

Chapitre 1 – Optique géométrique

Plan du cours

I Description de la lumière

- I.1 Différentes sources de lumière
- I.2 Source ponctuelle monochromatique
- I.3 Milieux optiques
- I.4 Modèle de l'optique géométrique

II Réflexion, réfraction

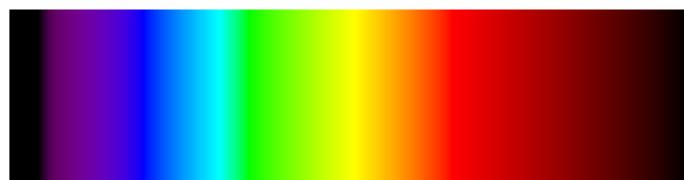
- II.1 Lois de Snell-Descartes
- II.2 Réflexion totale
- II.3 Fibre à saut d'indice

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

- Caractériser une source lumineuse par son spectre.
- Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
- Définir le modèle de l'optique géométrique.
- Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.
- Établir la condition de réflexion totale.
- Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

Questions de cours

- Décrire et comparer les spectres du Soleil, d'une lampe spectrale et d'un laser.
- Quelles sont les caractéristiques d'une onde monochromatique qui sont préservées lors d'un changement de milieu ? Quelles sont celles qui sont modifiées ? Définir l'indice optique du milieu.
- Énoncer avec précision (donc avec schéma !) les lois de la réflexion et de la réfraction.
- Faire un schéma correspondant à la limite de réfraction et établir l'expression de l'angle limite de réflexion totale (Application 7).
- Fibre optique : cône d'acceptance (Application 8).
- Fibre optique : dispersion intermodale (Application 8).



Documents

Document 1 – Spectres

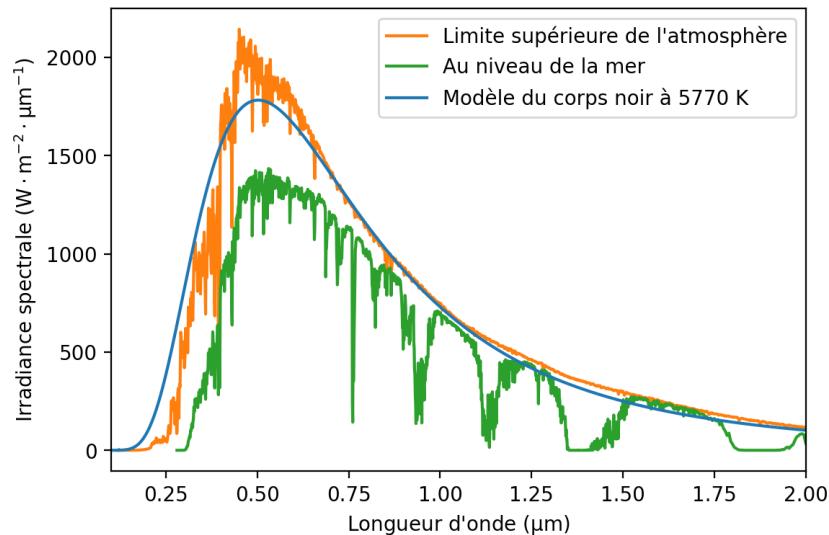


FIGURE 1 – Spectre du Soleil.

Document 2 – Spectre visible

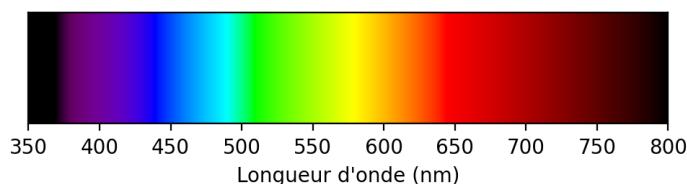


FIGURE 2 – Le spectre visible. Que ce soit sur un écran d'ordinateur (code couleur RVB : rouge, vert et bleu) ou sur une impression (code couleur CMJN : cyan, magenta, jaune et noir), il est impossible de reproduire toutes les couleurs du spectre. Le spectre ci-dessus n'est donc qu'une représentation, aussi fidèle que possible, de la réalité.

