

Chapitre 3 : Lumière et spectres

TP5 : « Les spectres » et TP6 : « La réfraction »

Document 1 - Bulletin officiel

Propagation rectiligne de la lumière.

Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.

Lumière blanche, lumière colorée.
Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.

Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.

Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.

Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.

Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud.

Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.

Exploiter un spectre de raies.

Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.

Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.

Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.

Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.

Document 2 - Exercices dans le livre scolaire

1. Émission et spectre de la lumière : 9,10 p.278 et 14p.279 ainsi que 20p.281.
2. Propagation de la lumière : 10 p. 295, 27p. 299, activité star wars.

Quiz sur la lumière et les spectres



(a) Quiz 1 : Les spectres d'émission <https://forms.office.com/r/73PFkHSL2s>



(b) Quiz 2 : La lumière blanche <https://forms.office.com/r/Y5KLtYwWax>



(c) Quiz 3 : Propagation de la lumière <https://forms.office.com/r/hsJ9rJSSjL>



(d) Quiz 4 : Déterminer un indice de réfraction <https://forms.office.com/r/8rFUN6Cxar>

Introduction

Les phénomènes lumineux sont omniprésents autour de nous. Mais qu'est-ce que la lumière ? Comment peut-elle prendre des couleurs différentes ? Dans ce chapitre, on s'intéresse à la nature et à la production de la lumière.



Figure 1 – Lave issue d'un volcan et les étoiles visibles la nuit émettent de la lumière, mais ces sources sont a priori différentes.

1 La lumière, une onde qui se propage

référence : le livre scolaire p.275

Dans le cadre du modèle ondulatoire, on considère que la lumière est une **onde** qui se **propage**. On peut caractériser une onde par sa longueur d'onde.

Définition - Longueur d'onde

C'est une **grandeur** qui permet de décrire les **spectres lumineux**. À une radiation lumineuse monochromatique on lui associe une longueur d'onde. On note la longueur d'onde λ (« *lambda* »). Celle-ci se mesure souvent en **nanomètres** (10^{-9} mètres).

1.1 La célérité de la lumière une constante universelle

Dans le vide, les ondes électromagnétiques (dont la lumière fait partie) se propagent toutes à la **même vitesse**. On note c cette vitesse et on l'appelle souvent *célérité*.

Propriété - Vitesse de propagation de la lumière

La célérité de la lumière dans le vide et dans l'air est égale à

$$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pour les applications numériques, il est courant de prendre une valeur arrondie :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Il s'agit d'une valeur **limite**, aucun objet ou signal ne peut aller plus vite que la lumière dans le vide et dans l'air.

Exercice 1 - La vitesse de la lumière

Le Soleil est situé à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Quel est le temps de trajet de la lumière du Soleil à la Terre ?

Solution : $\Delta t = \frac{d}{v}$ A.N. : $\Delta t = \frac{150 \times 10^6 \times 10^3}{3,00 \times 10^8} \approx 186$ s. Le temps de trajet entre le Soleil et la Terre pour un rayon lumineux est de 186 secondes.

1.2 L'œil humain est capable de voir certaines ondes lumineuses

L'œil humain ne peut pas percevoir toutes les ondes lumineuses. Seules certaines longueurs d'ondes peuvent être détectées : c'est le **domaine du visible**. Comment appelle-t-on la grandeur qui permet de différencier les différentes ondes électromagnétiques, préciser son unité :

La grandeur qui permet de différencier les ondes lumineuses est la longueur d'onde, notée λ . Cette grandeur est mesurée en nanomètres (nm). À chaque longueur d'onde correspond une couleur et une onde lumineuse.

L'œil humain est capable de distinguer seulement une petite partie des ondes électromagnétiques : c'est la lumière visible. Dans quel domaine se situe la lumière visible ?

Le domaine visible s'étend entre 400 et 800 nm.

Définition - la couleur

La couleur est la perception subjective qu'a l'œil d'une ou de plusieurs longueurs d'ondes lumineuses. À **chaque longueur d'onde** dans le domaine du visible est **associée une radiation monochromatique**, c'est à dire une couleur.

