

## TD I. Sources lumineuses

### Exercice I.1. Doublage de fréquence ★

Certains pointeurs laser vendus dans le commerce produisent un faisceau obtenu par doublage de fréquence d'une première radiation avec une longueur d'onde  $\lambda_1 = 1064 \text{ nm}$ .

1. **Déterminer** la longueur d'onde  $\lambda_2$  du faisceau produit par un de ces pointeurs laser.
2. **Donner** les domaines spectraux auxquels appartiennent les radiations de longueur d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ . Le cas échéant, **donner** également la couleur à laquelle les longueurs d'onde correspondent.
3. Certains de ces pointeurs ne sont pas équipés de filtre permettant d'éliminer la radiation avec une longueur d'onde  $\lambda_2$  à la sortie du pointeur. **Expliquer** en quoi cela peut présenter un danger d'utilisation.

### Exercice I.2. Réflectivité d'un métal ★

Il existe deux grands types de miroirs : les miroirs métalliques, obtenus par polissage d'un métal ; et les miroirs en verres utilisés dans notre vie de tous les jours ainsi qu'en recherche. Afin d'obtenir un miroir en verre, on dépose sur la surface d'un verre une fine couche de métal (sur la face arrière pour les miroirs communs, et à l'avant pour les miroirs utilisés en recherche, appelés "miroirs optiques"). Ce métal réfléchit alors les radiations incidentes. On quantifie la capacité d'un métal à réfléchir une radiation à l'aide de sa réflectivité  $R$ . C'est le rapport de l'énergie de la radiation incidente avec celle de la radiation réfléchie.

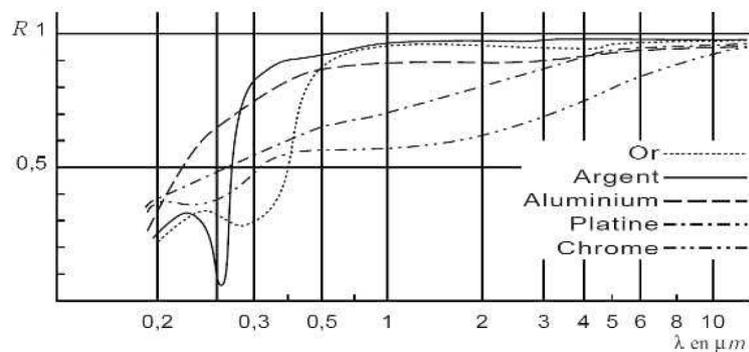


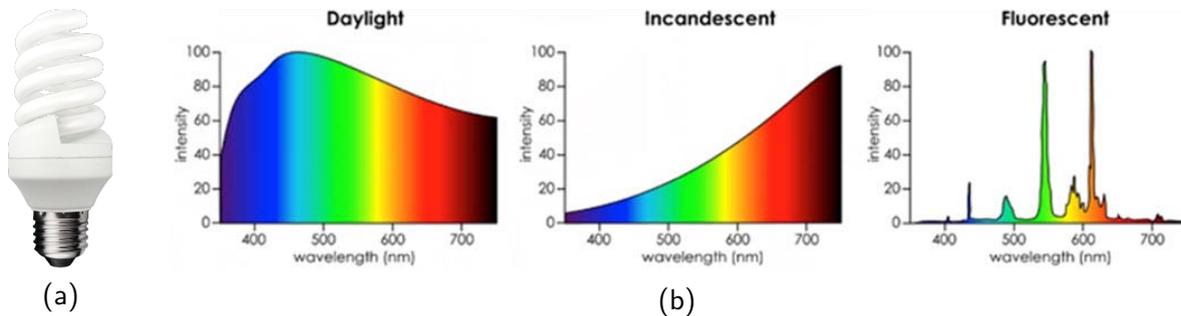
Figure 1.1 – Variation de la réflectivité  $R$  de différents métaux en fonction de la longueur d'onde.

1. **Déterminer**, à partir de l'étude de la Figure 1.1, quel est le métal le plus adapté à la réalisation d'un bon miroir dans le visible, et **estimer** sa réflectivité dans ce domaine.
2. **Interpréter** la couleur d'un miroir obtenu par dépôt d'une couche d'or.

