

1 Introduction

L'optique est une branche de la physique qui étudie principalement ¹ l'ensemble des phénomènes lumineux. La lumière peut être décrite de plusieurs façons et c'est autant de sous-branches de l'optique qui se sont créées :

- ★ **Optique géométrique** : la lumière est traitée comme si elle obéissait à des lois très simples comme «la lumière se propage en ligne droite». C'est une modélisation du comportement de la lumière, ce n'est pas réellement ce qu'il se passe. Toutefois, dans certaines conditions, cette technique constitue une excellente approximation pour décrire certains phénomènes physiques, notamment la formation d'image via un système optique.
- ★ **Optique ondulatoire** : la lumière est traitée comme une onde électromagnétique. On peut décrire de cette manière les phénomènes de diffraction et d'interférences et le rayonnement d'un laser par exemple. L'optique géométrique peut se retrouver à partir de l'optique ondulatoire, pas l'inverse. Néanmoins, lorsque les conditions le permettent, il est plus aisé de traiter la formation d'image en utilisant l'optique géométrique.
- ★ **Optique quantique** : description la plus détaillée des phénomènes lumineux. Elle permet de décrire tous les phénomènes lumineux rencontrés à ce jour (effet photoélectrique, spectre du corps noir, intrication entre photons, etc.). Sauf cas particuliers, il est toutefois plus aisé de traiter le caractère ondulatoire ou géométrique de la lumière à partir des deux autres disciplines.

Nous allons donc traiter la sous-branche la plus simple pour commencer, constituée par un ensemble de lois (qui découlent des autres sous-branches). L'optique ondulatoire sera abordée cette année et approfondie en deuxième année. Quant à l'optique quantique, elle ne sera pas abordée en prépa :(.

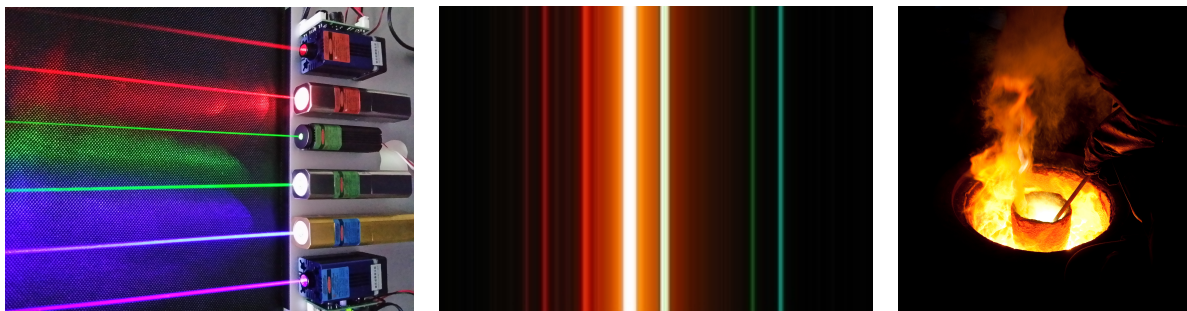


FIG. 2.1: De gauche à droite : lasers, spectre d'une lampe basse pression au sodium, métal chauffé à blanc dans un creuset.

Une frise chronologique concernant l'histoire de la lumière [ici](#).

Un livre de vulgarisation passionnant sur la lumière telle qu'elle est décrite aujourd'hui (électrodynamique quantique) écrit par un physicien talentueux : [Richard Feynman, Lumière et matière : une étrange histoire. Points Sciences.](#)

1. Il existe aussi une sous-branche de la physique appelée optique atomique. Les atomes sont considérés alors comme des ondes pouvant interférer ensemble de la même manière que la lumière.

2 Type de sources lumineuses et de milieux matériels traversés par la lumière.

2.1 Propagation de la lumière dans le vide et dans un milieu matériel

La longueur d'onde λ_0 d'une source lumineuse visible est située entre 400 nm et environ 800 nm. La longueur d'onde, comme son nom l'indique, est rattachée classiquement à la notion d'onde² : la lumière peut être modélisée comme une onde électromagnétique de célérité³ dans le vide :

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}.$$

Remarques :

- Cette valeur est exacte : elle fixe la valeur du mètre et non l'inverse.
- Nous utiliserons la valeur de $3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ pour les calculs.