1.3 La lumière blanche, une onde lumineuse polychromatique

La lumière blanche est constituée d'un mélange de toutes les longueurs d'ondes (de toutes les couleurs). Il n'existe pas de longueur d'onde unique associée à la lumière blanche.

On parle alors de lumière **polychromatique**

Il est possible de représenter la **composition de la lumière** par un diagramme appelé **spectre**, dont l'échelle est la longueur d'onde.

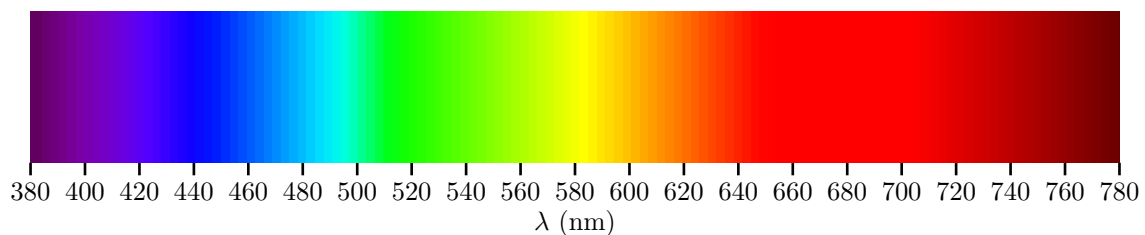


Figure 2 – Spectre de la lumière blanche dans le domaine du visible

Exercice 2 - Éclairage routier

Les lampes utilisées pour l'éclairage routier émettent de la lumière dont la longueur d'onde est $\lambda = 589\text{nm}$. Cette lumière est-elle visible ? Quelle est sa couleur ?

Solution : Oui cette lumière est visible. Elle correspond à la couleur orange d'après le spectre de la lumière de la figure 2.

2 Émission de la lumière

référence : le livre scolaire p.275

Comme nous l'avons vu en introduction, il existe une grande variété de sources lumineuses. On se propose d'étudier deux types d'émission lumineuses : l'émission de lumière par un corps chaud et l'émission de lumière par une entité chimique.

2.1 La lumière émise par un corps dépend de sa température

Tous les corps émettent naturellement de la lumière. La nature de cette lumière dépend de la **température** du corps : si un corps est suffisamment chauffé, il peut se mettre à rayonner de la **lumière visible**. Cette lumière est constituée d'une **infinité de couleurs** (d'intensités différentes) : on dit que son spectre est **polychromatique et continu**.

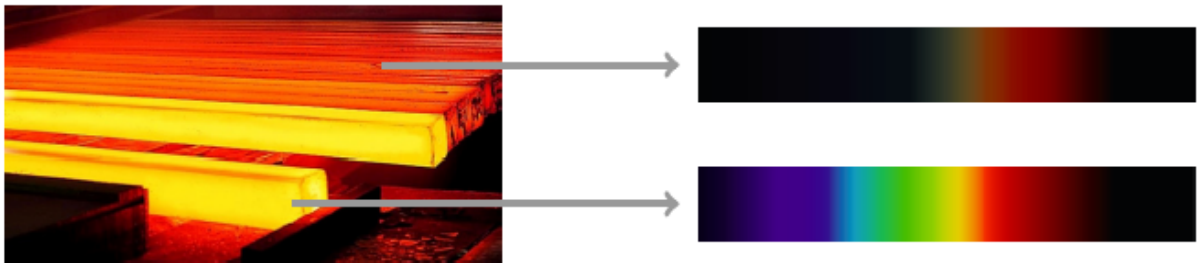


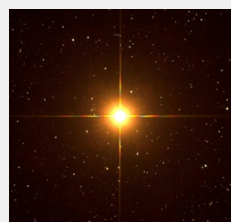
Figure 3 – Allure des spectres des lumières émises par des barres d'acier chauffées à des températures différentes.

