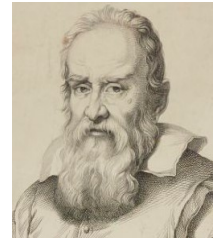


Thème 1 : ondes et signaux



O1. Formation des images

Lois de l'optique géométrique



Galilée (en italien : **Galileo Galilei**), né à Pise en 1564 et mort à Arcetri près de Florence le 8 janvier 1642, est un mathématicien, géomètre, physicien et astronome italien du 17^{ième} siècle.

Notions et contenu	Capacités exigibles
1. 2. Formation des images	
Lumière: aspects particulaire et ondulatoire. Énergie d'un photon. Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Utiliser l'expression reliant l'énergie d'un photon à la fréquence. Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Indice optique d'un milieu transparent.	Établir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu.
Modèle de l'optique géométrique Approximation de l'optique géométrique et modèle du rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Snell-Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Conditions de l'approximation de Gauss et applications Stigmatisme. Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.

1 LA LUMIERE

1.1 Nature : onde ou particule ?

Longtemps, la nature de la lumière a été un sujet de débat, entre une vision **ondulatoire** (développée par Huygens) et une vision **corpusculaire** (selon Newton) de la lumière.

Newton soutient un modèle corpusculaire de la lumière par analogie avec la mécanique, par exemple, la lumière rebondit sur des objets opaques.

A contrario, Huygens, à la même époque, décrit la lumière comme une onde qui se propage comme les ondes à la surface de l'eau.

Dans la vision ondulatoire, la lumière est une onde, cependant, il a été longtemps impossible de constater avec la lumière, des phénomènes purement ondulatoires, et on pensait également qu'une onde avait forcément besoin d'un milieu matériel pour se propager. Une des preuves du caractère ondulatoire de la lumière a été donnée par l'**expérience de Young au 19ème siècle** qui a montré des **interférences** lorsque de la lumière traverse une double fente : pour cette expérience, il est nécessaire de voir la lumière comme une onde. **Maxwell** a ensuite établi les lois de l'électromagnétique qui ont montré que le signal physique associé à la propagation des ondes lumineuses était le **champ électromagnétique**.

Toutefois, au début du 20ième siècle, alors que le modèle corpusculaire de Newton semble définitivement obsolète, Hertz (fin XIX^{ème}) découvre l'**effet photoélectrique** (arrachement d'électrons d'un métal recevant un faisceau lumineux). Einstein reprend alors l'idée de Newton en postulant l'existence de grains de lumière appelés photons (**mécanique quantique**).

En conclusion, **la lumière n'est ni une onde, ni faite de particules. Elle est autre chose, que l'on peut, selon l'expérience considérée, approximer soit comme une onde, soit comme des particules: une onde-particule**

On va dans ce chapitre se concentrer uniquement sur le caractère ondulatoire de la lumière. La lumière est une onde électromagnétique, c'est à dire un champ magnétique et un champ électrique variables qui se propagent.

L'énergie d'un photon dépend uniquement de la fréquence de la lumière. Cette énergie peut être calculée grâce à la relation suivante : $E = h \nu$

E est le quantum d'énergie associé au photon et exprimé en joule (J)

h est la constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

ν (« nu ») est la fréquence de la lumière en hertz (Hz)

L'énergie d'un photon a une valeur très faible en joule (J). Pour mieux les comparer, il est souvent commode de changer d'échelle pour avoir des valeurs sans puissance de dix négatives. Ainsi, on a choisi: **1 eV = 1,60.10⁻¹⁹ J**

Exercice d'application:

- 1) Exprimer l'énergie d'un photon en fonction de h , la vitesse de la lumière dans le vide c et de sa longueur d'onde λ .
- 2) Calculer la fréquence d'un rayonnement de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$. ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).
- 3) Calculer l'énergie d'un photon de longueur d'onde 500 nm , en J puis en eV .



1.2 Caractérisation de l'onde lumineuse

1.2.1 Vitesse de propagation et indice de réfraction

L'onde lumineuse est une onde progressive, on peut donc mesurer sa vitesse de propagation. Les premières mesures tentées par Galilée sur une distance de 6 km ne pouvaient aboutir (il fallait mesurer un temps d'environ 20 μs). Le premier à avoir mesuré la vitesse de la lumière dans le vide suffisamment précisément (résultat compatible avec la valeur actuelle) est Michelson en 1929.

La vitesse de la lumière dans le vide vaut :

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1} \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} .$$

Dans un milieu transparent, la lumière est "ralentie" par son interaction avec la matière, elle va donc moins vite que dans le vide.

On définit donc l'indice optique d'un milieu transparent n comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide c , à la vitesse de la lumière dans le milieu v :

$$n = \frac{c}{v} \geq 1$$

c : célérité de l'onde dans le vide ($\approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

v : célérité de l'onde dans le milieu transparent (m.s^{-1})

Valeurs typiques

- air : $n = 1,000293 \approx 1,000$. dépend de la température (mirages) et de la pression.
- eau : $n = 1,33$
- verre : $n \approx 1,5$. dépend du verre utilisé.
- diamant : $n = 2,4$

1.2.2 Longueurs d'onde, fréquences et couleurs

La lumière est une onde progressive, que l'on peut décomposer comme une somme d'ondes progressives sinusoïdales: les **ondes monochromatiques**.

Les ondes monochromatiques sont caractérisées par leur fréquence f et leur longueur d'onde λ .

