est à chercher dans le bien-être animal [...], l'explosion de ces mêmes pétards constitue un véritable calvaire pour beaucoup d'animaux de compagnie. Plus sensibles que nous aux détonations, certains chiens ne savent où se réfugier pour échapper au supplice qui peut provoquer, dans les cas extrêmes, la mort de certains animaux. [...] En chiffres, un feu d'artifice classique cela représente entre 120 et 160 dB, la version à bruits contenus bride les décibels à 60, soit le volume produit par votre radio à volume normal. L'inconvénient est qu'un feu d'artifice à bruits contenus ne s'élève qu'à 75 mètres, il est donc moins spectaculaire qu'un feu d'artifice classique qui atteint lui les 200 mètres d'altitude. »



RTBF.be, Vincent Clérin, le 18 juillet 2019

1. En vous référant à l'échelle des niveaux d'intensité sonore du cours (FIG. 1), comment se situent les niveaux d'intensité sonore cités dans cet article ?

2. Dans le cas d'un feu d'artifice classique, quels conseils donneriez-vous à des propriétaires d'animaux pour atténuer le niveau d'intensité sonore perçu ?

2 Diffraction d'une onde

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

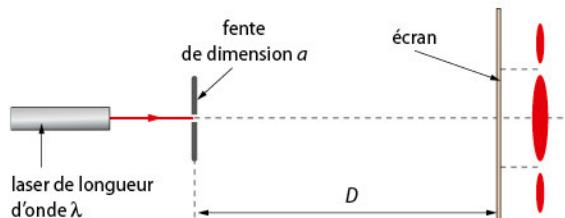
- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.
- Schématiser le phénomène de diffraction.

→ Acquérir les bases : 13 → S'entraîner : 25

- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.

→ Acquérir les bases : 13 → S'entraîner : 25

12 Expérience de la diffraction d'ondes lumineuses



1. Reproduire le schéma ci-dessus et indiquer la position des premières extinctions, la largeur L de la tache centrale de diffraction et l'angle caractéristique de diffraction θ .

- Rappeler l'expression de l'angle caractéristique de diffraction, en précisant la signification et l'unité des grandeurs.
- En se plaçant dans l'approximation des petits angles, où $\tan \theta \approx \theta$, établir la relation liant θ , a , λ , L et D .

EXERCICES

13 Diffraction par un trou éclairé par un laser vert

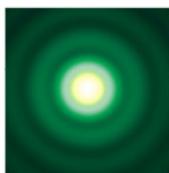
Un trou d'ouverture $a = 200 \mu\text{m}$ est éclairé par le faisceau d'un laser vert de longueur d'onde λ (comme sur le montage de l'exercice 12, avec la distance $D = 1,7 \text{ m}$).

1. Qu'observerait-on sur l'écran si la lumière se propageait rectilignement ?

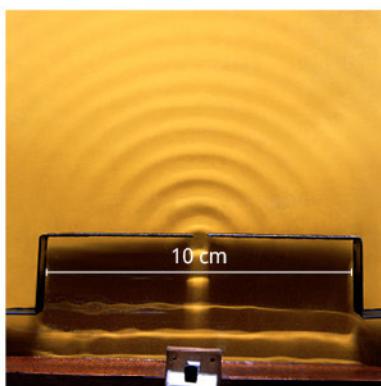
2. En fait, on observe une figure de diffraction comme celle-ci (à taille réelle).

a. En se plaçant dans l'approximation des petits angles, où $\tan \theta \approx \theta$, établir la relation liant θ , a , λ , L et D .

b. En mesurant directement sur la photo le diamètre de la tache centrale, déterminer la longueur d'onde λ du laser vert.



14 Diffraction des ondes à la surface de l'eau

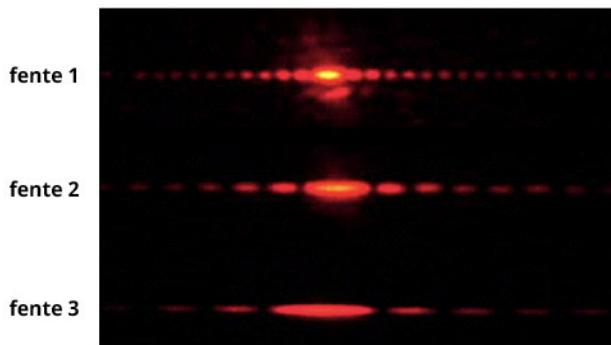


Un élève règle une cuve à ondes de manière à observer le phénomène de diffraction avec les ondes mécaniques à la surface de l'eau.

1. Déterminer la longueur d'onde des ondes avant l'ouverture et après l'ouverture. Conclure.

2. Calculer l'angle caractéristique de la diffraction θ , et le mettre en évidence sur la photo.

15 Lot de fentes verticales



Le faisceau d'un laser hélium-néon de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$ éclaire trois fentes verticales différentes, la distance fente-écran est de $3,2 \text{ m}$. Les figures de diffraction sont à l'échelle $\frac{1}{2}$.

1. a. Comment est orientée la figure de diffraction pour une fente verticale ?

b. Quelle est la fente la plus fine ?

2. a. Déterminer l'ouverture de cette fente.

b. Quelle serait la taille de la tache centrale si la fente était éclairée par un laser bleu de longueur d'onde $\lambda = 405 \text{ nm}$?

3 Interférences de deux ondes

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

• Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes. Le schématiser.

• Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.

► Acquérir les bases : 16 ► S'entraîner : 29

• Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée.

• Établir et exploiter l'expression de l'interfrange.

► Acquérir les bases : 18 ► S'entraîner : 29

16 Interférences sonores

Deux haut-parleurs sont alimentés par un même générateur qui émet une onde sonore de longueur d'onde $2,0 \text{ m}$.

1. a. Un point situé à 1 m du premier haut-parleur et à 4 m du deuxième correspond-il à un maximum ou un minimum d'amplitude ?

b. Comment qualifier les interférences en ce point ?

2. Même question pour un point situé à 6 m de l'un et 14 m de l'autre.

17 Superposition d'ondes

Deux ondes planes à la surface de l'eau ont la même longueur d'onde et sont issues de la même source.