Propriété - Lumière émise par un corps chaud

Plus la température de surface d'un corps augmente, plus son maximum d'intensité lumineuse émise se déplace vers les courtes longueurs d'onde (vers le bleu). À l'inverse, lorsqu'un corps se refroidit, il émet un rayonnement porté vers les longueurs d'onde les plus grandes (vers le rouge).

Exercice 3 - La température des étoiles

Les photographies ci-dessous montrent les étoiles *Bellatrix* (à gauche) et *Bételgeuse* (à droite). Laquelle de ces deux est la plus chaude ?



Solution : L'étoile la plus chaude est celle qui émet au maximum dans le rayonnement bleu c'est à dire l'étoile appelée Bellatrix.

2.2 Spectre de la lumière d'une entité chimique, un code barre des atomes

Lorsqu'une entité chimique (atome, ion ou molécule) est excitée, celle-ci peut **émettre de la lumière**



Figure 4 – Ampoule contenant du néon excitée par un arc électrique : le gaz émet de la lumière rouge.

Inversement, une entité peut **absorber de la lumière** (la même que celle qu'elle émet) lorsqu'on éclaire. On peut ainsi représenter **les spectres d'émission** et **d'absorption** d'une entité chimique donnée. Ces spectres ne contiennent que certaines couleurs, appelées **raies spectrales** : on dit qu'ils sont **discontinus**.

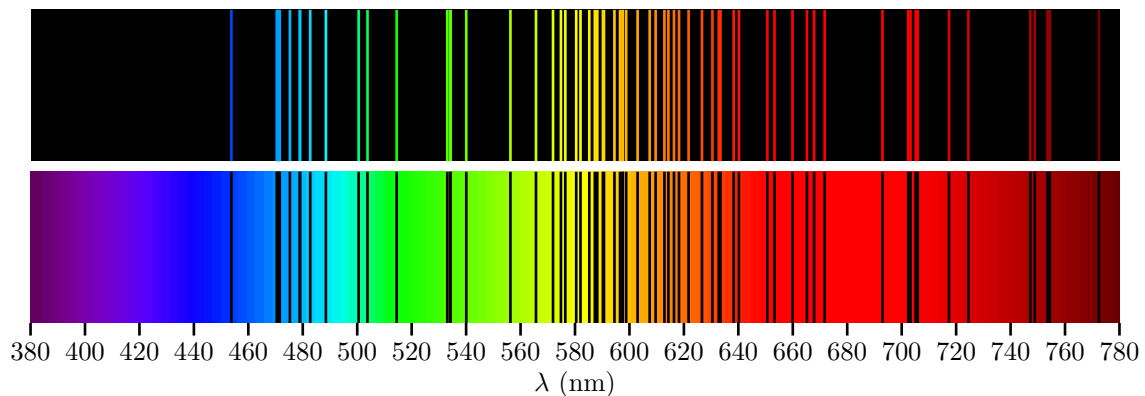


Figure 5 – Spectres d'émission (en haut) et d'absorption (en bas) du néon $^{20}_{10}\text{Ne}$

Propriété - Spectre d'une entité chimique

Les spectres d'émission ou d'absorption sont caractéristiques d'une seule et même entité chimique.

3 Propagation de la lumière

référence : le livre scolaire p. 291-292

Les phénomènes lumineux, comme la réflexion d'objets sur la surface d'un lac ou l'illusion d'optique d'un crayon brisé lorsqu'il est plongé dans un verre d'eau sont omniprésents autour de nous. Dans cette partie on s'intéresse à la **propagation de la lumière**.



Figure 6 – Phénomène lié à la propagation de la lumière au voisinage d'interfaces air-eau.

3.1 Propagation d'une lumière monochromatique

On s'intéresse dans un premier temps aux lumières **monochromatiques**, c'est-à-dire ne comportant qu'une seule **longueur d'onde** ou **couleur**.

Définition - Rayon lumineux

C'est une notion d'**optique** et un outil mathématique qui permet de décrire le trajet de la lumière de manière simple. On représente un rayon lumineux par une droite munie d'une flèche.