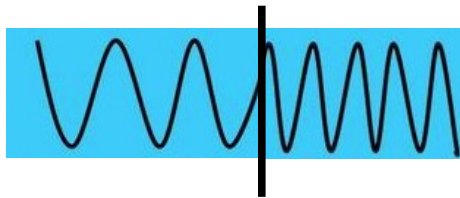
Dans le vide, on a la relation : $f = \frac{c}{\lambda_0}$ (1)

Lorsque l'onde monochromatique pénètre dans un milieu transparent d'indice n , sa fréquence reste la même, par contre, étant donné que la vitesse de propagation change, la longueur d'onde doit

changer pour qu'on ait la relation : $f = \frac{v}{\lambda}$ (2)

On a : $f = \frac{v}{\lambda}$ et $v = \frac{c}{n}$ d'où : $f = \frac{\frac{c}{n}}{\lambda} = \frac{c}{n\lambda}$ or $f = \frac{c}{\lambda_0}$ d'où $n\lambda = \lambda_0$ ou encore $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$

Les longueurs d'ondes dans un milieu sont comprimées.



air

milieu transparent d'indice n

Soit une onde électromagnétique de longueur d'onde λ_0 dans le vide, dans un milieu d'indice n , sa longueur d'onde λ est modifiée et vaut $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$.

La fréquence d'une onde électromagnétique est fixe. En effet, la fréquence est directement liée à l'énergie de l'onde et celle-ci reste fixe lors d'un changement de milieu.

C'est la fréquence qui impose la couleur d'une onde (et non pas la longueur d'onde).
Une onde lumineuse ne change pas de couleur en changeant de milieu !

Ordres de grandeur

Pour les ondes lumineuses, on caractérise une onde monochromatique par sa couleur (chromos = couleur en grec), et on repère ces couleurs par la longueur d'onde **dans le vide**.

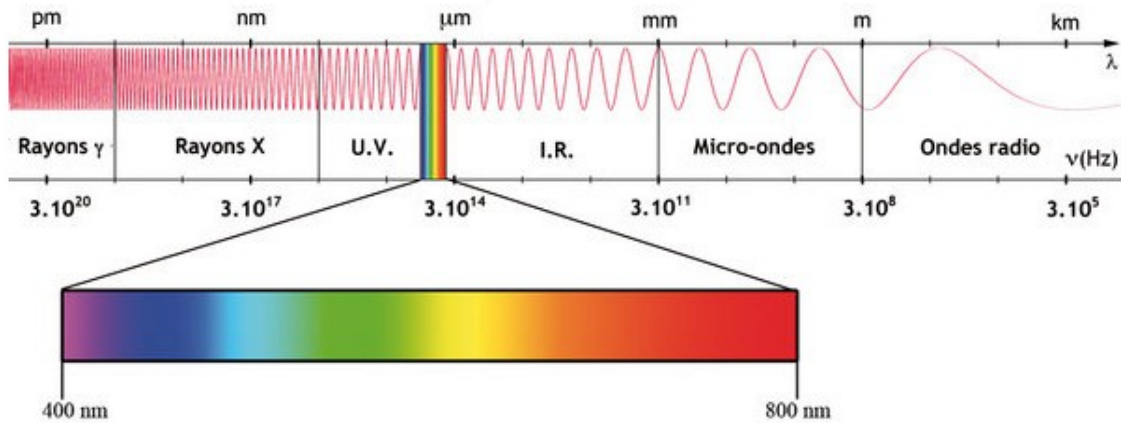
Le domaine visible couvre les longueurs d'onde $\lambda \in [400 \text{ nm (violet) , } 800 \text{ nm(rouge)]$.

En fréquence, on retiendra le domaine $f \in [0, 4 \text{ THz; } 0, 75 \text{ THz}]$ (1 THz = 10^{12} Hz: térahertz).

Les ondes monochromatiques représentent des couleurs pures. Les autres couleurs (par exemple le rose) sont obtenues par composition de lumières monochromatiques.

Longueur d'onde dans le vide: λ_0 (nm)	500	550	600	650
Couleur perçue	bleu	vert	Jaune orangé	rouge

L'indice optique peut aussi dépendre de la longueur d'onde de l'onde lumineuse considérée. Les différentes couleurs qui composent une lumière polychromatique ne vont plus alors à la même vitesse, on parle alors de **dispersion** (arc-en-ciel, décomposition de la lumière par un prisme). Une lumière rouge se propage dans un milieu transparent, plus rapidement qu'une lumière bleue.



1.3 Sources lumineuses

Les sources lumineuses sont de deux types: primaires ou secondaires.

Les sources primaires

Définition. Les **sources primaires** émettent leur propre lumière, comme le Soleil, les ampoules...

Le processus d'émission de la lumière peut être dû à différents processus physiques :

- les lampes **thermiques**, qui émettent de la lumière à cause de leur **température** élevée (Soleil, ampoule ...), pour lesquelles le spectre de la lumière émise est continu;
- les lampes **utilisant l'électricité**, qui émettent de la lumière à cause de l'excitation de certains atomes (lampes **spectrales**, tube électroluminescent ou « néon », LED...), pour lesquelles le spectre de la lumière émise est discret (ou continu) ;
- la lumière **LASER**, qui est une source purement artificielle très proche d'une source purement monochromatique.

Les sources thermiques .

Si un corps est porté à hautes températures, il émet un rayonnement , appelé **rayonnement thermique**. Les réactions nucléaires de fusion ($\text{H} \rightarrow \text{He}$) au cœur du soleil permettent à l'astre de briller. Sa température de surface est de $5770 \text{ }^\circ\text{K}$. Il en est de même pour les autres **étoiles**, à la différence qu'il existe des étoiles plus chaudes ou plus froides que le Soleil. Les couleurs de ces astres tendent alors **vers le bleu ou le rouge**.