1. Comment qualifie-t-on ces deux ondes ?

2. Voici trois situations où les ondes A et B se superposent, vue de profil :

A



B



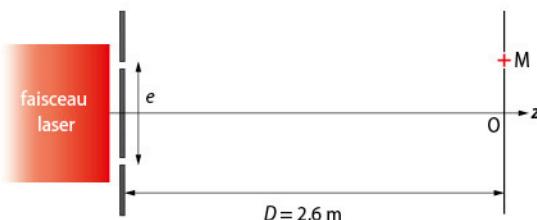
C



Dans chaque cas, attribuer à chaque situation la (ou les) expression(s) qui lui convient : *Interférences constructives – interférences destructives – ondes en phase – ondes en opposition de phase – zone sombre – zone peu éclairée – zone éclairée*

3. Qu'entendrait-on dans chacune des trois situations si les ondes étaient sonores ?

18 Différence de chemin optique



Un laser rouge, de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$, éclaire deux petits trous espacés d'un écartement e . On se place au point M.

1. a. Définir la différence de chemin optique δ . Reproduire le schéma et la représenter dessus.
- b. Le point O, au centre de l'écran, est-il sur une frange sombre ou brillante ?
2. On établit que la différence de chemin optique s'écrit : $\delta = \frac{e \cdot x}{D}$, x étant l'abscisse du point M. Rappeler à quelle condition on observe le premier maximum d'amplitude, autre que pour $x = 0$.
3. Ce premier maximum d'amplitude définit la valeur de l'interfrange i , on a alors : $x = i$. Exprimer littéralement l'interfrange i en fonction de λ , e et D .
4. En déduire l'écartement e entre les deux trous pour un interfrange de 3,4 mm mesuré sur l'écran.

4 Effet Doppler

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.
- Établir l'expression du décalage Doppler.
- Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées.

↳ Acquérir les bases : 20 ↳ S'entraîner : 23 24

Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA BAC

Écrire la relation qui lie le niveau d'intensité sonore et l'intensité sonore.

Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.

Citer le phénomène de diffraction d'une onde dans des situations variées.

Écrire la relation entre l'angle caractéristique de la diffraction et la longueur d'onde.

Citer le phénomène d'interférences dans des situations variées et les conséquences concrètes qui en découlent.

Écrire les conditions d'interférences constructives/destructives de deux ondes ponctuelles en phase.

Établir l'expression de l'interfrange.

Citer les observations correspondant à l'effet Doppler.

Établir l'expression du décalage Doppler.

Retrouver ces questions en version numérique

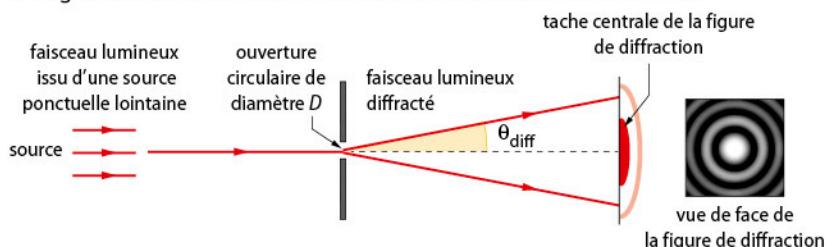
Exercice résolu

EN AUTONOMIE

21 Diffraction et astronomie

La première planète extrasolaire, dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge, s'appelle 2M1207b. Elle orbite à une distance estimée à 55 unités astronomiques (UA) autour de l'étoile 2M1207a, située à 230 années-lumière (al) de la Terre.

Actuellement, l'observation de détails avec un télescope terrestre est principalement limitée par le phénomène de diffraction lié à la valeur de l'ouverture circulaire D du télescope. Dans le cas d'une ouverture circulaire, on admet que l'angle caractéristique de diffraction θ_{diff} (exprimé en radian) vérifie la relation $\theta_{\text{diff}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$, où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et D le diamètre de l'ouverture.



Données : unité astronomique : 1 UA = $1,496 \times 10^{11}$ m ; année-lumière : 1 al = $9,461 \times 10^{15}$ m ; intervalle de longueur d'onde du proche infrarouge : [700 nm ; 1 000 nm].

1. **Citer** une propriété de la lumière qui explique le phénomène de diffraction.
 2. **Représenter** par un schéma, sans souci d'échelle, l'angle α sous lequel on voit le couple étoile-planète depuis la Terre. Calculer cet angle.
 3. Un télescope permet de distinguer deux objets à condition que l'écart angulaire α entre ces deux objets soit supérieur ou égal à l'angle caractéristique de diffraction.
- En 2024 l'Extremely Large Telescope aura un diamètre de 39 m. **Estimer** s'il permettra d'observer l'exoplanète sans être gêné par le phénomène de diffraction.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. Le phénomène de diffraction montre le **caractère ondulatoire** de la lumière.
2. Le schéma de l'angle sous lequel on voit le couple planète-étoile est le suivant.

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}.$$

$$\text{AN : } \alpha = \frac{55 \times 1,496 \times 10^{11}}{230 \times 9,461 \times 10^{15}} = 3,781 \times 10^{-6} \text{ rad.}$$

3. Calculons l'angle caractéristique de diffraction :

$$\theta_{\text{diff}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \text{ AN : } \theta_{\text{diff}} = 1,22 \times \frac{700 \times 10^{-9}}{39} = 2,2 \times 10^{-8} \text{ rad.}$$

Le phénomène de diffraction ne gêne pas la séparation de l'étoile et de son exoplanète car $\alpha > \theta_{\text{diff}}$.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

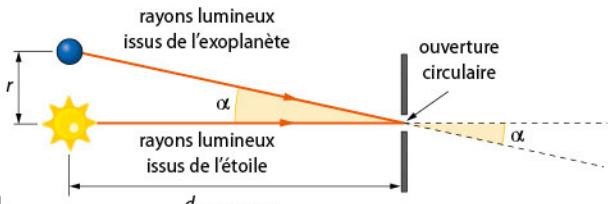
- Les distances sont à convertir en mètres.
- Toutes les données sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques du phénomène de diffraction.