### Exercice I.3. Lampe fluorescente compacte ★

Les lampes fluorescentes compactes et les tubes fluorescents fonctionnent sur le même principe que les lampes spectrales. Ils contiennent un gaz, le plus souvent un mélange d'argon et de mercure, qui subit une décharge électrique. Les atomes de gaz, excités, se dés excitent en émettant des radiations à des fréquences particulières, notamment dans le domaine ultra-violet (UV). Ces radiations sont absorbées par la poudre fluorescente sur les parois intérieures des tubes et des lampes. La poudre émet alors des radiations de

fréquences plus basses.



**Figure 1.2** – (a) Lampe fluorescente compacte. (b) Spectres de la lumière issue du soleil, d'une lampe à incandescence et d'une lampe fluorescente compacte.

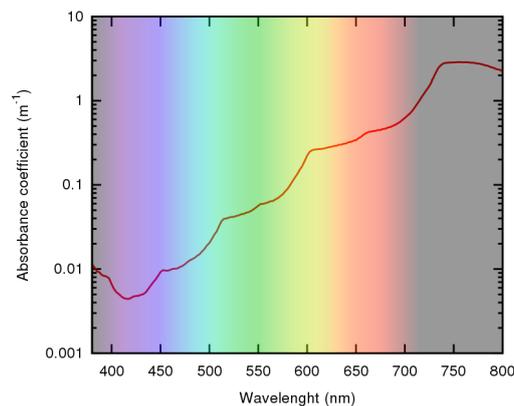
1. Le spectre d'une lampe fluorescente compacte vous est présenté Figure 1.2. **Caractériser** ce type de source.
2. On appelle familièrement "néons" ce type de sources. C'est une méthonymie désuète : en effet, les premiers tubes fluorescent contenaient du néon. Ils sont très peu utilisés aujourd'hui car les principales longueurs d'onde des raies spectrales du néon se trouve entre 600 et 700 nm. **Déterminer** la teinte des véritables tubes néons utilisés auparavant.

#### Exercice I.4. Absorption de la lumière par l'eau ★ ★

Lorsqu'une lumière monochromatique de longueur  $\lambda$  traverse une épaisseur d'eau  $L$ , la puissance lumineuse est multipliée par le facteur de transmission  $T(\lambda)$  tel que

$$T(\lambda) = \exp(-\alpha(\lambda)L),$$

avec  $\alpha(\lambda)$  le coefficient d'absorption de l'eau. Ce dernier est représenté sur la Figure 1.3.



**Figure 1.3** – Variation du coefficient d'absorption de l'eau  $\alpha(\lambda)$  ( $\text{m}^{-1}$ ) en fonction de la longueur d'onde.

1. **Déduire**, d'après l'analyse de la Figure 1.3, la couleur de la radiation visible la plus absorbée par l'eau.
2. Pour cette radiation, **calculer** le facteur de transmission  $T$  pour une épaisseur d'eau traversée  $L$  de 10 cm et 2 m.
3. **Faire de même** pour la radiation visible la moins absorbée.
4. Un poisson rouge et blanc est photographié sous l'eau, à quelques mètres de profondeur. **Déterminer** les couleurs du poisson pour une photo prise sans flash et avec flash.

## TD II. Modèle de l'optique géométrique

### Exercice II.1. Approximation géométrique ★

**Déterminer** si on peut appliquer les lois de l'optique géométrique dans les cas suivants :

1. un faisceau lumineux se propage à l'intérieur de l'objectif d'un téléphone portable
2. un laser rouge rencontre un cheveu
3. un rayonnement micro-onde dans un four micro-onde.

### Exercice II.2. Incidence de Brewster ★

Un rayon lumineux arrive à l'interface plane séparant l'air et un milieu d'indice  $n$ . Il se scinde en un rayon réfléchi et un rayon réfracté.

Ces deux rayons sont perpendiculaires entre eux pour un angle d'incidence particulier, appelé angle de Brewster et noté  $i_B$ .