3.1.1 Milieu transparent et homogène

Lorsque la lumière se propage dans un milieu (air, verre, eau,...) elle interagit avec celui-ci. Ce dernier modifie les propriétés de la lumière. Il peut changer sa vitesse, lui prendre de l'énergie. Dans cette partie on considère que la lumière se propage dans un milieu **transparent** et **homogène**.

Définition - Transparent

Un milieu **transparent** est un milieu où les ondes électromagnétiques comme la lumière ne sont pas absorbées. Autrement dit elles ne vont pas perdre en intensité.

Exemple : les lunettes de soleil sont un milieu qui n'est pas transparent. Elles permettent d'absorber la lumière du soleil pour ne pas abîmer les yeux.

Définition - Homogène

Un milieu **homogène** est un milieu qui a la même composition et les mêmes caractéristiques en tout point de l'espace.



Figure 7 – Rayon LASER utilisé par des astronomes à Manua Kea sur l'île de Hawaï pour pointer des étoiles du ciel.

Propriétés - Propagation dans un milieu transparent et homogène

Dans un milieu **homogène** et **transparent** la lumière se propage en ligne droite.

3.2 Propagation à l'interface entre deux milieux

On considère maintenant que la lumière arrive sur une **interface séparant deux milieux** homogènes et transparents.

Propriétés - Première loi de Snell-Descartes

Les rayons incident, réfléchi et réfracté appartiennent au même plan : **le plan d'incidence**.

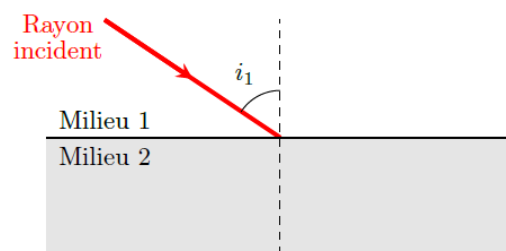


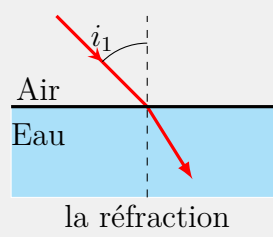
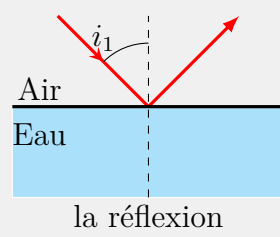
Figure 8 – Rayon incident sur une interface entre deux milieux 1 et 2. Compléter le schéma lorsque le rayon du laser passe de l'air à l'eau.

Un rayon lumineux arrivant à la frontière entre deux milieux peut :

- Changer de direction et rester dans le même milieu ; c'est la **réflexion**.
- Changer de direction et changer de milieu ; c'est la **réfraction**.

Exercice 4 - Phénomène lumineux aux interfaces

Donner le nom de chaque phénomène représenté ci-dessous.



3.2.1 Réfraction

Il existe des lois permettant de **prévoir** les angles que font les rayons **réfléchis** (noté r) et **réfractés** (notés i_2). Ce sont les lois énoncées par Willebrord SNELL et René DESCARTES au XVII^e siècle.

Propriété - Loi de Snell-Descartes pour la réfraction

La loi de SNELL-DESCARTES pour la réfraction s'écrit :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \quad (1)$$

avec n_1 l'indice optique pour le milieu 1 et n_2 pour le milieu 2. i_1 et i_2 sont les angles incident et réfracté.

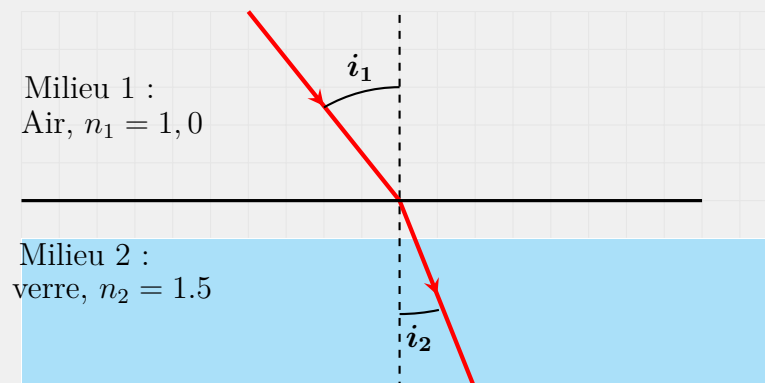
L'angle que fait le rayon réfracté avec la normale dépend des milieux, que l'on caractérise à l'aide de l'**indice optique**. Quelques valeurs d'indices optiques sont répertoriées dans le tableau ci-contre.