LES VERBES D'ACTION

- Citer** : indiquer une justification à une observation ou une affirmation.
- Représenter** : rendre une situation perceptible par une figure.
- Estimer** : calculer approximativement une distance, un angle...

QUELQUES CONSEILS

1. Se baser sur le titre du chapitre.
2. et 3. Il faut convertir les distances en mètres.
2. Les données sont exprimées avec 4 chiffres significatifs donc le résultat aussi.
3. Utiliser l'expression de l'angle de diffraction fournie.

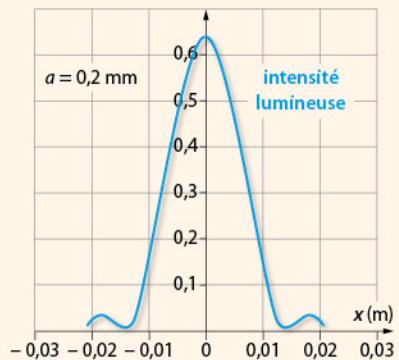


EXERCICE SIMILAIRE

22 Diffraction dans un télescope

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, l'image apparaît sous la forme d'une tache, dont la dimension est liée aux défauts de l'instrument, tels que la diffraction par l'ouverture limitée. On réalise le montage de diffraction dans lequel un laser correspond à l'étoile et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre a produisant un phénomène de diffraction.

1. Décrire le phénomène de diffraction.
2. Quel caractère de la lumière est mis en évidence ici ?
3. À partir des résultats expérimentaux, déterminer la valeur du diamètre d_{Airy} de la tache centrale de diffraction observée pour cette ouverture.



Exercice résolu

EN AUTONOMIE

23 L'effet Doppler et la musique

Lors de la répétition générale d'un ballet, une pianiste ponctue la fin du 1^{er} acte en jouant une série de La₃ successifs au cours desquels un danseur effectue un saut appelé « grand jeté » dans sa direction : il fait un bond jambes tendues de 1,9 m en 0,75 s. Après le baisser du rideau, le directeur artistique trouve le danseur et la pianiste en pleine discussion. Il a perçu des La₃ successifs qui lui semblaient de hauteurs différentes et pense qu'elle n'a pas joué la même note. Elle conteste et affirme qu'elle a bien joué la même note.

Le seuil de variation de fréquence que l'oreille humaine est capable de percevoir est appelée *seuil différentiel relatif*, S_{dr} . La variation de fréquence perçue est décelable si la variation relative des fréquences entre ces deux sons, notée $\frac{\Delta f}{f}$, est

supérieure ou égale à ce seuil S_{dr} . Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, il vaut environ 1/1 000 quelle que soit la fréquence du son.

Données : célérité du son dans l'air : 340 m · s⁻¹.

	Sol ₃	La ₃	Si ₃
Fréquence (Hz)	392	440	494

1. **Déterminer** la vitesse moyenne du danseur au cours de son « grand jeté ».
2. a. En utilisant le décalage Doppler, **calculer** la fréquence perçue par le danseur en mouvement. Expliquer en détail votre raisonnement et votre calcul.
b. Sachant que le danseur a une oreille entraînée par des années d'études musicales, **justifier** l'origine du désaccord entre la pianiste et le danseur.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. On applique la définition de la vitesse : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

AN : $v = \frac{1,9}{0,75} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La vitesse du danseur vaut donc $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. a. Le décalage Doppler s'écrit : $\Delta f = f \cdot \frac{v}{c_{\text{son}}}$. AN : $\Delta f = 440 \times \frac{2,5}{340} = 3,3 \text{ Hz}$.

Comme il s'approche de la pianiste, la fréquence perçue est plus grande : donc $f_R = f + \Delta f$. Soit $f_R = 443 \text{ Hz}$.

b. On calcule $\frac{\Delta f}{f} = \frac{3,3}{440} = 7,5 \times 10^{-3}$. Étant donné que cette variation relative de

fréquence est supérieure au seuil S_{dr} qui vaut $\frac{1}{1000}$, le danseur ayant une oreille

entraînée, va percevoir cette variation de fréquence d'où le désaccord avec la pianiste immobile qui perçoit bien le La₃ à 440 Hz.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

On donne la distance et la durée du saut, utile pour calculer la vitesse.

Bien exploiter les informations, elles sont utiles à la résolution.

LES VERBES D'ACTION

Déterminer : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

Calculer : Effectuer un calcul numérique.

Justifier : établir le bien-fondé de l'argumentation.

QUELQUES CONSEILS

1. Il faut conserver le résultat exact du calcul de la calculatrice pour s'en resservir dans le calcul suivant. On se limitera à 2 chiffres significatifs en raison des données.

2. a. Exploiter la relation du décalage Doppler. Ne garder qu'un chiffre significatif. Mais le réutiliser pour le prochain calcul.

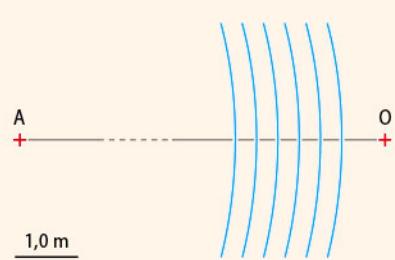
b. Comparer $\frac{\Delta f}{f}$ et le seuil $S_{dr} = \frac{1}{1000} = 1 \times 10^{-3}$.

EXERCICE SIMILAIRE

24 Vitesse d'un hélicoptère

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est $f_0 = 8,10 \times 10^2 \text{ Hz}$. Les portions de cercles de la figure ci-contre donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématisé l'hélicoptère. L'hélicoptère se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son vaut $c_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Déterminer la longueur d'onde λ perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme. En déduire la fréquence perçue par l'observateur.
2. Estimer la valeur de la vitesse de l'hélicoptère en utilisant l'expression du décalage Doppler.