**Exprimer** cet angle  $i_B$  en fonction de  $n$ .

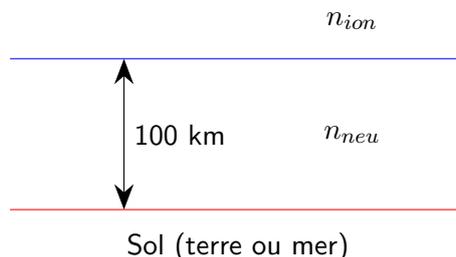
### Exercice II.3. Erreur sur le positionnement d'un objet ★ ★

Un observateur de taille  $L = 1,8$  m regarde un objet au fond d'un bassin depuis le bord. Le bassin de hauteur  $h = 1,5$  m contient une épaisseur  $e = 1,0$  m d'eau d'indice de réfraction  $n = 1,33$ . L'objet semble situé à une distance  $d = 1$  m du bord.

**Déterminer** la véritable position de l'objet.

### Exercice II.4. Réflexion d'onde courte sur l'ionosphère ★ ★

L'atmosphère terrestre est composée de différentes couches de densités et de températures différentes, et donc d'indices de réfraction différents. On schématise ici la situation en considérant deux couches homogènes : la première située au dessus de 100 km d'altitude, l'ionosphère ; la seconde située en dessous de 100 km qu'on assimilera à l'atmosphère neutre. Le rapport des indices de réfraction de l'ionosphère et de l'atmosphère neutre  $n_{ion}/n_{neu}$  est égal à 0,908. On suppose que la propagation d'une onde radio dans l'atmosphère neutre peut être traitée par l'optique géométrique et qu'à cette longueur d'onde, le sol, terre ou mer, est parfaitement réfléchissant.



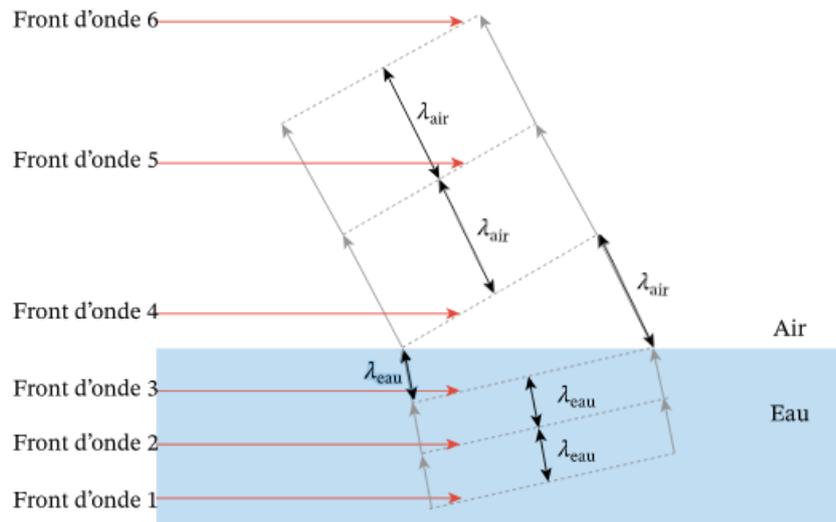
**Figure 1.4** – Schéma des deux couches homogènes dans lesquelles se propage l'onde radio.

1. **Déterminer** le ou les conditions pour lesquelles l'onde radio issue du sol est totalement réfléchi par l'ionosphère.
2. Dans ce cas, **décrire** comment l'onde radio se propage dans l'atmosphère neutre.
3. **Donner** le nombre de réflexions maximal que subit une onde radio émise en Guadeloupe et reçue à une distance de 865 km à Caracas, Venezuela.

**Exercice II.5. Démonstration de la loi de la réfraction à l'aide du modèle ondulatoire ★ ★ ★**

On peut retrouver la loi de la réfraction en modélisant la lumière par une onde plane. On a représenté sur la Figure 1.5 les maxima de l'amplitude des ondes incidente et réfractée par des segments hachurés parallèles séparés respectivement par les longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ .

À partir du schéma présenté Figure 1.5 **retrouver** la loi de la réfraction.



**Figure 1.5** – Schéma de la réfraction d'une onde plane au niveau du dioptré eau-air.

**Exercice II.6. Exercice de concours : Théorie géométrique de l'arc-en-ciel**

*Adapté du concours CCINP - MPI*

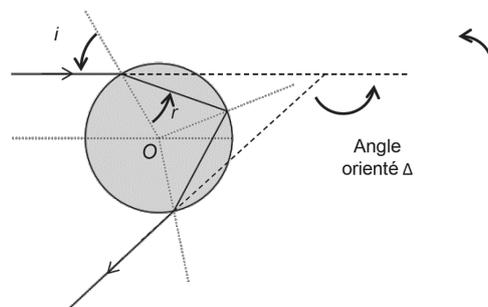
Lorsque le soleil éclaire les gouttes d'eau, on peut observer dans certaines conditions un arc-en-ciel.