Milieu	indice optique
Vide	1 (exactement)
Air	1,00
Verre	~ 1.50
Eau	1,33
Diamant	2,5

Exercice 5 - La réfraction

Un rayon de soleil atteint une vitre en faisant un angle de 30° avec la normale de la vitre.

1. Représenter la situation par un schéma.



2. Quel angle fait le rayon réfracté avec la normale de la vitre ? À l'aide de la loi de SNELL-DESCARTES :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \quad (2)$$

$$\text{Soit } \sin(i_2) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i_1) \text{ A.N. : } \sin(i_2) = 0.3.$$

$$\text{Et } i_2 = \arcsin(\sin(i_2)) \text{ A.N. : } i_2 = 0.34 \text{ radians} = 19 \text{ degrés}$$

3.2.2 Réflexion

Propriété - Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

La loi de SNELL-DESCARTES pour la réflexion dit que l'angle entre la normale et le rayon réfléchi noté r est égal à l'angle incident i_1 : $r = i_1$

3.3 Dispersion d'une lumière polychromatique

On considère dans cette partie la dispersion d'une **lumière polychromatique**. Pour disperser une lumière polychromatique il faut utiliser un milieu dispersif comme un **prisme**.

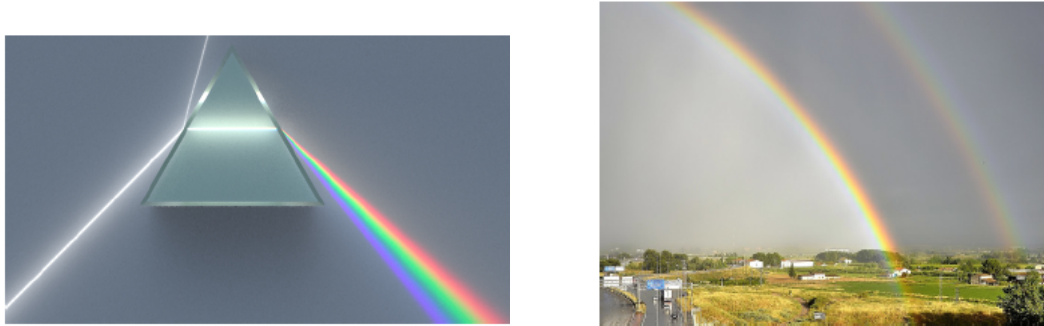


Figure 9 – À gauche un rayon lumineux est réfracté deux fois en traversant un prisme en verre. La lumière blanche est décomposée en différentes couleurs. À droite une photo d'un double arc-en-ciel.

Définition - Dispersion

La dispersion de la lumière c'est le phénomène affectant une onde électromagnétique se propageant dans un milieu dispersif. C'est ce phénomène qui explique la décomposition de la lumière blanche lorsqu'elle traverse un prisme.

Définition - Milieu dispersif

Un milieu est dit dispersif si la vitesse de propagation de l'onde dépend de la longueur d'onde λ du rayonnement qui la traverse.

Dans un milieu différent, on note la vitesse v . L'indice d'un milieu est une grandeur sans unité, et la relation qui relie n , c et v est :

$$n = \frac{c}{v}. \quad (3)$$

$n \leq 1$ car c la célérité de la lumière est une vitesse limite dans l'univers qui ne peut pas être dépassée.

On a vu qu'un prisme en verre flint (TP) permet de décomposer la lumière en plusieurs couleurs. Dans le verre flint l'indice de réfraction est différent pour chaque longueur d'onde. Donc les angles de réfraction sont différents pour chaque rayonnement. Les rayonnements sont alors séparés et forment un spectre lumineux.