S'entraîner pour maîtriser

DONNÉES

► Seuil d'audibilité à 1 000 Hz : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$; célérité du son : $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

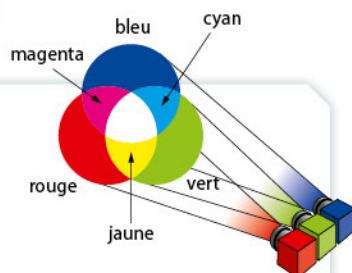
SAVOIR RÉDIGER

25 Proposer une correction de la solution proposée à l'énoncé.

Énoncé

Une source de lumière blanche éclaire une fente de largeur $a = 200 \mu\text{m}$. La figure de diffraction est observée sur un écran placé à une distance $D = 220 \text{ cm}$. Chaque radiation monochromatique composant la lumière blanche crée sa propre figure de diffraction.

1. Exprimer la relation liant la longueur d'onde λ , l'ouverture de la fente a , la distance fente-écran D et la largeur L de la tache centrale de diffraction.
2. Calculer les largeurs des taches centrales de diffraction des trois couleurs primaires, c'est-à-dire le bleu (405 nm), le vert (525 nm) et le rouge (650 nm).

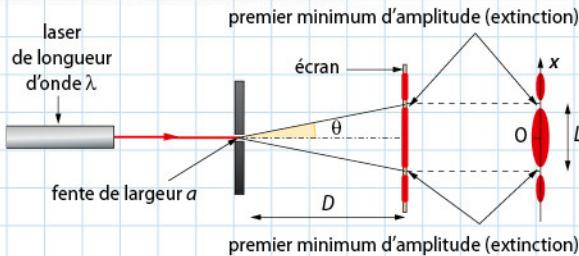


3. Lors de la superposition de lumières colorées, une synthèse additive est réalisée. De quelle couleur est :

- le point central de la figure de diffraction, d'abscisse $x = 0 \text{ mm}$?
 - le point d'abscisse $x = 4,5 \text{ mm}$?
 - le point d'abscisse $x = 7 \text{ mm}$?
4. En déduire l'aspect de la figure de diffraction en lumière blanche.

Solution proposée par un élève

J'utilise le schéma suivant vu en cours.



1. Je sais que l'angle caractéristique) Éviter "je sais que". de diffraction s'écrit : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Je sais aussi que pour les petits angles : $\theta \approx \tan \theta = \frac{L}{2D}$. Alors $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$.

2. Je remplace par les valeurs de l'énoncé :

$$\frac{405}{200} = \frac{L}{2 \times 220 \times 10^{-3}} \text{ et j'isole } L \text{ dans l'expression ci-dessus :}$$

$$\text{pour le bleu : } L_B = \frac{2 \times 405 \times 220 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-9}} = 0,90 \text{ cm} = 9,0 \text{ mm}$$

Il est préférable de raisonner en formule littérale.

Convertir les distances en m !

pour le vert, il faut changer la longueur d'onde :

$$L_V = \frac{2 \times 525 \times 220 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-9}} = 1,2 \text{ cm} = 12 \text{ mm}$$

Idem pour le rouge :

$$L_R = \frac{2 \times 650 \times 220 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-9}} = 1,4 \text{ cm} = 14 \text{ mm}$$

3. a. Le point central de la figure de diffraction) Il faut expliquer est toujours blanc. et non affirmer.

b. On remarque que 4,5 mm est la moitié de la tache centrale due à la couleur bleue, ça correspond au premier minimum d'extinction du bleu. Comme ne se superposent que le vert et le rouge, par synthèse soustractive, la couleur résultante est jaune.

c. De même, $x = 7 \text{ mm}$ correspond à l'extinction du rouge, il ne reste que le bleu et le vert, ce qui donne la couleur magenta. Revoir la synthèse additive des couleurs.

4. La figure de diffraction va donc être la superposition des couleurs des figures de diffraction de chaque couleur.

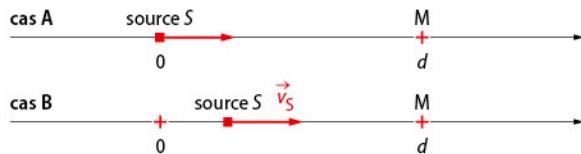
26 Expérience de Buys-Ballot HISTOIRE DES SCIENCES



Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçue par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement. Buys-Ballot, scientifique hollandais, vérifie expérimentalement la théorie de Doppler en 1845, en enregistrant le décalage en fréquence d'un

son provenant d'un train en mouvement et perçu par un observateur immobile.

Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur, noté M, est immobile sur le quai. Les musiciens, présents à bord du train, jouent la note la , de fréquence $f_0 = 440 \text{ Hz}$. Ils sont assimilés à une source sonore S. Le signal sonore se propage à la célérité c_{son} par rapport au référentiel terrestre.



1. 1^{er} cas : la source S est immobile en $x = 0$ et le détecteur M, situé à la distance d , perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

a. Définir le retard τ .

b. Comparer la période temporelle T de la note perçue par le détecteur à la période d'émission T_0 .

2. 2^e cas : la source S, initialement en $x = 0$, se déplace à une vitesse constante v suivant l'axe (Ox) en direction du détecteur immobile. La vitesse v est inférieure à la célérité c_{son} . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors la note de période :

$$T' = T_0 \cdot \left(1 - \frac{v}{c_{\text{son}}}\right).$$

a. Indiquer si la fréquence f' de la note est inférieure ou supérieure à la fréquence f_0 .

b. Calculer la fréquence f' si le train se déplace à $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

27 Les talents s'additionnent



Dans un groupe de musique, on mesure avec un sonomètre les niveaux d'intensité sonore de chaque instrument séparément. Pour la batterie, il indique 70 dB, pour la guitare 68 dB, pour le piano 65 dB et 66 dB pour la chanteuse. Quel est le niveau d'intensité sonore total, lorsque tous les instruments jouent ensemble ?

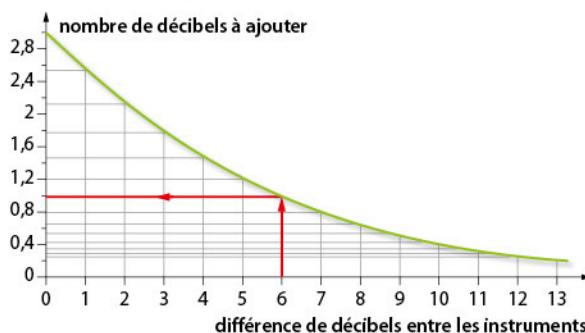
JE VÉRIFIQUE QUE J'AI...

