

longitudinal.

Type bac n°1: Chauve-souris/papillon

- 1.1.1 La fréquence des ondes sonores est de $50,0 \text{ kHz} > 20,0 \text{ kHz}$. On en déduit que ces ondes sont **ultra-sonores**.
- 1.1.2 Il s'agit d'une onde mécanique car elle a besoin d'un support matériel pour se déplacer ici: l'air.
- 1.1.3 Il s'agit d'une onde transversale car la direction de perturbation est parallèle à la direction de propagation.

Tableau de proportionnalité:

Durée en s	T	$\frac{1}{f}$
Nombre de Rép	1	f

$$f = \frac{1 \times 1}{T} = \frac{1}{T}$$

THEME 1 : OBSERVER – ONDES ET MATIERES

Chapitre 1 : Les particules et les ondes



I. LES PARTICULES

Définition

Une particule est une unité de matière suffisamment petite pour être considérée comme ponctuelle. Les particules possèdent toutes une masse à l'exception du photon dont la masse est nulle.

Exemples

Les électrons, les protons, les neutrons, les quarks, les photons etc. sont des particules subatomiques, c'est-à-dire que leur taille est plus petite que l'atome.

Il existe également des particules plus complexes comme l'atome, les molécules les ions etc.

Quelles qu'elles soient, les particules sont émises par l'Univers et détecter ces dernières est un enjeu majeur de la physique car cela permet de comprendre l'Univers lui-même.

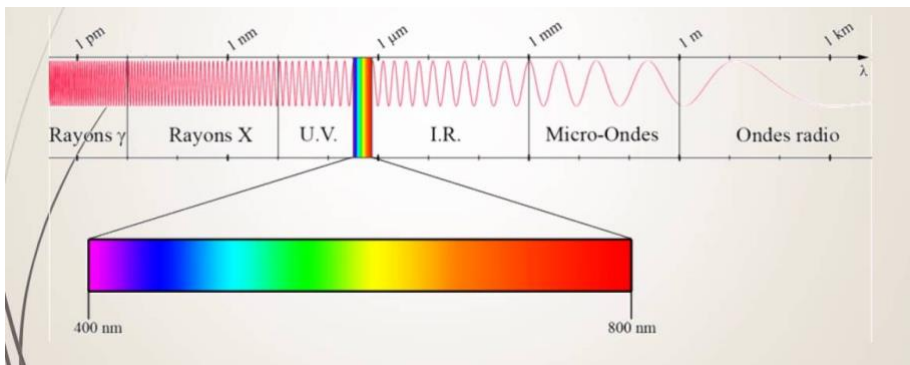
II. LES RAYONNEMENTS (ONDES) électromagnétiques lumière.

Il existe également dans l'univers d'autres types d'entités que les particules : les rayonnements ; donc à ne pas confondre avec les particules. Ces rayonnements sont émis dans leur très grande majorité par les étoiles. Parmi ces rayonnements, on peut citer les rayons gammas γ , les rayons X certains rayons UV sont stoppés par l'atmosphère terrestre, d'autres rayonnements la traverse comme la lumière visible et certains UV.

Remarque

Les rayonnements sont également appelés ondes électromagnétiques.

Spectre connu des ondes électromagnétiques :



III. LES ONDES MECANIQUES

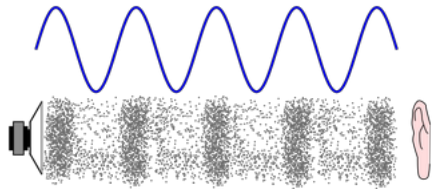
Définition exigible au bac

On dit qu'une onde est mécanique lorsqu'une perturbation se propage dans un milieu matériel.

Exemples

Le son, les vagues engendrées par une pierre qui tombe dans une eau calme, les ondes sismiques, l'excitation d'une onde attachée à un point fixe sont des ondes mécaniques.