Document 3 – À propos de modèles

Je pense qu'on exagère quand on dit : « le modèle planétaire est faux ». Non ! Le modèle planétaire a les mêmes limites que n'importe laquelle de nos images quand on veut se représenter la réalité quantique. Mais moi qui suis quelqu'un de pratique, qui ai les pieds sur terre et qui ai besoin d'images, je préfère une image dont je connais les limites à pas d'image du tout. [...]

Je me représente les choses mais j'en connais les limites. Par exemple, je sais bien que, quand on dit que l'électron tourne sur une orbite parfaitement définie, il y a une partie qui est vraie, parce que cette orbite parfaitement définie, si l'on rajoute la condition de quantification, ça nous permet de connaître exactement le bon niveau d'énergie ; et puis il y a quelque chose qui est pas vrai parce que c'est pas comme une planète, c'est diffus, c'est une fonction d'onde, c'est une onde qui se reboucle sur elle-même. Mais il y a toujours quelque chose de bon à prendre et de mon point de vue, dans le modèle planétaire, il y a beaucoup à prendre d'excellent.

Intervention d'Alain Aspect, dans Infiniment : Petit, par N. Martin sur France Culture, 10 juillet 2021.

Document 4 – Interface eau-air

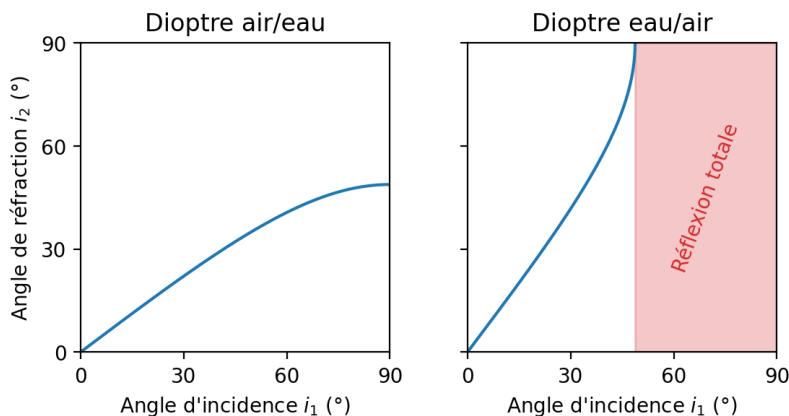
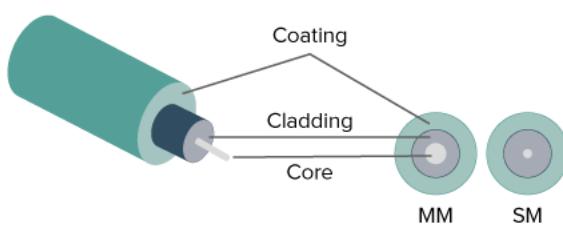


FIGURE 3 – Évolution de l'angle de réfraction dans le cas d'une interface entre l'air ($n_{\text{air}} = 1$) et l'eau ($n_{\text{eau}} = 1,33$). La réflexion totale peut intervenir dans le cas d'un rayon lumineux traversant le dioptre eau/air car l'air est moins réfringent que l'eau.

On remarque que la deuxième courbe s'obtient en inversant les rôles de i_1 et i_2 : ceci est une conséquence du **principe de retour inverse de la lumière**. Le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre est indépendant du sens de propagation de la lumière.

Document 5 – Fibre à saut d'indice



	Fibre MM	Fibre SM
Revêtement	250 µm	250 µm
Gaine	125 µm	125 µm
Cœur	50 µm	9 µm

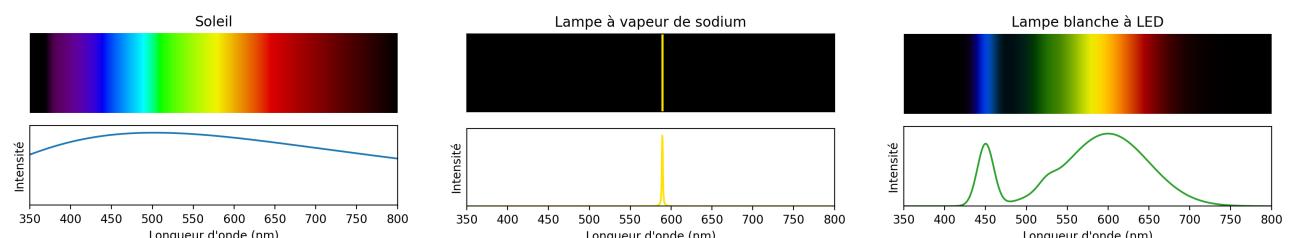
Crédit : smartoptics.com

FIGURE 4 – Schéma d'une fibre optique. *Coating* : revêtement, *cladding* : gaine, *core* : cœur, *MM (multimode)* : multimode, *SM (singlemode)* : monomode. Le tableau donne les diamètres typiques des différents éléments de la fibre.