- ▶ calculé les intensités sonores de chaque instrument.
- ▶ additionné uniquement les intensités sonores.

28 Additionner sans calculatrice

Le graphique ci-après permet de connaître le niveau d'intensité sonore résultant de plusieurs sources différentes sans avoir recours à des calculs d'intensité sonore.

Par exemple, deux guitares, ayant respectivement 80 dB et 86 dB de niveaux d'intensité sonore, auront un niveau d'intensité sonore total de 87 dB.



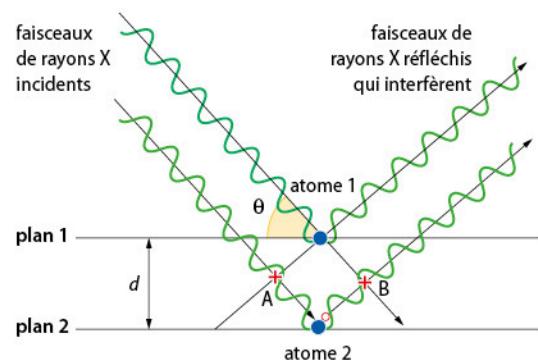
- Quelle fonction mathématique modélise le niveau d'intensité sonore ? Justifier pourquoi les niveaux sonores ne s'ajoutent pas.

2. En vous servant de ce graphique, déterminer le niveau d'intensité sonore :

- lorsqu'un percussionniste a un niveau sonore de 87 dB et qu'une guitare électrique en a un de 91 dB ;
- lorsque deux flûtistes jouent ensemble avec le même niveau sonore 82 dB.

29 Interférences et rayons X DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Les rayons X sont utilisés pour explorer la matière, par exemple pour évaluer la distance d entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal. Lorsqu'on envoie un faisceau de rayons X de longueur d'onde λ sur un cristal, ils sont réfléchis par les atomes qui constituent le cristal. Les ondes réfléchies par les atomes interfèrent. On peut représenter de façon très simplifiée cette situation par le schéma suivant :



Données : la différence de chemin optique entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation : $\delta = 2d \cdot \sin \theta$, où d est la distance entre deux atomes voisins et θ l'angle entre le rayon et le plan ; $\theta = 11,5^\circ$ et $\lambda = 145 \text{ pm}$.

DÉMARCHE EXPÉRIENCE

Comment la diffraction par rayons X permet d'étudier la structure des plans cristallins, notamment la distance entre les deux plans 1 et 2 ?

DÉMARCHE AVANCÉE

- En exploitant le schéma précédent, évaluer la différence de chemin optique.
- Preciser à quelles conditions les rayons X, qui interfèrent après réflexion, donnent des interférences destructives ou constructives.
- Déterminer la valeur de d dans le cristal dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de chemin optique minimale.

30 Fire truck siren

The siren of a fire truck emits sound at a frequency of 800 Hz. You are standing on the pavement. If the fire truck drives past you at a speed of $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, what frequency will you hear when :

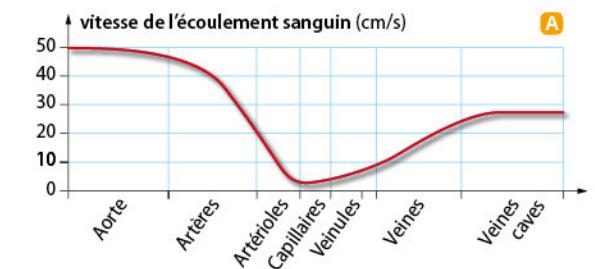
- the fire truck is approaching you?
- the fire truck is driving away from you?

Take the speed of sound in air to be $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

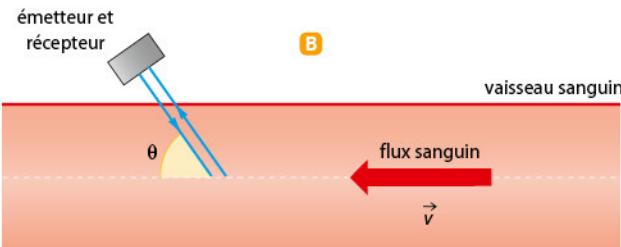
EXERCICES

31 Écho Doppler

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure A ci-dessous).



Un émetteur produit des ondes ultrasonores de fréquence $f_E = 10 \text{ MHz}$ qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore rencontre des cibles mobiles, comme les globules rouges du sang animés d'une vitesse v , il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler (figure B ci-dessous).



La vitesse v des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation :

$$v = \frac{v_{\text{ultrason}} \cdot \Delta f}{2 \cdot \cos \theta \cdot f_E} \quad \text{où } \Delta f \text{ est le décalage Doppler en fréquence}$$

entre l'onde émise et l'onde réfléchie, v_{ultrason} la célérité des ultrasons dans le sang et θ l'angle défini sur la figure B.

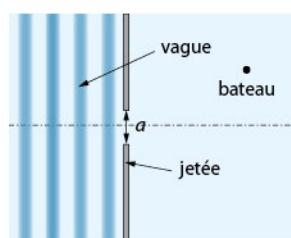
On donne $v_{\text{ultrason}} = 1,57 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\theta = 45^\circ$.

1. a. Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur étant de 1,5 kHz, en déduire la vitesse v des globules rouges.
b. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

2. Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis f_E . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence Δf . Justifier.

32 À l'abri ?

La houle prend naissance sous l'effet du vent loin des côtes. Des vagues sont espacées de 15,7 m. Cette houle arrive sur un port dont l'ouverture entre deux jetées a une largeur $a = 36,0 \text{ m}$. Un bateau est stationné au fond du port comme indiqué sur le schéma ci-contre.



1. Calculer l'angle caractéristique de diffraction en degré.
2. En déduire si le bateau risque de ressentir les effets de la houle. Justifier en exploitant le schéma et en utilisant un rapporteur.