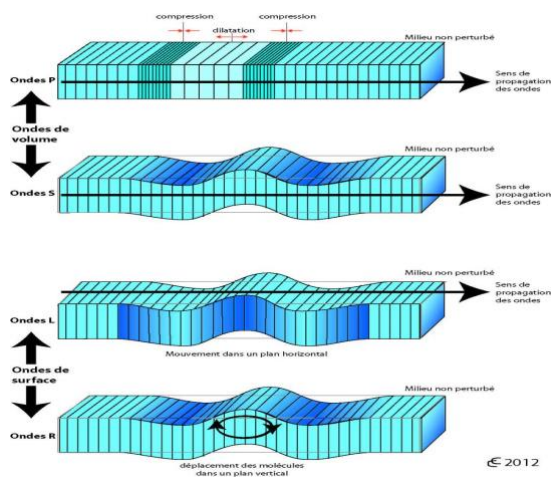
Le son :



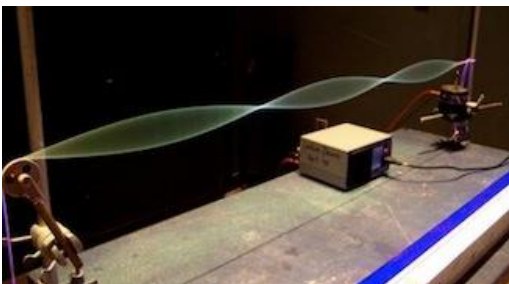
Les vagues :



Les ondes sismiques :



Corde :



Remarques

Il ne faut surtout pas confondre ondes mécaniques et ondes électromagnétiques car ces deux types d'ondes diffèrent sur un point crucial : les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide alors que les ondes mécaniques ont besoin d'un support matériel pour se propager.

Ainsi, tous les films où l'on entend des explosions dans l'espace sont caducs car dans l'espace, il n'y a pas d'air ; dès lors le son ne peut pas se propager.

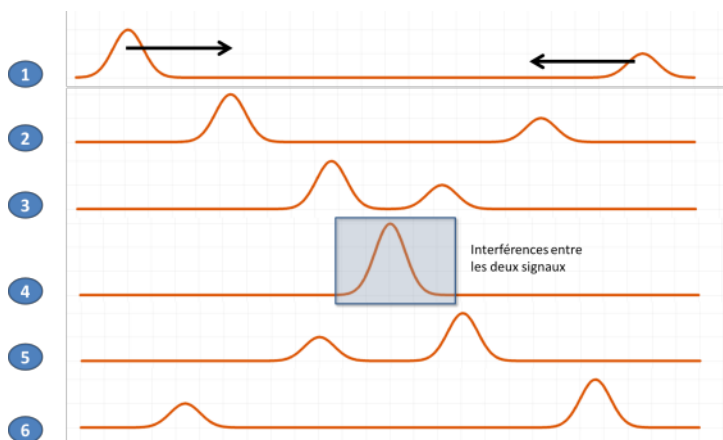
On peut ajouter l'adjectif « progressive » au mot onde mécanique.

Définition exigible au bac

Une onde mécanique progressive correspond à la propagation d'une perturbation sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

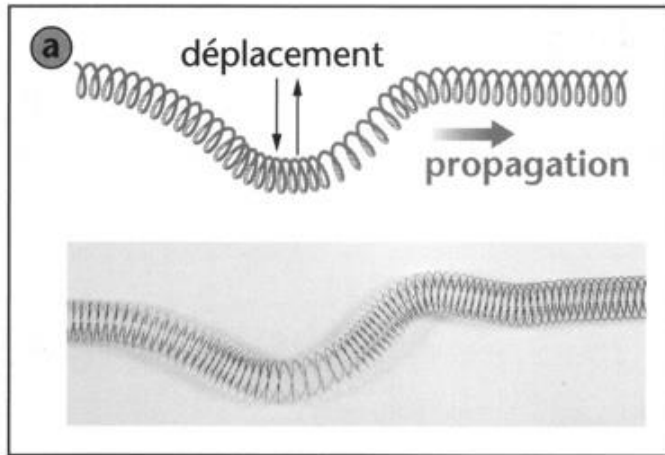
Les ondes mécaniques progressives ont quatre propriétés majeures :