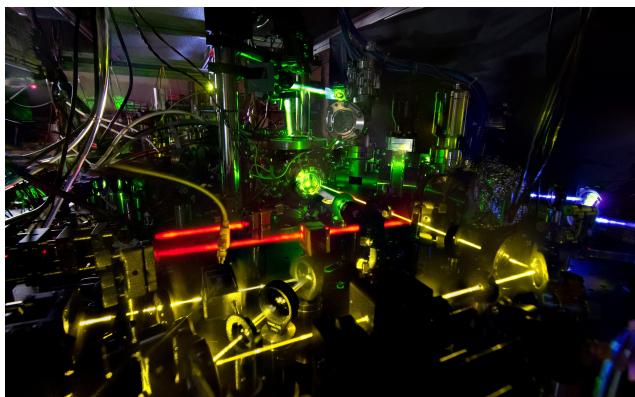
Applications

Application 1 – Coucher de soleil et éclairage urbain

De couleurs similaires, le soleil couchant et les lampes de certains lampadaires ne génèrent pourtant pas du tout la même ambiance. Proposer une explication aux différences observées.



Application 2 – Un nombre pour caractériser la couleur d'un rayonnement



La photographie ci-contre montre la table optique d'une des horloges atomiques les plus précises du monde. Plusieurs lasers sont nécessaires pour manipuler les atomes d'ytterbium utilisées. Quatre rayonnements sont visibles sur cette image, avec des longueurs d'onde différentes : 400 nm, 550 nm, 580 nm et 760 nm.

Associer chaque couleur à la bonne longueur d'onde.

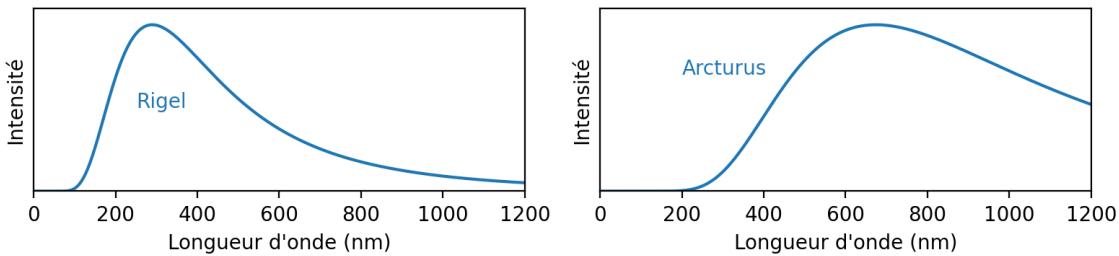
Credit : N. Phillips/NIST

Application 3 – Quelques spectres

Représenter qualitativement les spectres suivants :

- spectre du rayonnement émis par le Soleil, dont le maximum se situe vers 500 nm ;
- spectre du rayonnement d'une lampe à hydrogène, comprenant une raie intense à 656 nm, une raie d'intensité moyenne à 486 nm et deux raies de faible intensité à 434 et 410 nm.
- spectre d'un laser hélium-néon à 632 nm.

Application 4 – Couleur des étoiles



Les spectres ci-dessus sont ceux de deux des étoiles les plus brillantes visibles depuis la Terre. La température de surface de Rigel est d'environ 10 000 K tandis que celle de d'Arcturus est « seulement » de 4 300 K. Déterminer la couleur (approchée) de chaque étoile.

Application 5 – Longueur d'onde dans le vide, longueur d'onde dans un milieu

Un rayonnement de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 632 \text{ nm}$ traverse un hublot de la Cupola (dôme d'observation de l'ISS), dont l'indice optique est $n = 1,46$.

1. Exprimer sa fréquence ν en fonction des données de l'énoncé et de la vitesse de la lumière dans le vide c . Faire l'application numérique.
2. Exprimer sa longueur d'onde λ dans le hublot en fonction de λ_0 et n . Faire l'application numérique. Quelle est la couleur de ce rayonnement ?