La première source de lumière «domestiquée » par l'Homme fut **le feu**. Par le biais de **réactions exothermiques**, des gaz chauds composant la flamme émettent alors de la lumière. Des flammes rouges, jaunes, ou blanches peuvent être observées, et même des flammes bleues pour les brûleurs à gaz des cuisines.

Ensuite, en portant à **incandescence** un métal par circulation d'un courant électrique dans une enceinte dépourvue d'oxygène (afin d'éviter qu'il brûle), on a créé la **lampe à incandescence** (filament de tungstène). La lumière émise est souvent jaune ou blanche selon les modèles. Les **lampes halogènes** sont une variante, présentant une forte intensité lumineuse et une couleur émise très blanche.

Il existe d'autres exemples de corps émettant un rayonnement thermique : la lave d'un volcan, du métal en fusion en sidérurgie, les explosions conventionnelles ou nucléaires, les éclairs... Ceux-ci produisent aussi de la lumière, du fait des hautes températures atteintes.

D'une manière générale : les sources de lumière émettant un **rayonnement thermique** présentent toutes un **spectre continu**, donc nécessairement **polychromatique**. Le spectre a une forme en cloche, la longueur d'onde la plus émise dépend de la température, **plus T est grand plus la longueur d'onde est petite : passage du rouge à jaune orangé, blanc puis bleu.**

Le rayonnement thermique n'est pas la seule source de lumière. Il est ainsi possible de produire de la lumière sans chaleur, à l'aide de l'électricité.

Les lampes spectrales ou à décharge :

Principe : on envoie des décharges électriques dans une enceinte contenant un gaz atomique, les atomes de celui-ci vont passer dans un état excité. En se désexcitant, ils vont émettre de la lumière (émission de photons).

La couleur d'émission des lampes à décharge dépend du gaz employé dans le tube. Comme les atomes du gaz n'émettent que certaines radiations, les spectres seront des **spectres de raies**. Chaque spectre est caractéristique de l'élément chimique présent dans l'ampoule.

Ce qui est utilisé en spectroscopie, et qui nous permet de connaître par exemple la composition des couches externes des étoiles.

Pour les **lampes à vapeur de sodium**, employées pour l'éclairage public, seules deux raies jaunes très proches sont observables dans le domaine du visible : son spectre est considéré comme **monochromatique** pour le domaine du visible.

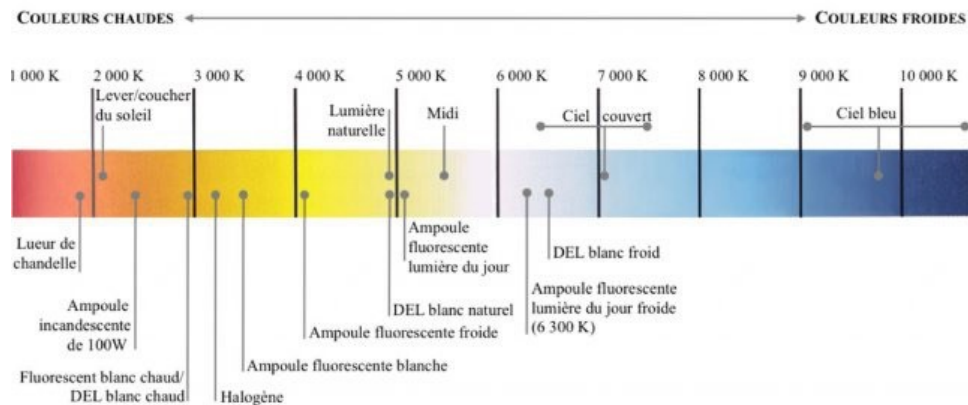
En déposant un certain type de poudre à l'intérieur d'une lampe à décharge, la poudre capte certaines radiations émises par le gaz, et émet de la lumière par **fluorescence**, souvent blanche. Cette lumière est de **spectre continu**. Les **tubes fluorescents** utilisés dans les lieux publics sont basés sur ce mode de fonctionnement.

Cela concerne aussi les lampes à économie d'énergie, dites **lampes fluocompactes**.

Diverses technologies ont été développées pour certaines applications, comme les écrans cathodiques, les écrans plasma, etc.

Les écrans à cristaux liquides utilisent quant à eux des **diodes électroluminescentes** (DEL ou LED en anglais). Ces composants électroniques peuvent aussi s'employer comme voyant lumineux (appareils électroniques, feux routiers).

Une DEL utilise les propriétés de certains matériaux (semi-conducteurs) à produire certaines radiations lumineuses. Une grande panoplie de couleurs est permise, y compris le blanc (rétroéclairage d'écrans LCD ou phares de voiture). Les spectres obtenus sont polychromatiques, sauf pour les diodes **LASER**.



Le LASER :

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation / amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement) . De la lumière fait des aller-retours dans une cavité formée par deux miroirs. Il se produit des interférences qui éliminent toutes les longueurs d'onde sauf une qui est très amplifiée. De plus, le faisceau obtenu est très collimaté c'est-à-dire dirigé vers une direction précise, et très peu divergent. Le faisceau LASER est un faisceau de lumière très étroit, de grande intensité lumineuse. C'est la source de lumière la plus monochromatique que l'on sache faire. Sa longueur d'onde est en principe constante pour un LASER donné.