La fréquence⁴ notée ν de l'onde est déterminée dans le vide par $\nu = c/\lambda_0$, elle est de l'ordre de 10^{14} Hz.

Définition 1 - Indice de réfraction

L'indice de réfraction noté n d'un milieu est défini comme le rapport de la célérité de l'onde dans le vide c et la célérité de l'onde dans le milieu notée v :

$$n = \frac{c}{v}$$



Exemple

Comme la célérité c ne peut être dépassée, n est toujours supérieur à 1. Voici différents indices que l'on peut rencontrer :

Milieu	Vide	Air	Eau	Verre	Diamant
Indice n	1 (exact)	1,0003	1,33	de 1,3 à 1,8	2,4

Propriété 1 - Longueur d'onde dans un milieu matériel

La période spatiale λ d'une onde dans un milieu matériel est modifiée par rapport à celle dans le vide λ_0 d'un facteur n , l'indice du milieu :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

Définition 2 - Dispersion

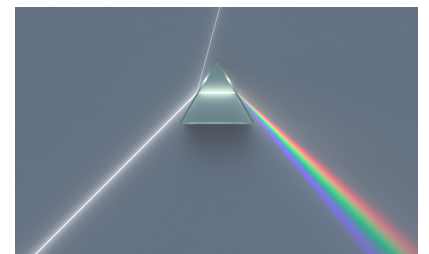
Un milieu est dit dispersif si son indice dépend de la longueur d'onde λ de l'onde qui le traverse. On note alors l'indice $n(\lambda)$.

Remarque : Le prisme est un outil qui utilise la propriété de dispersion pour séparer des longueurs d'ondes différentes (cf figure de droite).

Activité : Testez l'effet d'un prisme sur un rayon lumineux [ici](#). Remarquez la déviation du rayon en fonction de l'indice du matériau utilisé pour le prisme et la déviation en fonction de la "couleur" (longueur d'onde).

Propriétés des milieux matériels étudiés en 1ère année

Les propriétés concernant le déplacement d'une onde lumineuse dans la matière sont modifiées par rapport à celles dans le vide. Nous allons nous restreindre à un milieu matériel ayant les caractéristiques suivantes :



2. Comme une onde à la surface de l'eau dans le sillage d'un bateau, une onde de cisaillement lors d'un tremblement de Terre, une onde sonore lors d'un concert. L'onde est rattachée classiquement à la notion de transport d'une perturbation sans transport de matière.

3. Terme qui remplace celui de "vitesse" lorsqu'il s'agit d'une onde et pas d'un objet matériel.

4. On remarque le changement de notation de fréquence de f en ν . Il est préférable de l'utiliser pour ne pas se tromper avec la focale f vu plus tard, ou une fonction f quelconque.

1. Transparent⁵ milieu dans lequel la diffusion et l'absorption de la lumière sont faibles, la lumière peut se propager.
2. Linéaire⁶ : il n'y a pas de déformation de l'onde autre que des homothéties.
3. Homogène⁷ : les propriétés du milieu sont les mêmes en tout point de l'espace
4. Isotrope⁸ : Les propriétés du milieu sont les mêmes dans toutes les directions.

2.2 Relier une source à son spectre

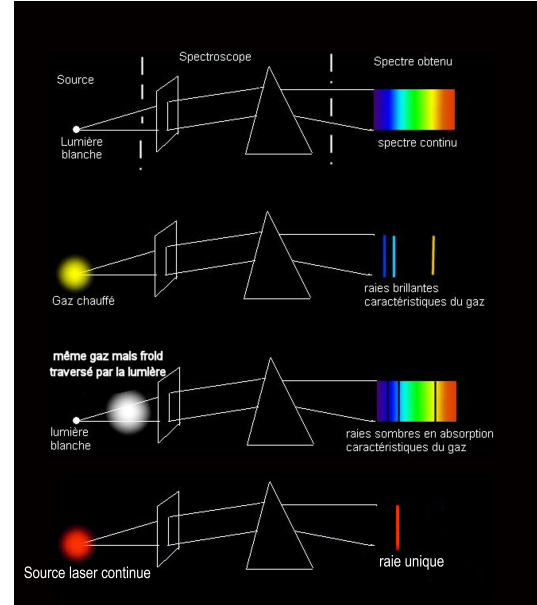
Définition 3 - Spectre d'une source lumineuse