- Une onde se propage dans toutes les directions que lui offre le milieu dans lequel elle se propage ainsi :
 - le son est tri-directionnel il se propage dans l'espace.
 - les vaguelettes à la surface de l'eau sont bidirectionnelles, elles se propagent seulement à la surface de l'eau.
 - L'excitation d'une corde est unidirectionnelle car la perturbation se propage seulement dans la direction de la corde.
- Une onde peut être périodique si elle contient un motif qui se répète identiquement à intervalle de temps égaux.
- Les ondes obéissent au principe de superposition :

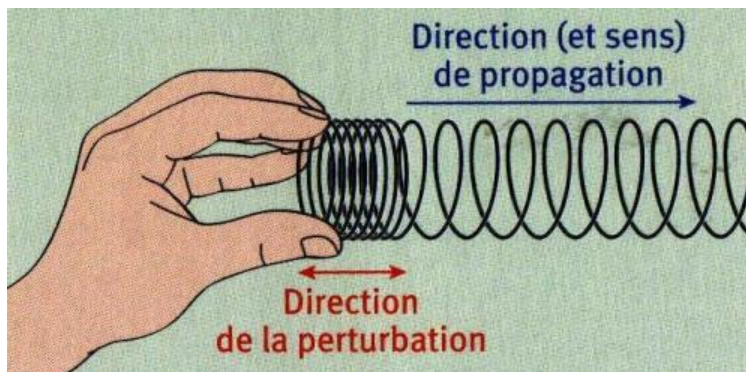


C'est-à-dire que deux ondes peuvent se rencontrer s'additionner ou se soustraire et continuer leur propagation sans être modifiées.

- Les ondes peuvent être **transversales** lorsque la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation (exigible au bac) :



Ou bien les ondes peuvent être **longitudinales** (exigible au bac) :



IV. CARACTERISTIQUES DES ONDES

Les ondes peuvent être caractérisées par quatre grandeurs physiques extrêmement importantes.

1. Célérité des ondes

Comme les particules les ondes parcourent des distances d pendant des durées Δt . Dès lors on parle de la célérité des ondes :

$v \rightarrow$ particules
 $c \rightarrow$ ondes.

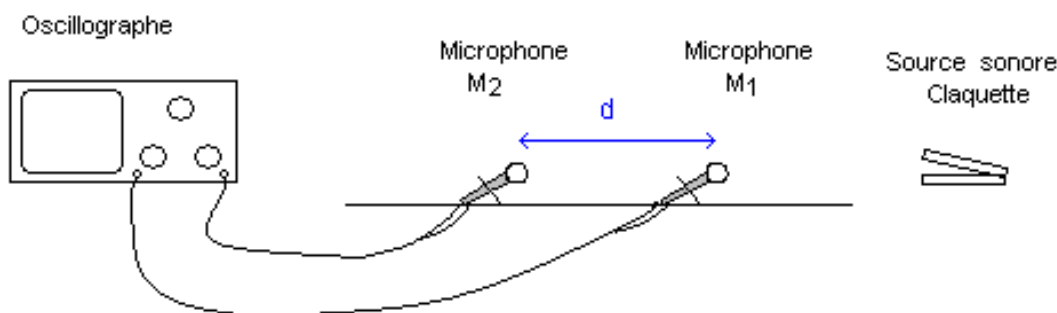
$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

Remarque

On parle de **célérité** pour une onde et de **vitesse** pour une particule pour ne pas confondre les deux.