<http://www.mediachimie.org/sites/default/files/sk-fiche12.pdf> (à lire chez vous).

Utilisation: les lecteurs DVD, des télécommunications, de ses applications médicales ...

On peut également produire de la lumière par des **réactions chimiques**. Ce principe est employé par les **lucioles** (vers luisants), par **bioluminescence**. En criminologie, le **luminol** émet une lumière bleue par **chimiluminescence**, en présence de certaines substances, dont le sang. Certains corps peuvent émettre de la lumière pendant quelques instants après avoir été éclairés. Il s'agit du phénomène de **phosphorescence**.

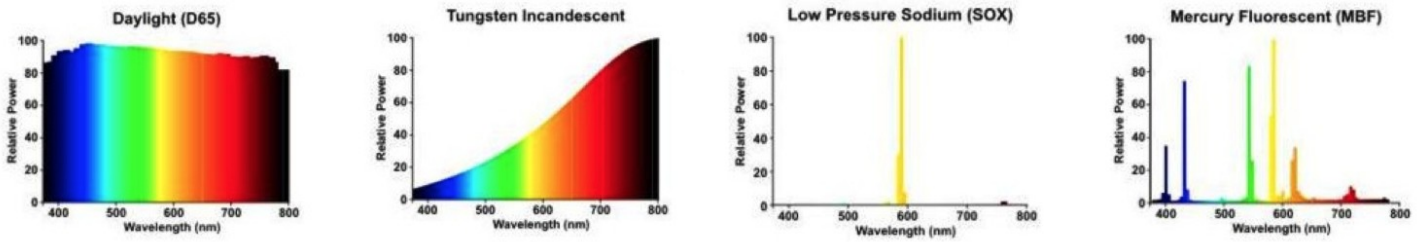
Enfin, la **radioactivité** peut créer certains rayonnements visibles.

Par exemple, l'effet Cherenkov consiste en une lumière bleue quand des particules traversent de l'eau (couleur bleue des piscines de stockage des combustibles usagés des centrales nucléaires).

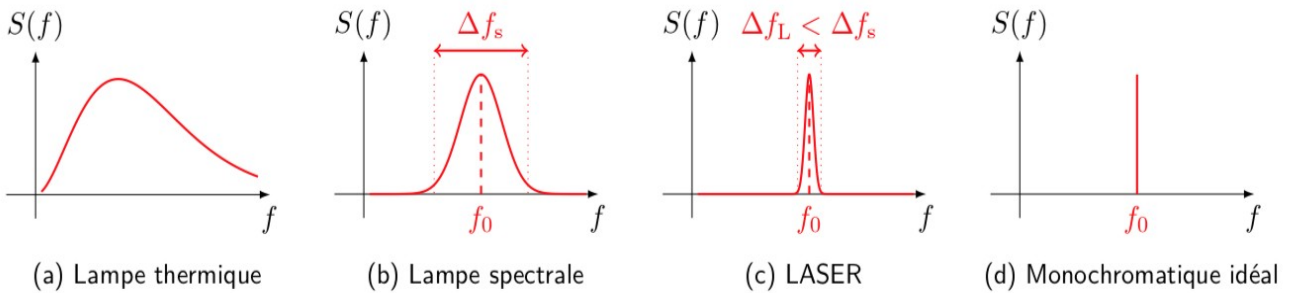
En résumé, il existe diverses possibilités pour produire de la lumière. **Le rayonnement thermique des corps chauffés est une des plus connues. Elle concerne la lumière des étoiles, du feu et des lampes à incandescences. Cette lumière est de spectre continu.**

Cependant, il est possible de produire de la lumière par des phénomènes induits **par l'électricité**, comme pour les tubes fluorescents, les néons, les écrans, le LASER, etc. Les spectres obtenus sont alors continus et/ou discrets. Le LASER est une source de lumière monochromatique. Enfin, **la chimie** ou même **la physique nucléaire** sont susceptibles de créer des sources de lumière.

Ces différents types de sources produisent un spectre radicalement différent, vous devez donc être capable de déterminer quel type de source a été utilisé à partir de son spectre : un spectre continu indique une source thermique, un spectre discret à plusieurs raies une lampe à vapeur, un spectre avec une seule raie très fine un laser .



Spectres de différentes sources lumineuses, de gauche à droite, le soleil, une lampe à filament, une lampe à vapeur de sodium et une lampe à vapeur de mercure.



Les sources secondaires

Définition. Les sources secondaires ne produisent pas de lumière, elles ne font que la retransmettre, comme la Lune, les murs, les miroirs...

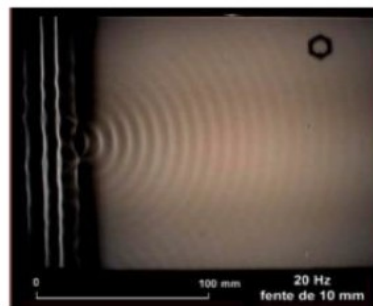
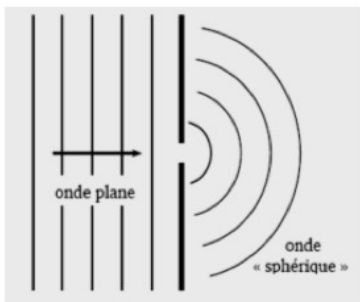
Les sources secondaires peuvent **réfléchir** la lumière, comme les miroirs, ou la **diffuser**, comme pour les murs.