Application 6 – Réfraction

Un rayon lumineux se propage dans un milieu d'indice n_1 et arrive au niveau du dioptre avec un autre milieu d'indice n_2 , avec un angle incident $i_1 = 30^\circ$. On suppose que $n_1 < n_2$.

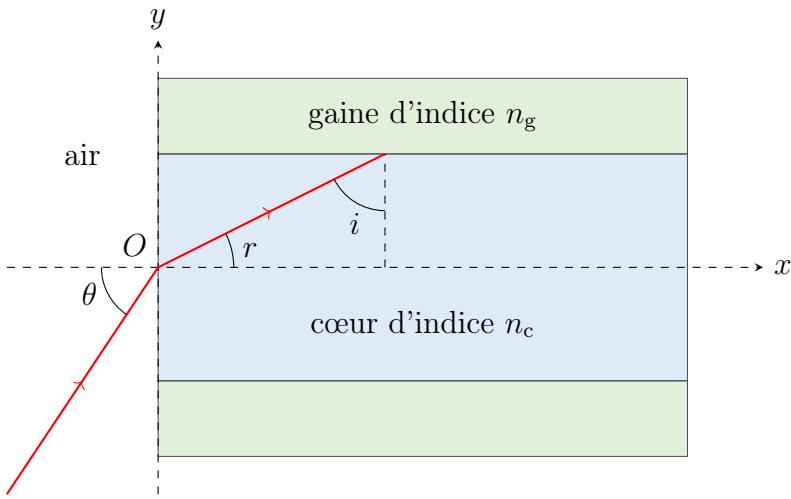
1. Donner un exemple de milieux qui vérifient cette condition.
2. Exprimer, puis calculer l'angle de réfraction i_2 . On prendra $n_1 = 1,00$ et $n_2 = 1,33$.
3. Montrer qu'il existe toujours un rayon réfracté.
4. Exprimer, puis calculer l'angle maximal de réfraction $i_{2,\max}$.

Application 7 – Réflexion totale

Un rayon lumineux se propage dans l'eau et arrive au niveau de la surface avec un angle d'incidence i_l à la limite de réflexion totale.

1. Faire un schéma.
2. Réécrire la loi de Snell-Descartes relative à la réfraction dans ce cas.
3. Donner l'expression de l'angle limite i_l en fonction de n_1 et n_2 puis faire l'application numérique.
4. Commenter par rapport au résultat de l'application 6.

Application 8 – Fibre à saut d'indice



Une fibre à saut d'indice, représentée ci-dessus, est formée d'un cœur cylindrique d'axe Ox , de diamètre $2a$ et d'indice n_c entouré d'une gaine optique d'indice n_g . La fibre est dans l'air. Un rayon contenu dans le plan xOy entre dans la fibre au point O avec un angle d'incidence θ . Il y a guidage lorsque le rayon subit une succession de réflexions totales au niveau du dioptre cœur/gaine.

Ouverture numérique

1. Donner la condition sur n_c et n_g pour laquelle le rayon incident peut être guidé par la fibre.
2. Donner la condition sur i pour laquelle le rayon est guidé. Exprimer l'angle d'incidence limite i_l en fonction de n_c et n_g .
3. Montrer que cette condition est vérifiée si l'angle d'incidence θ est inférieur à un angle limite θ_l . Exprimer $\sin \theta_l$ en fonction de n_c et i_l , puis montrer que l'ouverture numérique $ON = \sin \theta_l$ peut s'écrire :

$$ON = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}.$$

4. Faire l'application numérique pour $n_c = 1,500$ et $n_g = 1,470$.

Dispersion

On note L la longueur totale de la fibre et c la vitesse de la lumière dans le vide. La lumière entre dans la fibre en couvrant toutes les valeurs d'angle d'incidence comprises entre 0 et θ_l .

5. Représenter le rayon qui traverse la fibre le plus rapidement et celui qui la traverse le plus lentement.
6. Exprimer l'intervalle de temps δt entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de c , n_c , n_g et L .
7. Justifier l'intérêt d'utiliser des matériaux pour le cœur et la gaine de la fibre avec des indices très proches. Quel compromis cela entraîne-t-il ? Comment peut-on y remédier ?