Exercice d'application

On réalise le montage suivant :



On constate que l'oscilloscope nous indique que le premier signal arrive à la date $t_1 = 3,0 \text{ ms}$ et que le deuxième signal arrive à la date $t_2 = 3,2 \text{ ms}$. Sachant que la vitesse du son dans l'air est de 340 m.s^{-1} , calculer la distance d qui sépare les deux micros.

\uparrow B
 \downarrow A
 \rightarrow AB

Solution : On sait que :



$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

$$\Leftrightarrow d = c \times \Delta t = 340 \times (3,2 - 3,0) = 68 \text{ m}$$

Les deux micros sont distants de 68 m.

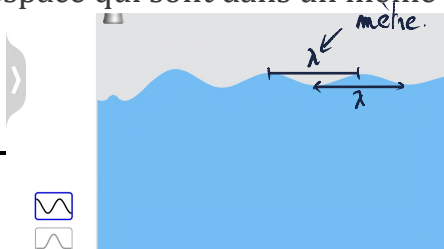
2. Longueur d'onde ou bien période spatiale

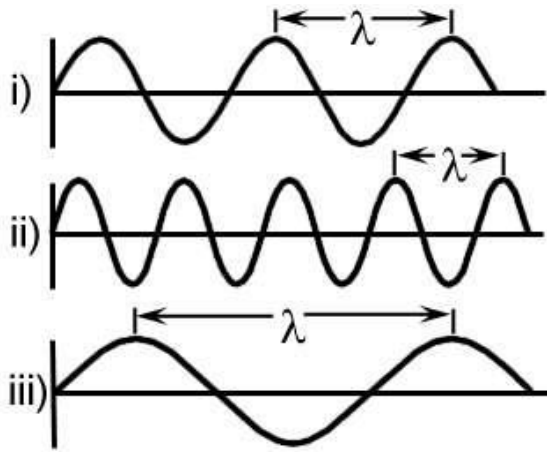
Définition exigible au bac

grandeur
motif

\rightarrow
 AB

Toutes les ondes périodiques sont caractérisables par leur longueur d'onde λ qui correspond à la plus petite distance entre deux points de l'espace qui sont dans un même état vibratoire.

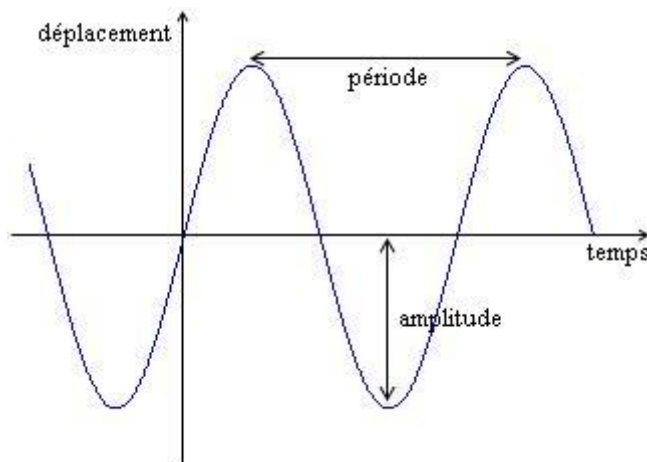




3. Période d'une onde ou bien période temporelle

Définition exigible au bac

Les ondes périodiques sont caractérisables également par leur période T qui est la plus petite durée nécessaire pour qu'un même point de l'espace se retrouve dans sa situation initiale lors de la traversée d'une onde.



Conséquence immédiate : nouvelle formule pour la célérité d'une onde

La célérité d'une onde peut s'exprimer ainsi :

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

- c est la célérité de l'onde en $m \cdot s^{-1}$
- λ est la longueur d'onde en m
- T est la période de l'onde en s

3,2 GHz.