2 APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

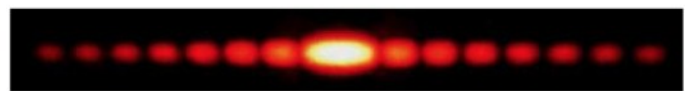
2.1 Diffraction

2.1.1 Observations expérimentales

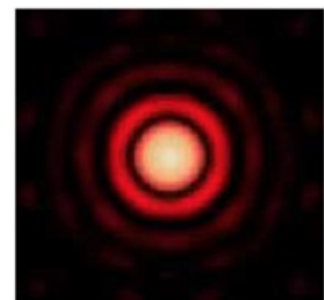
Observation du phénomène de diffraction.



✗ Fente :



✗ Trou circulaire :



Dans la nature



2.1.2 Loi expérimentale de la diffraction

Définition

Lorsqu'une onde traverse une ouverture de taille comparable à sa longueur d'onde, elle est diffractée. Dans ce cas, le phénomène de diffraction se manifeste par un étalement angulaire du faisceau d'autant plus marqué que la taille de l'ouverture est petite.

Relation approchée : $\theta \approx \lambda/a$

2.2 **Modèle du rayon lumineux**

2.2.1 Observation expérimentale

L'optique géométrique qui ne considère ni le caractère ondulatoire, ni le caractère corpusculaire de la lumière, mais utilise une approximation qui consiste à isoler, du flux lumineux étudié, une courbe matérialisant la direction de propagation de l'onde (ou la trajectoire des photons, comme en mécanique). Cette courbe est appelée **rayon lumineux**.

Expérimentalement, un faisceau laser est une bonne approximation d'un pinceau /rayon lumineux.

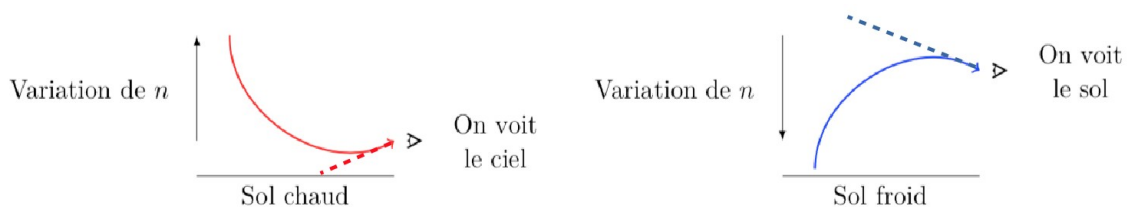
2.2.2 Modèle du rayon lumineux

Les rayons lumineux sont les lignes le long desquelles l'onde lumineuse se propage. Un **rayon lumineux** matérialise la propagation de la lumière. On le représente par un trait et une flèche.

Les rayons lumineux sont des lignes droites et la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent (**loi de propagation rectiligne de la lumière**). Cette loi de propagation rectiligne de la lumière est toutefois uniquement valable quand le milieu traversé par l'onde lumineuse est transparent, homogène (c'est-à-dire partout le même) et isotrope (c'est-à-dire le même dans toutes les directions) sinon on peut observer des déviations (réflexion sur un miroir, fibres optiques, mirages, etc).



Photographies de mirages dans le désert et sur la mer polaire



Schémas des phénomènes de mirage (à gauche, mirage chaud et à droite, mirage froid)

2.2.3 Cadre de l'optique géométrique:

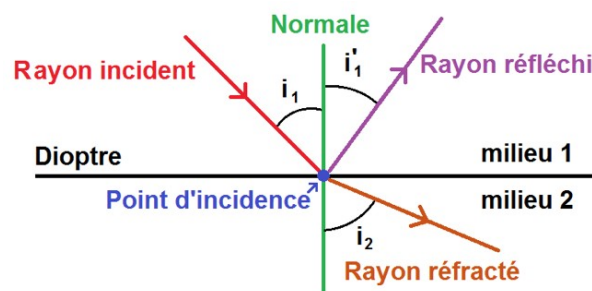
- Les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans les milieux transparents, homogènes et isotropes. (Loi de propagation rectiligne de la lumière).
- Les rayons lumineux n'ont pas d'interactions entre eux. (Principe d'indépendance des rayons lumineux).
- Si un rayon lumineux va de A en B, la lumière qui va de B en A suivra le même rayon en sens inverse. (Principe du retour inverse de la lumière).



Dans le cadre de l'optique géométrique, on supposera que tous les systèmes optiques utilisés ont une taille grande devant la longueur d'onde λ (au moins supérieure à 10λ) de l'onde lumineuse afin de négliger les phénomènes de diffraction.

3 LOIS DE SNELL-DESCARTES

3.1 Définitions



Tous les angles des rayons lumineux seront comptés en partant de la normale

Le **plan d'incidence** est le plan de l'espace comprenant la normale et le rayon incident.

<https://youtu.be/wfMHoZrOoFM>

Soit deux milieux d'indice n_1 et $n_2 < n_1$. Dans ce cas, on dit que le milieu 1 est **plus réfringent** que le milieu 2 qui est lui **moins réfringent** que le milieu 1.