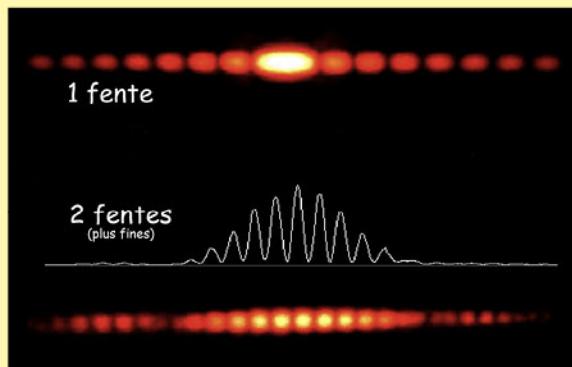
À L'ORAL

33 Faisons le point

On considère les deux figures obtenues ainsi que l'acquisition expérimentale ci-dessous.

Élaborer un exposé oral de quelques minutes présentant :

- le protocole expérimental qui a pu être mis en œuvre pour les obtenir ; vous insisterez sur les différences entre les deux montages ;
- l'acquisition qui a été faite ;
- l'explication des deux phénomènes observés ;
- la relation de l'angle caractéristique de diffraction ;
- la relation de l'interfrange.



Les mots-clés à utiliser

- diffraction par une ouverture
- interférences de deux ondes lumineuses
- interférences destructives
- interférences constructives
- différence de chemin optique

34 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Les casques avec réduction de bruit ont pris une place de plus en plus grande dans notre environnement. Comment expliquer le phénomène qui se produit lorsqu'on active ce système ?



Préparer un exposé oral qui explique :

- le phénomène qu'utilise le fabricant du casque pour annihiler les bruits extérieurs ;
- quelles sont les différentes techniques pour atténuer au maximum le fond sonore et ainsi profiter pleinement de sa musique préférée.

Développer ses compétences

35 Interférences au service de l'astrophysique

RÉSOLUTION DE PROBLÈME

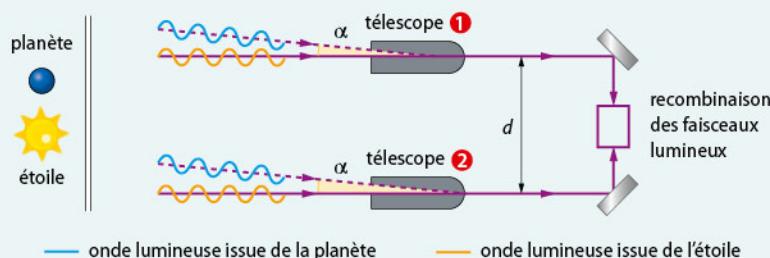


COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

En général, les exoplanètes sont peu lumineuses par rapport aux étoiles, ce qui ajoute une difficulté supplémentaire pour les observer. Un dispositif interférométrique, décrit dans le document 1, a été proposé en 1978 par le physicien australien Ronald N. Bracewell. L'objectif est d'éliminer le signal de l'étoile tout en permettant l'enregistrement du signal émis par l'exoplanète.

DOC 1 Dispositif interférométrique

On considère deux télescopes identiques dont les lignes de visée sont dirigées vers une étoile lointaine. La direction d'une exoplanète à proximité de l'étoile fait un angle α avec la ligne de visée. Dans ce dispositif, les faisceaux issus des deux télescopes sont recombinés grâce à un dispositif optique situé à égale distance des deux télescopes.



DONNÉES

- On fait l'étude du rayonnement infrarouge, plus particulièrement à la longueur d'onde $\lambda = 10,0 \mu\text{m}$.
- Distance Terre-étoile : $d_{\text{Terre-étoile}} = 2,18 \times 10^{18} \text{ m}$.
- Distance exoplanète-étoile : $r = 8,23 \times 10^{12} \text{ m}$.

DOC 2 Recombinaison des signaux issus de l'étoile

On appelle T la période de l'onde lumineuse. L'idée de Bracewell est d'ajouter, juste après le télescope 2, un système optique permettant d'ajouter un retard d'une demi-période $\frac{T}{2}$ sur le signal provenant de ce télescope.

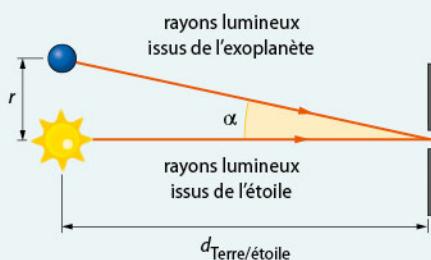
DOC 3 Recombinaison des signaux issus de l'exoplanète

Les rayons lumineux issus de l'exoplanète arrivent sur les dispositifs interférométriques en faisant un angle α avec la ligne de visée. À cause de cette inclinaison, le signal lumineux arrive sur le télescope 2 avec un retard $\tau = \frac{d \cdot \sin \alpha}{c}$ où d est la distance entre les deux miroirs.

DOC 4 Schéma de l'écart angulaire

α est l'écart angulaire entre l'étoile et la planète, c'est-à-dire l'angle sous lequel l'écart angulaire étoile-planète est vu depuis la Terre. Il se calcule grâce à la relation :

$$\alpha \approx \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$$



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Justifier que, dans le dispositif décrit dans le document 1, les rayons lumineux issus de l'étoile et captés par les télescopes interfèrent de manière constructive au niveau de la recombinaison.
- Montrer que le système optique de Bracewell (doc. 2) élimine l'onde lumineuse issue de l'étoile.
- Montrer que le signal issu du télescope 2 a un retard de $\tau' = \frac{d \cdot \sin \alpha}{c} + \frac{T}{2}$ par rapport au signal issu du premier télescope.

PROBLÉMATIQUE

Prévoir la distance minimale d entre les deux télescopes pour obtenir une interférence constructive lors de l'observation de l'exoplanète en rotation autour de l'étoile.