4. Fréquence d'une onde

Physiquement la fréquence f d'une onde est le nombre de fois où la matière se retrouve dans le même état vibratoire lors de la traversée d'une onde par unité de temps. Mathématiquement, on a la relation :

$$v = \lambda \times f = \frac{\lambda}{T}$$

Conséquence immédiate

La célérité d'une onde peut donc aussi s'écrire :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times \left(\frac{1}{T}\right) = \lambda \times f$$

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times \left(\frac{1}{T}\right)$$

EXERCICE I – AUTOUR DU PAPILLON (11 points)

Pour se diriger dans l'obscurité ou chasser des insectes, certaines chauves-souris ont développé un système de sonar fondé sur la production et la réception d'ultrasons : l'écholocation.

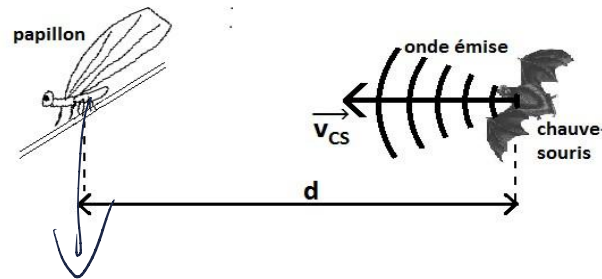


Figure 1. Schéma représentant une situation de chasse par une chauve-souris

Certains papillons « de nuit » sont en mesure d'entendre les émissions sonores des chauves-souris qui cherchent à les repérer. Pour les éviter, ils se laissent alors tomber de la branche sur laquelle ils se trouvent.

Cette tactique semble efficace, car seulement 7% des papillons qui l'utilisent sont capturés contre 50% de ceux qui ne l'utilisent pas (Pro Natura 1999)

D'après un site internet (<http://www.futura-sciences.com>)

L'objectif de cet exercice est d'étudier le principe de l'écholocation et la tactique de défense des papillons de nuit.

Données :

- la fréquence sonore supposée émise par la chauve-souris est : $f_e = 50,0 \text{ kHz}$;
- vecteur vitesse de la chauve-souris : v_{CS} ;
- vitesse de l'onde émise par la chauve-souris : $v_{\text{onde}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$;
- intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$;
- masse du papillon : $m = 0,50 \text{ g}$;
- altitude du papillon avant la chute : $h = 1,2 \text{ m}$.

*50 000 Hz
> 20 000 Hz*

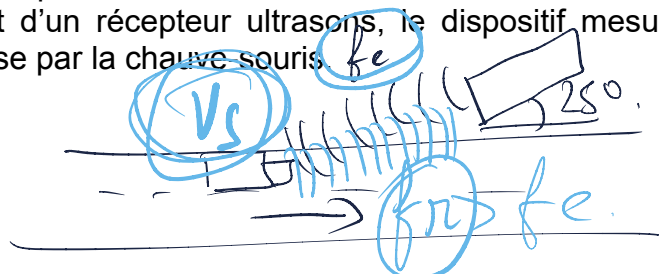
1. Étude du sonar de la chauve-souris

1.1. Onde émise par la chauve-souris

- 1.1.1. À quel domaine de fréquence appartient l'onde émise par la chauve-souris ?
- 1.1.2. Est-ce une onde mécanique ou électromagnétique ? Justifier.
- 1.1.3. Cette onde est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

1.2. Vitesse de la chauve-souris

En utilisant l'effet Doppler, il est possible d'évaluer la vitesse v_{CS} d'une chauve-souris. Pour une chauve-souris se rapprochant d'un récepteur ultrason, le dispositif mesure une fréquence f_r différente de la fréquence émise par la chauve-souris.



Données :

- fréquence mesurée par le récepteur $f_r = 50,8$ kHz ;
- pour un émetteur en mouvement se rapprochant d'un récepteur fixe, la relation due à l'effet Doppler entre f_e , fréquence émise par la source, et f_r , fréquence reçue par le récepteur, est donnée par :

$$f_r = f_e \times \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_{\text{émetteur}}}$$

1.2.1. Montrer que la valeur de la vitesse de la chauve-souris v_{cs} est proche de $19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

1.2.2. Comparer v_{onde} et v_{cs} . Expliquer en quoi ce résultat est important pour le déplacement ou la chasse de la chauve-souris.