3.2 Lois de Snell-Descartes

Lois:

- le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence .
- l'angle de réflexion est lié à l'angle d'incidence par la relation : $i_1 = i'_1$.
- l'angle de réfraction est lié à l'angle d'incidence par la relation : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

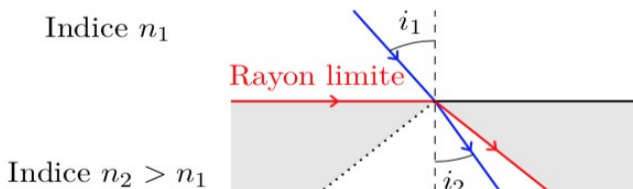
3.3 La réfraction limite ($n_2 > n_1$)

Dans ce cas, l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence.

$$n_2 > n_1 \rightarrow i_2 < i_1$$

On se place à l'incidence maximale de $i_1 = 90^\circ$ ($\sin i_1 = 1$), ce qui définit un angle de réfraction $i_{2\text{lim}}$.

L'angle de réfraction limite est défini par l'angle d'incidence $i_1 = 90^\circ$. En appliquant la loi de Descartes, on trouve $i_{2\text{lim}} = \arcsin(n_1/n_2)$. $i_2 < i_{2\text{lim}}$.



Pour un point d'incidence donné, tous les rayons réfractés seront situés à l'intérieur d'un cône de réfraction. Aucun rayon réfracté ne sera dans la zone grise.

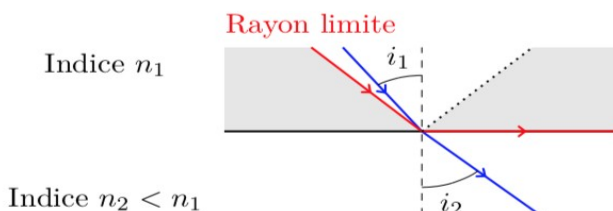
<https://youtu.be/FYHTNnlyvpc>

3.4 La réflexion totale ($n_2 < n_1$)

$$n_2 < n_1 \rightarrow i_2 > i_1$$

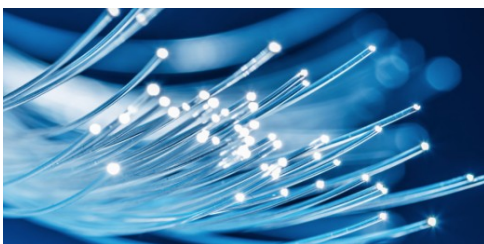
L'angle d'incidence limite est défini par l'angle de réfraction $i_2 = 90^\circ$. En appliquant la loi de Descartes, on trouve $i_{1\text{lim}} = \arcsin(n_2/n_1)$. tous les rayons d'incidence plus grande ($i_1 > i_{1\text{lim}}$) sont totalement réfléchis. On parle de **réflexion totale**.

Il n'y a plus de rayon réfracté car l'équation de loi n'a plus de solutions.



Pour une incidence supérieure à l'incidence limite, les rayons sont totalement réfléchis et il n'y a pas de rayon réfracté.

https://youtu.be/S_wv23jvlzQ



Ce phénomène permet de confiner la lumière, comme dans les fibres optiques par exemple. une fibre optique à saut d'indice est constituée de deux milieux transparents, le cœur et la gaine d'indice de réfraction plus faible que le cœur. Si l'angle d'incidence est tout le temps plus grand que l'angle de réfraction limite, le rayon ne peut sortir du cœur.

<https://youtu.be/BIhSb6YMQug>

<https://youtu.be/eGNHZC4FkAg>

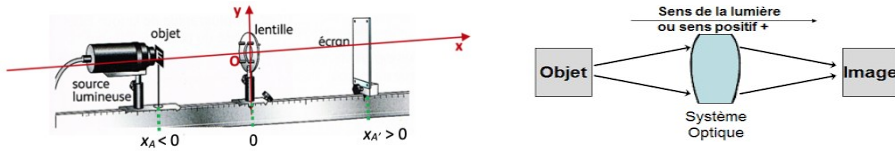
Les deux phénomènes réfraction limite et réflexion totale sont complémentaires, grâce au principe de retour inverse de la lumière. Lorsque la lumière va dans le milieu plus réfringent, l'angle de réfraction totale existe, et si on inverse le sens de la lumière, cet angle de réfraction limite devient l'angle d'incidence limite de la réflexion totale.

4 VOCABULAIRE DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

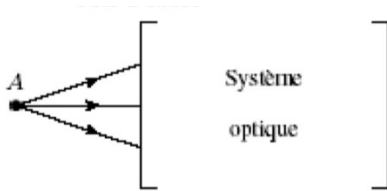
4.1 Notions d'image et d'objet

De manière générale, les rayons lumineux sont déviés lorsqu'ils traversent un système optique (succession de dioptries et de miroirs). Les systèmes optiques que l'on va étudier présentent un axe de symétrie de révolution que l'on appelle **axe optique**.

On appelle **objet** le point qui est à l'origine des rayons lumineux que l'on étudie. On appelle **image** le point d'où semble provenir les rayons considérés en sortie du système.

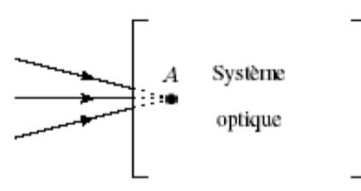


Le point objet est à l'intersection des rayons incidents.



Objet réel

avant la face d'entrée du S.O.



Objet virtuel

après la face d'entrée du S.O.

Le point image est à l'intersection des rayons émergents.

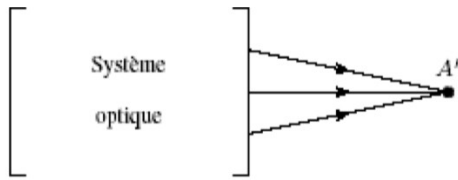


Image réelle

après la face de sortie du S.O.