Exercice 6 - L'arc-en-ciel

1. Par quel temps les arcs-en-ciel apparaissent-ils habituellement ?

Il faut un temps humide avec du soleil, après une averse par exemple c'est idéal.

2. À votre avis, quel milieu est responsable de la dispersion de la lumière dans ce cas ? Que dit-on de ce type de milieux ?

Ce sont les gouttes d'eau dispersées dans l'atmosphère qui permettent de disperser les rayons lumineux provenant du soleil. L'eau est donc un milieu dispersif.

3. L'air est-il un milieu dispersif ?

L'air sec, n'est pas un milieu dispersif, c'est un milieu homogène et transparent. En revanche un air humide n'est pas homogène, il devient dispersif.

4. Lorsque les conditions sont favorables, il est possible d'observer deux arcs-en-ciel (voir photo). Comment cela est-il possible ?

Le double arc-en-ciel est provoqué par une double réflexion de la lumière du soleil à l'intérieur des gouttes de pluie. Il apparaît alors dans la direction opposée au soleil.

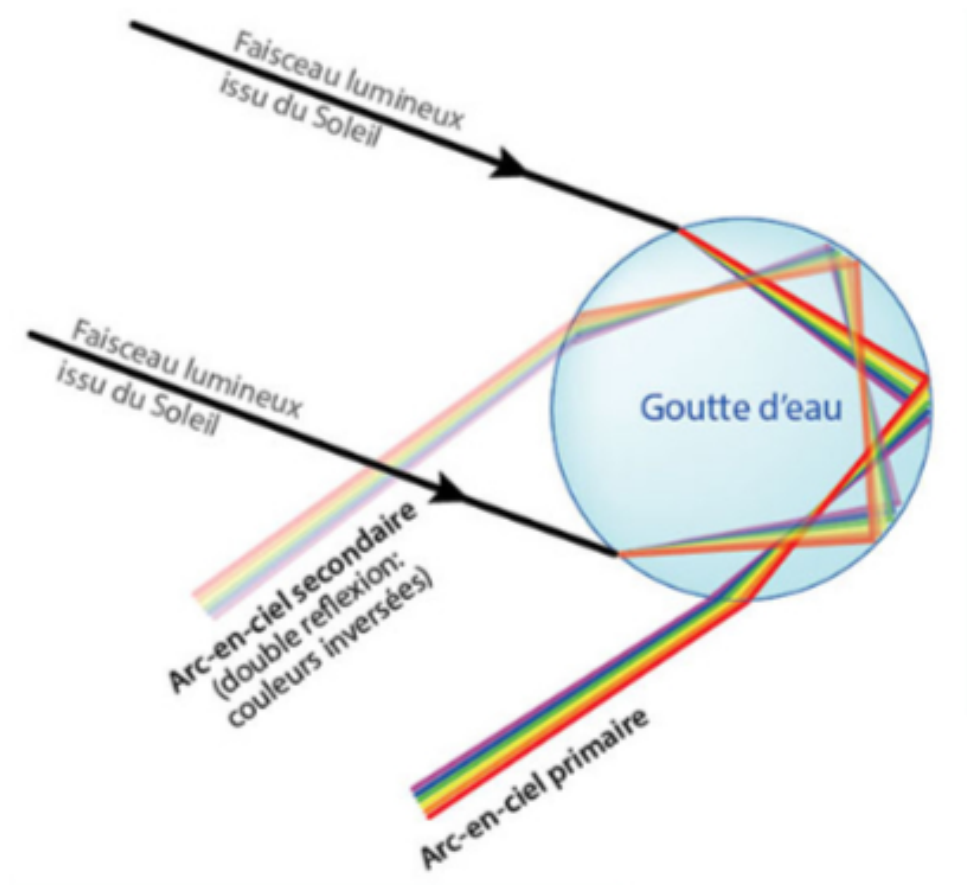


Figure 10 – Double réflexion dans une goutte d'eau