Correspond à la décomposition de l'onde en somme d'onde de fréquences, ou de manière équivalente, de longueur d'onde, différentes.

✎ **Expérience** : Trois sources lumineuses, un écran et un prisme (+ réseau).

Un prisme, un réseau ou un interféromètre de Michelson sont des outils permettant d'accéder au spectre d'une onde lumineuse. Ce qui nous concernera en TP cette année c'est le prisme, les deux derniers outils seront abordés en deuxième année.

La figure de droite permet d'associer une source à son spectre :



- ☆ **Les sources continues** : les lampes à incandescence, la lave, le métal chauffé, les étoiles, etc. La lumière blanche est une source remplissant tout le spectre visible (ex : métal chauffé à blanc de la figure 2.1). Un gaz absorbe la lumière qu'il peut émettre : s'il est placé devant une source de lumière blanche, le spectre obtenu aura des bandes sombres.
- ☆ **Les sources à longueur d'onde discrètes** : lampe spectrales à vapeur de sodium (figure 2.1), au mercure, au xénon, etc. On observe des raies d'émissions.
- ☆ Les sources monochromatiques : le laser continu fait office de source « monochromatique ». Une laser continu est caractérisé par un spectre à seule bande.

Remarque : Attention, les composantes du spectre d'une source n'ont pas forcément la même intensité et les bandes sombres dans le cas de l'absorption ne sont pas forcément «noires». Le spectre du sodium (figure 2.1) est clairement plus intense dans le jaune que dans le vert et bleu.

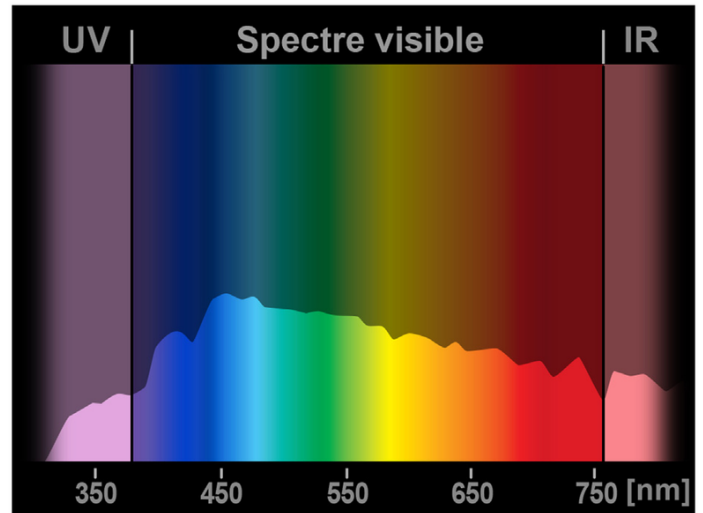
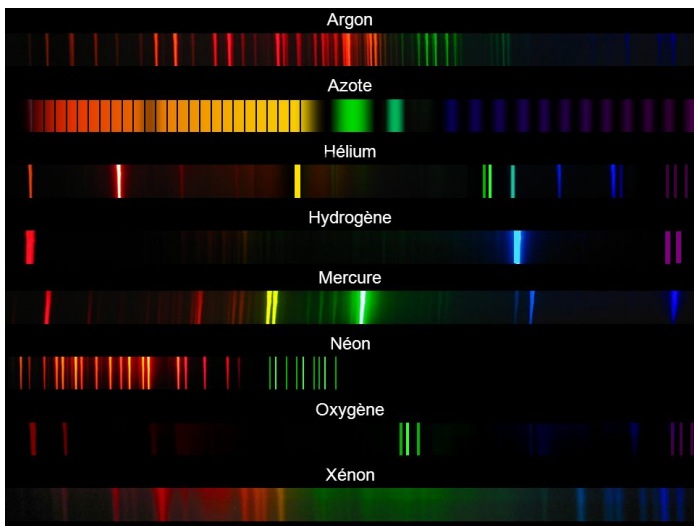