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

36 Effet Doppler au service de l'astrophysique

TACHE COMPLEXE



(AN/RA) Proposer une stratégie de résolution

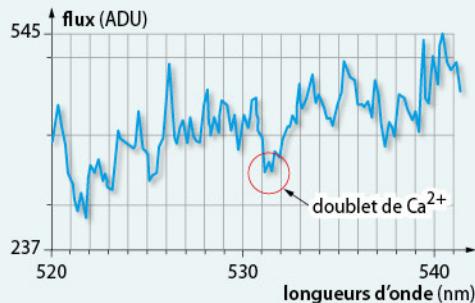
L'effet Doppler constitue un moyen d'investigation utilisé en astrophysique. Il permet de déterminer la vitesse des astres à partir de l'analyse spectrale de la lumière que ceux-ci émettent. On propose d'étudier l'étoile double HD 80715 qui se situe dans la galaxie NGC 691.

Montrer comment l'effet Doppler permet de mesurer la vitesse d'une étoile et de détecter la présence d'une étoile double, non détectable par un télescope.

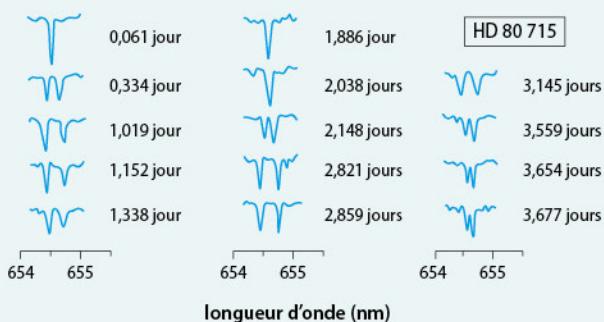
DOC 1 Calcul de vitesse par décalage de longueur d'ondes

On note λ_0 la longueur d'onde de référence de la raie étudiée dans le spectre (source immobile par rapport à l'observateur) et λ la longueur d'onde de la radiation émise par la source en mouvement. Lorsqu'une galaxie, comme NGC 691, s'éloigne de la Terre, la formule de Doppler donnant la vitesse d'éloignement v de la source lumineuse par rapport à l'observateur terrestre est : $v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$.

DOC 2 Extrait du spectre de la galaxie NGC 691



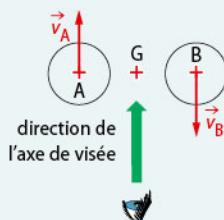
Source : Observatoire de Haute Provence, logiciel libre Salsaj.

DOC 4 Évolution temporelle de la position de la raie H α dans le spectre de l'étoile double HD 80715

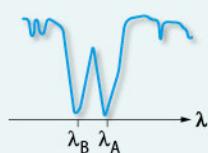
Source : Observatoire de Paris/U.F.E.

DOC 3 Effet du mouvement des deux composantes d'une étoile double sur une raie d'absorption si l'axe reliant les deux étoiles est perpendiculaire à l'axe de visée.

A Configuration



B Spectre observé (extrait)



Effet du mouvement des deux composantes d'une étoile double sur une raie d'absorption si l'axe reliant les deux étoiles est perpendiculaire à l'axe de visée.

DONNÉES

- Longueur d'onde médiane λ_0 du doublet de Ca $^{2+}$ mesurée sur Terre pour une source au repos : 526,8 nm.
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

VOCABULAIRE

- **Étoile double** : c'est un système stellaire composé de deux étoiles proches en orbite autour du même point (ce point étant le centre d'inertie G du système).

37 Quelle longueur d'onde ?

RÉSOLUTION DE PROBLÈME

COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Un granulomètre est un appareil de mesure de précision qui permet de déterminer le diamètre d'un petit grain.

DOC 1 Le granulomètre

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une diode laser utilisée dans un appareil de granulométrie, on intercale des fentes de différentes largeurs sur le trajet du faisceau laser. Sur un écran placé à une distance $D = 2,00 \text{ m}$ des fentes, on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 l'angle caractéristique de diffraction exprimé en radian. Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fentes calibrées de différentes largeurs a . On porte les valeurs obtenues sur le graphique du doc. 2.

Le fabricant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 632 nm et 810 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Donner la relation qui lie λ , θ_0 et a .

On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian.

- Démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression : $L = k \cdot \frac{1}{a}$, avec $k = 2\lambda \cdot D$

LE PROBLÈME À RÉSOUVRE

Déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée en utilisant les documents fournis. Exprimer le résultat avec son incertitude-type (VOIR FICHE MÉTHODE p. 538).



Retrouvez des exercices de synthèse p. 522

**DOC 2** Évolution de la tache centrale de diffraction**DOC 3** Incertitude-type sur la longueur d'onde

L'incertitude-type sur la longueur d'onde λ , notée $u(\lambda)$, peut être déterminée à partir de la relation suivante :

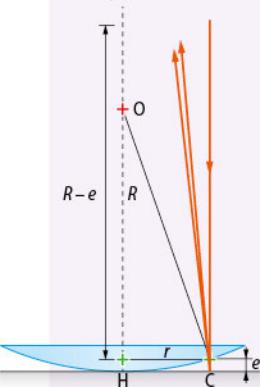
$$u(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(k)}{k}\right)^2}$$

L'incertitude-type sur la valeur du coefficient directeur est donnée par le tableur-grapheur, soit $u(k) = 1,2 \times 10^{-7} \text{ USI}$.

VERS LE SUP'**38** Les anneaux de Newton

Les anneaux de Newton se forment au voisinage du « coin d'air » formé par une lentille convergente plan-convexe placée au contact d'une lame plane à faces parallèles.

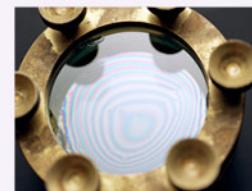
Les rayons qui se réfléchissent sur la face convexe de la lentille interfèrent avec ceux qui se réfléchissent sur la face supérieure de la lame. On supposera que la lentille est parfaitement en contact avec le plan ($h = 0$).



Données : R est le rayon de courbure de la lentille ; r est la distance entre l'axe de la lentille et le point où le rayon lumineux frappe la partie convexe de la lentille ; e l'épaisseur entre la lentille et la surface plane.

La différence de chemin optique s'écrit : $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$, avec λ la longueur d'onde de la lumière incidente (le terme $\frac{\lambda}{2}$ correspond au déphasage de l'onde lors de la réflexion sur la surface plane).

- En appliquant le théorème de Pythagore dans le triangle OHC, montrer qu'on peut écrire : $e^2 - 2eR + r^2 = 0$.