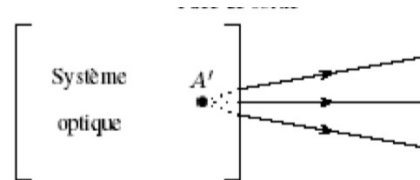
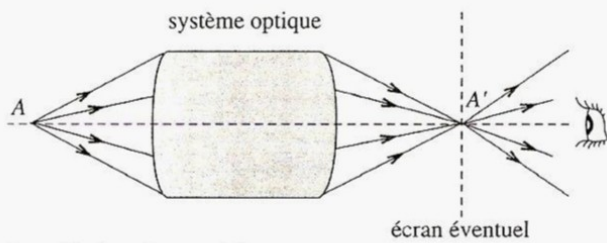
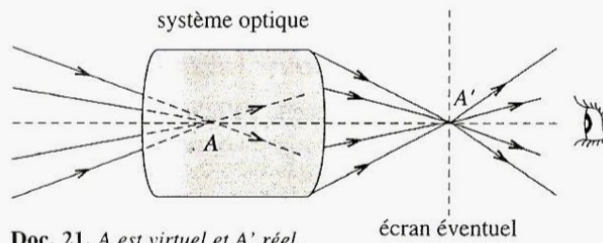


Image virtuelle

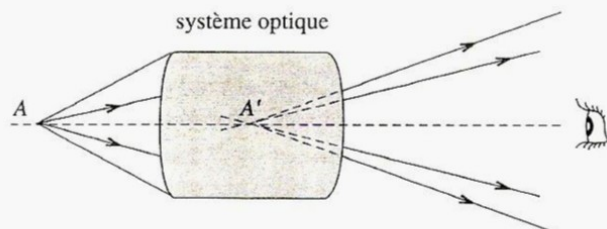
avant la face de sortie du S.O.



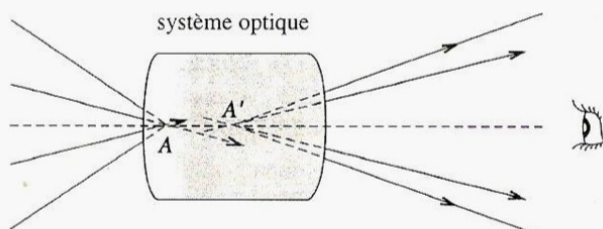
Doc. 20. A et A' sont réels.



Doc. 21. A est virtuel et A' réel.

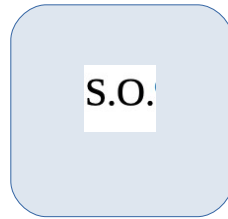


Doc. 22. A est réel et A' virtuel.



Doc. 23. A et A' sont virtuels.

A compléter:



Remarque: Pour un système (S') donné, si l'on veut disposer d'un objet virtuel, il est nécessaire de le fabriquer en tant qu'image d'un objet réel par un système (S) .

4.2 Objet ponctuel ou étendu

Objet ponctuel (de petite taille assimilable à un point) : à distance finie (ex. : pixel d'un écran d'ordinateur) ou infinie (étoile) ;

La dimension ou taille des objets est ce qui va nous permettre de les qualifier de ponctuels ou étendus (en comparaison des distances caractéristiques qui interviennent dans le problème étudié) ; elle peut être précisée de 2 manières :

Taille linéaire ou grandeur : en mètres.

Taille (ou diamètre) angulaire ou grosseur : angle sous lequel les points extrêmes sont vus en radians (ou degrés).

4.3 Objet ou image à l'infini

On dit qu'un objet est situé à l'infini lorsqu'il est situé très loin (beaucoup plus loin que toutes les tailles caractéristiques mises en jeu, par exemple: des planètes ou des étoiles)

4.3.1 Objets ou images ponctuels à l'infini

Lorsqu'un objet de petite taille est situé à l'infini, tous les rayons qui nous parviennent sont parallèles et semblent venir de la même direction. C'est la position de l'objet. Exemple : étoile lointaine.

4.3.2 Objets ou images étendus à l'infini

Lorsque l'objet a une taille plus grande, on peut distinguer deux directions différentes entre les points extrêmes de l'objet. Les rayons qui nous parviennent forment un cône d'ouverture angulaire $\alpha = d/D$ où d est la taille de l'objet et D sa distance.

4.4 Stigmatisme et aplanétisme

Système optique stigmatique : lorsque tous les rayons issus d'un point A qui entrent dans l'instrument, donnent des émergents passant par un point A'.

L'image d'un point par un système stigmatique est un point, et non pas, une tache. Dans ce cas, on dit que A' est l'image de A par le système optique.

Par principe du retour inverse de la lumière, A est l'image de A' par le système optique : A et A' sont conjugués. Le plus souvent, on peut trouver une relation mathématique entre la position de A et celle de A' que l'on appelle relation de conjugaison.

Exemples de systèmes optiques stigmatiques : miroirs (rigoureusement stigmatique), dioptres plans, lentilles (sous certaines conditions, on parle de stigmatisme approché).

Système optique aplanétique : l'image d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique.

Exemples de systèmes optiques aplanétiques : miroirs, lentilles (sous certaines conditions).

Utilité en photographie :

• Lorsque l'on fait la mise au point, on cherche à faire en sorte que la photo soit nette, c'est-à-dire que l'image de chaque point photographié soit un point sur le capteur et non une tache. Il faut donc un objectif stigmatique.

• Lorsque la mise au point est faite sur un point, on veut que tous les objets qui sont dans le même plan que l'objet soient nets aussi : il faut un objectif aplanétique.