FIG. 2.2: Exemples de spectres usuels à gauche et spectre de la lumière naturelle à droite.

5. Sont donc exclus les suspensions colloïdales par exemple.
 6. Sont donc exclus les matériaux "non linéaires" dont l'indice dépend de l'intensité par exemple
 7. Sont donc exclus les fibres à gradient d'indice par exemple.
 8. Sont donc exclus les cristaux liquides en phase smectique ou nématique par exemple.

3 Modélisation : le rayon lumineux

3.1 Lois de l'optique géométrique

Les hypothèses précédentes permettent de modéliser la lumière par un ensemble de lois simples :

Lois de l'optique géométrique

1. Dans un milieu homogène, les rayons lumineux sont rectilignes
2. Au niveau **des dioptrés** et des surfaces réfléchissantes, les rayons peuvent être réfractés et/ou réfléchis suivant les lois de Snell-Descartes ^a.

a. En 1621 Snell écrit la loi de la réfraction, en 1637 Descartes la réécrit sous sa forme moderne

Retour inverse de la lumière

Si la lumière suit un chemin d'un point A vers un point B, alors elle peut suivre le chemin inverse de B à A.

Définition 4 - Rayon lumineux, dioptré ($n.m.$) et plan d'incidence

- Rayon lumineux : ?
- Un dioptré est la surface délimitant deux milieux d'indice différents.
- Soit P le point d'intersection entre un rayon lumineux et un dioptré. Le plan d'incidence du rayon est le plan passant par P et contenant le rayon et la normale \vec{n} au dioptré en P (cf figure 2.3).

Lois de Snell-Descartes

Soit un dioptré quelconque entre deux milieux homogènes d'indices respectifs n_1 et n_2 (cf figure 2.3).

1. **Première loi** : Les rayons réfléchis et transmis sont dans le plan d'incidence de l'autre côté de la normale par rapport au rayon incident.
2. **Deuxième loi** : En notant les angles non-orientés i_1 celui d'incidence, i_2 celui de réfraction et r celui de réflexion :
 - Pour la réflexion : $i_1 = r$.
 - Pour la réfraction : $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$

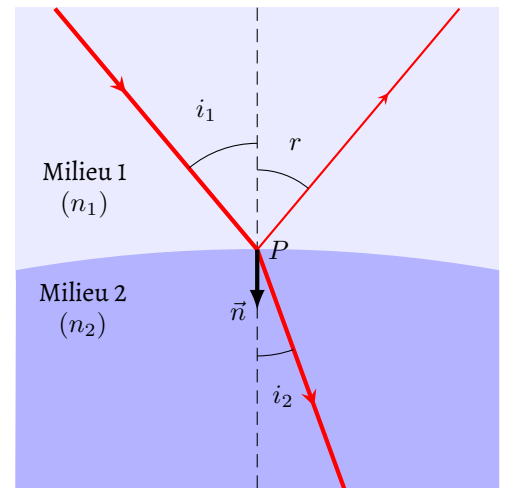


FIG. 2.3: Représentation des chemins parcourus par la lumière au passage d'un dioptré.