1.3. Écholocation

La durée mise par les ondes pour revenir à la chauve-souris permet à cette dernière, après réflexion de l'onde sur une proie, d'apprécier la distance la séparant de cette proie, un papillon par exemple.

Le signal émis par la chauve-souris lui revient après une durée $\tau = 16,7$ ms. Estimer la distance qui sépare la chauve-souris du papillon.

2. La tactique défensive du papillon

Le but de cette partie est d'étudier cette tactique de défense qui consiste pour le papillon à se laisser tomber. Nous allons déterminer si le papillon peut se protéger, par cette méthode, d'une chauve-souris distante de $d = 2,8$ m.

On considère que le papillon est immobile au point C (figure 2) avant de se laisser tomber de la feuille. On prendra comme origine des temps, l'instant où le papillon commence à se laisser tomber.

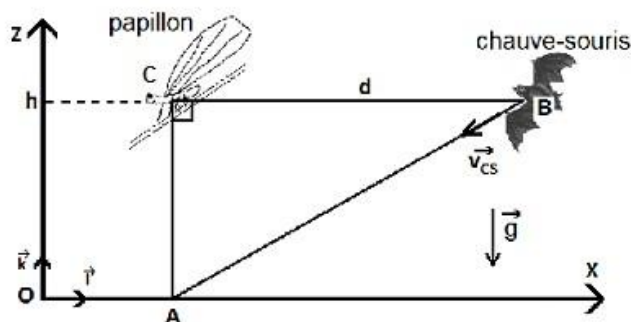


Figure 2. Schéma représentant les positions initiales du papillon et de la chauve-souris

2.1. On étudie le mouvement du papillon dans le repère (O, \vec{i}, \vec{k}) en négligeant les forces de frottement de l'air sur le papillon ainsi que la poussée d'Archimède dans l'air. On repère le centre du papillon par un point G comme l'indique la figure 3.

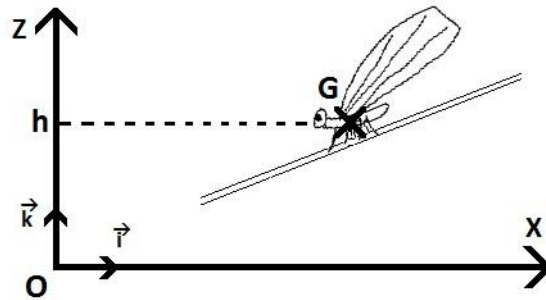


Figure 3 : Schéma représentant la position initiale du papillon.

2.1.1. Établir l'expression du vecteur accélération \vec{a}_G du papillon en appliquant la deuxième loi de Newton au système {papillon} dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

2.1.2. Établir l'équation horaire $z(t)$ du mouvement du point G.

2.1.3. En déduire que l'expression de la durée de chute Δt_{chute} correspondant à l'arrivée du papillon au niveau du sol s'écrit : $\Delta t_{\text{chute}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

2.1.4. Vérifier que l'expression $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ est bien homogène à un temps.

2.1.5. Calculer la durée nécessaire au papillon pour arriver au niveau du sol (point A) et ainsi être protégé.

2.2. On considère la vitesse de la chauve-souris constante et égale à la valeur v_{cs} déterminée précédemment. Conclure quant à l'efficacité de la tactique du papillon pour se protéger.

3. Le camouflage optique du papillon

L'iridescence est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue et d'éclairage. Elle est bien visible sur les ailes de mouches, de libellules et certains papillons. Ce phénomène provient d'une couche mince recouvrant ces ailes et produisant des couleurs interférentielles. Dans le cas des papillons, les ailes contiennent des écailles de fond et des écailles de recouvrement, disposées à la manière des tuiles d'un toit. La structure de ces écailles et les pigments qu'elles contiennent jouent un rôle dans la couleur observée. (...)