Les anneaux de Newton

- Résoudre cette équation du second degré de variable e , en montrant que seule une des racines est physiquement possible.

- En déduire que la différence de chemin optique peut s'écrire $\delta = 2R(1 - \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}) + \frac{\lambda}{2}$.

- En mathématiques, on peut faire l'approximation, si x est proche de 0 :

$$\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{x}{2}$$

Montrer que la différence de chemin optique s'écrit alors :

$$\delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

En déduire que le rayon r_k du k -ième anneau sombre de la figure d'interférence s'exprime : $r_k = \sqrt{Rk\lambda}$.

Diffraction et photographie d'étoiles

Contexte

L'objectif est d'expliquer les aigrettes de diffraction, ces lignes en forme de croix, présentes sur les photographies d'étoiles prises avec un télescope, et de modéliser la courbe de l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la largeur de la fente.



Documents mis à disposition



Aigrettes de diffraction



Vue de l'intérieur du télescope

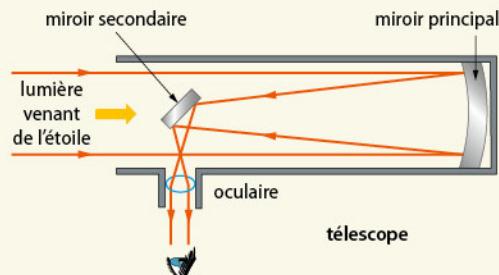


Schéma du trajet de la lumière dans un télescope

Matériel mis à disposition

- un ordinateur muni d'une caméra disposée sur un support réglable, d'un logiciel de traitement d'images et d'un tableau-grapheur
- une source laser
- un écran translucide
- Plusieurs « araignées » en fils (modélisant le support de miroir secondaire) avec des épaisseurs connues, notées a , et des formes différentes
- un double-mètre ruban

Travail à effectuer

1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (30 min conseillées)

■ À partir des documents et de la liste du matériel disponible, proposer un protocole expérimental permettant de montrer l'influence du support du miroir secondaire sur les aigrettes de diffraction observées et de mesurer la tache centrale de diffraction à l'aide d'un logiciel dédié.



Attention de ne jamais regarder dans la direction du faisceau laser
et faire attention aux multiples réflexions possibles.



Être en mesure de présenter le protocole

2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental proposé (20 min conseillées)

1. Mettre en œuvre le protocole et procéder à l'acquisition de la figure de diffraction par l'intermédiaire de la caméra.
2. Dire quelle est l'influence du support du miroir secondaire sur les aigrettes de diffraction.
3. Mesurer la largeur de la tache centrale de diffraction pour des « araignées » de fils d'épaisseurs différentes à l'aide du logiciel de traitement d'images. En déduire l'angle caractéristique de diffraction θ . Pour chaque mesure, donner son incertitude-type.



Être en mesure de présenter l'acquisition et le traitement informatisé

3. (VAL) Exploitation du résultat obtenu (10 min conseillées)

1. À l'aide d'un tableau grapheur, modéliser la courbe expérimentale $\theta = f(a)$ par une fonction du type $\theta = k \cdot a^n$, avec n la puissance à déterminer.
2. Identifier une source d'incertitude possible dans les mesures réalisées.

Défaire le montage et ranger la paillasse.

UNE QUESTION

Comment l'effet Doppler permet-il d'effectuer un diagnostic médical ?

Enjeu de la question

On parle souvent de l'effet Doppler afin de mesurer des vitesses. Il est difficile de diagnostiquer des symptômes sans être invasif.

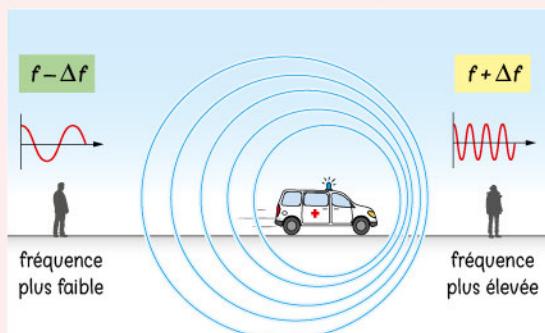
Proposition de plan de présentation

1. Définition de l'effet Doppler. Schéma et formules.
2. Les applications courantes de l'effet Doppler.
 - a) Les mesures de vitesses d'ondes, notamment ultrasonores.
 - b) Les décalages de longueurs d'onde en astronomie.
3. L'effet Doppler au service de la médecine.
4. Conclusion : amélioration des diagnostics en cardiologie.

Les mots-clés

vitesse d'écoulement ▶ ultrasons ▶ problèmes circulatoires et cardiaques ▶ décalage Doppler ▶ expansion de l'Univers

Exemple de support de présentation



Principe de l'effet Doppler

QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

Quelle est la nature des ondes utilisées dans un radar afin de contrôler la vitesse des véhicules sur la route ?

Comment définir l'effet Doppler en terme de variations de longueurs d'onde ?

Quel est le coût d'un appareil Doppler ? Quelle utilité médicale apporte-t-il ?

Comment est modifiée la relation du décalage Doppler si la sonde est inclinée d'un angle θ par rapport au flux sanguin ?

À propos de l'effet Doppler...

Qu'est-ce que le redshift ?

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Les métiers relatifs au corps médical sont des métiers d'avenir. Ils sont nombreux et variés, car le secteur a besoin de nouveaux praticiens pour renouveler les cabinets médicaux ou centres de soins. C'est un secteur en pleine évolution car il convient d'intégrer constamment de nouvelles pratiques et nouvelles technologies.

Après le bac : Bac + 10 diplôme d'état de Docteur en médecine spécialisée.

Autres métiers : manipulateur en électroradiologie médicale, ingénieur(e) imagerie médicale, dosimétriste en radiologie.

Le **radiologue** examine ses patients en cabinet libéral ou à l'hôpital. Il est chargé de diagnostiquer les maladies à partir des symptômes de ses malades. Grâce à des techniques d'examen modernes et qui ne sont pas invasives, il peut traiter de manière adéquate et sans douleur pour celui qui souffre.