Il existe des situations dans lesquelles le rayon réfracté n'existe pas. Dans ce cas, on cherche souvent pour quel angle d'incidence cela se produit, c'est l'objet de la propriété suivante :

Propriété 2 - Non-existence du rayon réfracté

Situation qui se rencontre uniquement dans le cas où le milieu du faisceau incident est d'indice n_1 plus élevé (plus **réfringent**) que celui du milieu dans lequel il est sensé être réfracté n_2 . La condition générale pour la non-existence du faisceau réfracté est donnée par :

$$n_1 \sin(i_1) > n_2 \tag{3.1}$$

Remarque : Le phénomène de "réflexion totale" (autrement façon de dire qu'il n'y a pas de réfraction) est donc obtenu pour tout rayon incident rencontrant un dioptré dont l'angle d'incidence vérifie :

$$i_1 > i_{\max} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right).$$

Exercice 2.1

Trouver la valeur de l'indice du **matériau mystère A** et le relier à un indice connu.

Exercice 2.2

Une lampe émettant dans toutes les directions a été placée dans un lac à une profondeur $h = 2m$. En surface, dans quelle zone est-il possible de voir la lampe ?

On remplace la lampe par un plongeur. Que voit-il s'il regarde vers le haut ^a ?

a. Ce phénomène s'appelle « [fenêtre de Snell](#) ».

3.2 Limites de l'optique géométrique : phénomènes de diffraction et d'interférences

La lumière ayant le comportement d'une onde, les phénomènes de diffraction et d'interférence sont envisageables.

Diffraction

🔧 **Expérience** : Cuve à ondes. Diffraction par un obstacle d'une onde plane.

Propriété 3 - Diffraction (hors programme)

Considérons une onde lumineuse plane monochromatique de longueur d'onde λ . Lorsque cette onde passe à travers ou autour d'un objet de taille a , elle subit le phénomène de diffraction. La lumière ne suit plus une trajectoire rectiligne mais une gamme de trajectoires principalement situées dans un cône de demi angle au sommet θ vérifiant :

$$\sin(\theta) \simeq \frac{\lambda}{a} \quad (3.2)$$

🔧 **Expérience** : Diffraction d'un faisceau laser par un cheveu.

Interférences

🔧 **Expérience** : Cuve à ondes. Interférences entre deux ondes sphériques (destructives et constructives).

🔧 **Expérience** : Fentes d'Young.

3.3 Rayon lumineux

La définition historique d'un rayon lumineux est un faisceau de lumière idéalisé que l'on affine en faisant passer par une fente en négligeant les effets de diffraction. Ce rayon est impossible à réaliser en pratique et cette définition peut apporter confusion lorsque des phénomènes de diffraction et d'interférences vont être abordés. De manière plus générale, il est possible d'associer à la lumière un plan d'onde, plan perpendiculaire à la direction de propagation de celle-ci. C'est ce plan d'onde qui va donner un sens à la définition de rayon lumineux.

Définition 5 - Rayons lumineux

Les rayons lumineux ^a correspondent aux directions perpendiculaires au plan d'onde.

a. Cette définition n'est pas la définition historique du rayon lumineux, mais une propriété découlant de l'équation de l'iconale (ou eikonale) qui permet de passer de l'optique ondulatoire à l'optique géométrique (hors programme).

Hypothèses menant à l'optique géométrique

Les expériences de diffraction et d'interférences ne sont pas des phénomènes pris en compte par l'optique géométrique. Il faut donc que ces phénomènes soient minimisés, d'où l'approximation suivante :

Définition 6 - Conditions d'approximation de l'optique géométrique

1. La longueur d'onde λ de la source de lumière utilisée est petite devant la taille typique ℓ des objets : $\lambda \ll \ell$.
2. Les angles étudiés sont plus grands que λ/ℓ

Sommaire

1	Introduction	1
2	Type de sources lumineuses et de milieux matériels traversés par la lumière.	2
2.1	Propagation de la lumière dans le vide et dans un milieu matériel	2
2.2	Relier une source à son spectre	3
3	Modélisation : le rayon lumineux	4
3.1	Lois de l'optique géométrique	4
3.2	Limites de l'optique géométrique : phénomènes de diffraction et d'interférences	5
3.3	Rayon lumineux	5

Au programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles
Sources lumineuses Modèle de la source ponctuelle monochromatique. Spectre.	Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Modèle de l'optique géométrique Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent. Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique. Établir la condition de réflexion totale.