D'après un site internet (cnrs.fr)

Dans cette partie, le phénomène qui permet à ces papillons de se protéger des prédateurs est modélisé de façon simplifiée. Dans ce modèle élémentaire, schématisé sur la figure 4, on considère que :

- les écailles de l'aile de papillon sont assimilables à des couches minces à face parallèles d'épaisseur constante e ;
- les ondes issues des chemins ① et ② interfèrent au niveau de la rétine de l'observateur ;
- l'aile du papillon est éclairée par de la lumière.

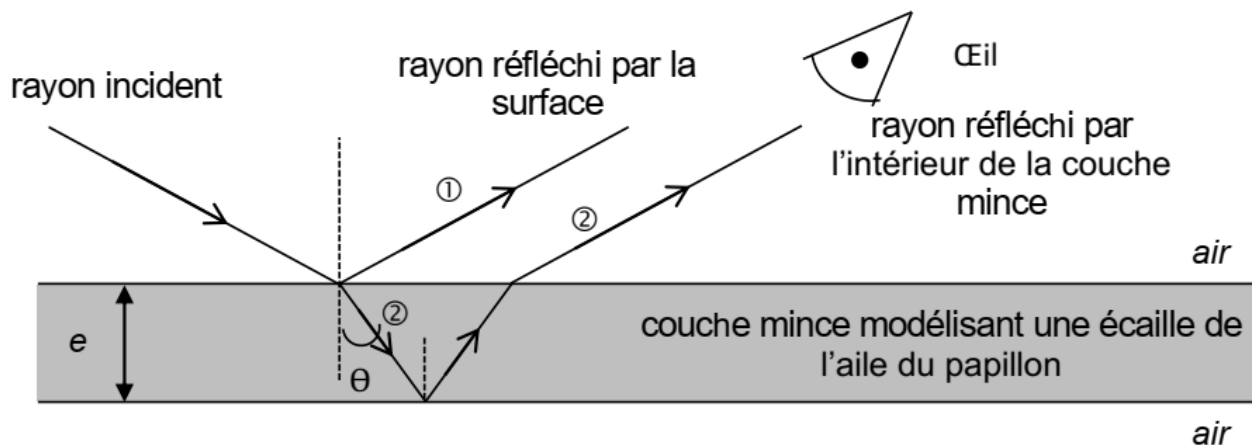


Figure 4. Schéma du trajet d'un rayon lumineux arrivant sur une écaille de l'aile de papillon.

Données :

- la vitesse de la lumière dans l'air est notée c et sa valeur est supposée connue.
- épaisseur des couches minces modélisant les écailles de l'aile du papillon : $e = 100 \text{ nm}$;
- indice optique des couches minces principalement composée de chitine : $n = 1,5$; on admet que cet indice ne dépend pas de la longueur d'onde.
- une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par une période temporelle T et une longueur d'onde λ ;
- domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueurs d'ondes (nm)	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

On note τ le retard de l'onde lumineuse qui a suivi le trajet ② par rapport à l'onde qui a suivi le trajet ①.

3.1. Pour une onde lumineuse monochromatique de période temporelle T , justifier qu'il y a des interférences constructives pour $\tau = k \times T$ et interférences destructives pour $\tau = (k + \frac{1}{2}) \times T$ où k est un nombre entier.

3.2. Lorsque la lumière blanche arrive perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard τ peut s'écrire :

$$\tau = \frac{2.n.e}{c} + \frac{T}{2}$$

3.2.1. Quelles ondes monochromatiques peuvent conduire à des interférences constructives ?

3.2.2. En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

3.3. Lorsque la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard a pour expression :

$$\tau = \frac{2.n.e.\cos(\theta)}{c} + \frac{T}{2}$$

Expliquer pourquoi la couleur de l'aile du papillon perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.