Pour un système aplanétique, on définit le grandissement transversal comme le rapport de la taille de l'image par la taille de l'objet $G_t = \frac{A'B'}{AB}$ noté G_t ou γ (« gamma »).

Il y a différents cas possibles :

si $|\gamma| > 1$, l'image est plus grande que l'objet, si $|\gamma| < 1$ l'image est plus petite ;

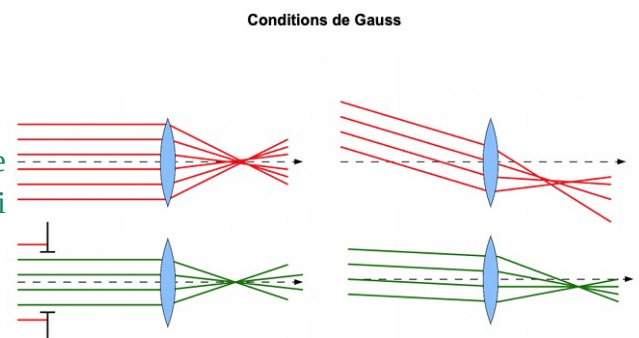
si $\gamma > 0$, l'image et l'objet sont dans le même sens, si $\gamma < 0$, l'image est inversée par rapport à l'objet.

4.5 Conditions de Gauss

= condition d'obtention d'images de qualité.

Pour pouvoir considérer une lentille comme stigmatique et aplanétique, les rayons lumineux qui la traversent doivent être :

- proches de l'axe optique ;
- pas trop inclinés par rapport à l'axe optique.



Dans les conditions de Gauss, les rayons sont proches de l'axe optique (en bas à gauche) et peu inclinés (en bas à droite).

Crédit : ASM/B. Mollier

Rayons paraxiaux: rayons vérifiant les conditions de Gauss.

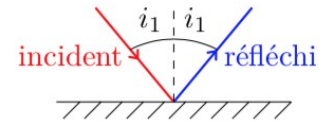
Obtention pratique : utilisation de diaphragmes. Attention, l'utilisation **de diaphragmes pose des problèmes de diffraction** et de baisse importante de la **luminosité**

5 MIROIR PLAN

5.1 Définition

Un **miroir plan** est un dispositif qui réfléchit totalement la lumière. La réflexion sur un miroir se fait en conservant l'angle d'incidence.

Schéma d'un miroir plan : l'angle d'incidence lors de la réflexion est conservé



5.2 Construction d'une image

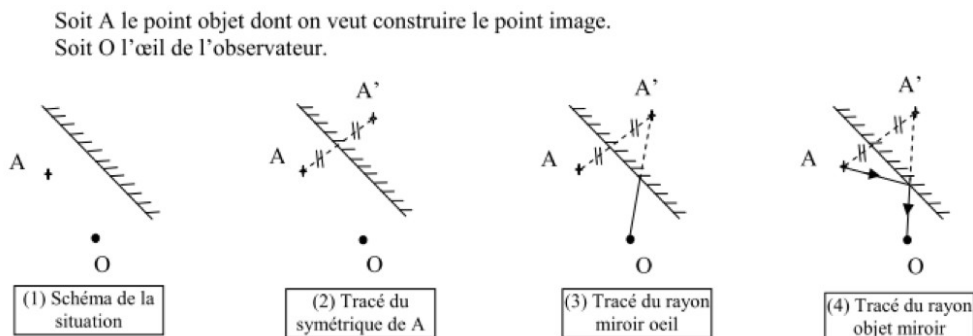
Définition:

L' **image** d'un **objet** ponctuel est située là où semblent se croiser les rayons lumineux après la réflexion sur le miroir.

Propriété:

Dans le cas du miroir plan, l'image d'un point est le symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir.

construction graphique sans rapporteur



Pour construire l'image d'un miroir, on utilise cette propriété (plus précise) et non pas celle sur la conservation de l'angle d'incidence de la définition.

Les traits en pointillé sont des traits de construction et ne correspondent pas à de véritables rayons lumineux.

Dans l'exemple du miroir plan, on remarque que l'image est située derrière le miroir. C'est une image virtuelle. Si on place un écran sur le lieu physique de l'image, on n'observera rien dessus. (expérience de la flamme de bougie).

PLAN

1 LA LUMIERE

1.1 Nature : onde ou particule ?

1.2 Caractérisation de l'onde lumineuse

1.2.1 Vitesse de propagation et indice de réfraction

1.2.2 Longueurs d'onde, fréquences et couleurs

1.3 Sources lumineuses

2 APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

2.1 Diffraction

2.2 Modèle du rayon lumineux

2.2.1 Observation expérimentale

2.2.2 Modèle du rayon lumineux

2.2.3 Cadre de l'optique géométrique

3 LOIS DE SNELL-DESCARTES

3.1 Définitions

3.2 Lois de Snell-Descartes

3.3 La réfraction limite ($n_2 > n_1$)

3.4 La réflexion totale ($n_2 < n_1$)

4 VOCABULAIRE DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

4.1 Notions d'image et d'objet

4.2 Objet ponctuel ou étendu 4.3 Objet ou image à l'infini

4.3 Objet ou image à l'infini

4.3.1 Objets ou images ponctuels à l'infini

4.3.2 Objets ou images étendus à l'infini

4.4 Stigmatisme et aplanétisme

4.5 Conditions de Gauss

5 MIROIR PLAN

5.1 Définition

5.2 Construction d'une image