On considère une goutte d'eau sphérique, de diamètre  $D$  et d'indice de réfraction  $n$ . Les trajets des rayons lumineux sont représentés sur la Figure 1.6.

Soit un rayon lumineux incident, arrivant avec un angle d'incidence  $i$  (qui n'est pas nécessairement petit) sur la goutte. On note  $r$  l'angle de réfraction associé à l'angle d'incidence  $i$ .

L'indice de l'air vaut  $n_{\text{air}} = 1$ .

On considère un rayon sortant de la goutte d'eau après une seule réflexion à l'intérieur de la goutte et deux réfractions à l'entrée et à la sortie de la goutte (Figure 1.6) : ce rayon est à l'origine de l'arc-en-ciel principal.



**Figure 1.6** – Cas d'une réflexion et de deux réfractions.

1. **Rappeler** les lois de Descartes de la réfraction et donner la relation entre l'angle d'incidence  $i$  et l'angle de réfraction  $r$ .
2. La déviation est l'angle dont il faut tourner le rayon incident pour l'amener sur le rayon émergent ; afin d'avoir une valeur positive, on considère ici son opposé, l'angle orienté  $\Delta$  (Figure 1.6).

**Montrer** que :  $\Delta = \pi - 4r + 2i$ .

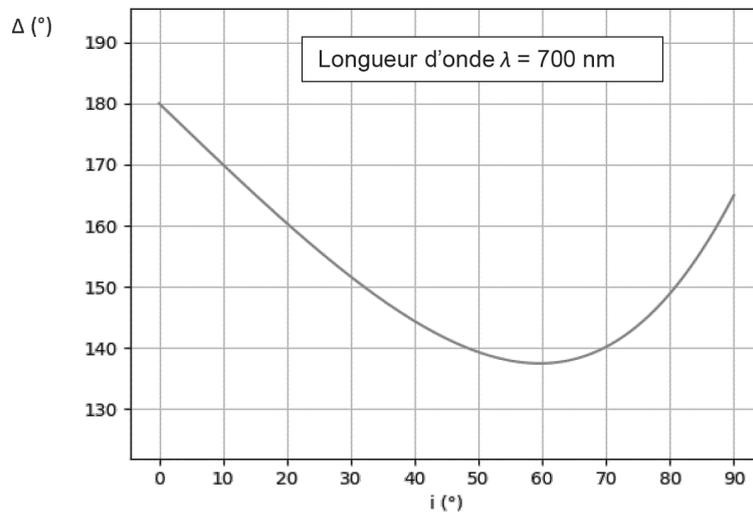
**Exprimer** l'angle  $\Delta$  en fonction de  $n$  et de  $x = \sin i$ .

3. Montrer que  $\Delta(x)$  passe par un extremum lorsque  $x$  a pour valeur : que  $\Delta(x)$  passe par un extremum lorsque  $x$  a pour valeur :

$$x_m = \sin i_m = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}.$$

*Données* :  $\frac{d}{du} (\arcsin(u)) = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}}$ .

4. **Justifier** à l'aide de la Figure 1.7 qu'on observe une accumulation de lumière dans la direction  $\Delta_m = \Delta(x_m)$ .



**Figure 1.7** – Déviation en fonction de l'angle d'incidence.

5. **Calculer**  $x_m$  et  $\Delta_m$  (en degrés) dans le cas de l'eau, pour le violet ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ ,  $n = 1,343$ ) et le rouge ( $\lambda = 700 \text{ nm}$ ,  $n = 1,330$ ).
6. Sur un schéma faisant apparaître les rayons incidents, parallèles, le rideau de pluie et l'oeil de l'observateur, **tracer** les rayons émergents rouge et bleu dans la direction  $\Delta_m$ . L'observateur observe-t-il le rouge à l'intérieur ou à l'extérieur de l'arc ?