

1- Propriétés de la lumière et indice de réfraction. Le microscope polarisant

1.1. Généralités sur la lumière

La lumière est un rayonnement électromagnétique qui possède les propriétés d'une onde. Le spectre électromagnétique peut être divisé en plusieurs bandes en se basant sur la longueur d'onde des ondes lumineuses. La lumière visible représente un intervalle de longueur d'onde situé entre 380 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) et 730 nm.

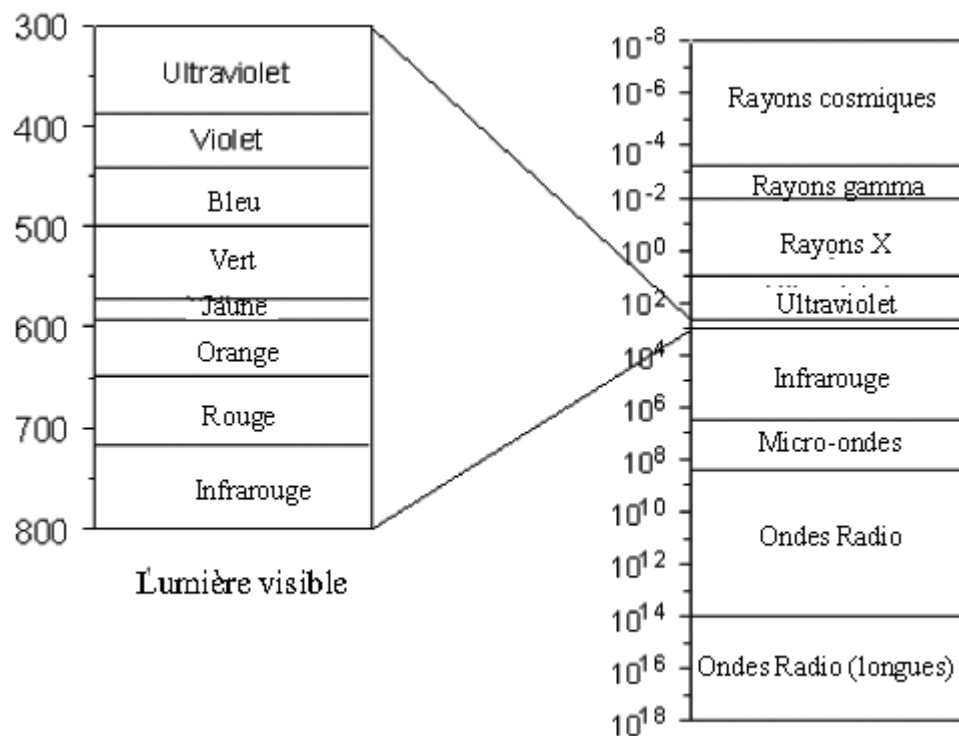


Figure 1 : Le spectre électromagnétique. Les couleurs associées à la lumière visible sont représentées à une plus grande échelle à gauche.

1.2. Lumière et matière

La lumière est un mouvement vibratoire se propageant en ligne droite à une vitesse constante : 300 000 km/s dans le vide.

La lumière blanche est composée de rayons monochromatiques d'une longueur d'onde déterminée. La longueur d'onde varie avec la couleur, ou plus exactement la couleur perçue dépend de la longueur d'onde.

Dans des milieux autres que le vide (ou pratiquement l'air) la vitesse de propagation est différente, mais c'est une constante pour chaque milieu donné.

Un rayon passant de l'air dans un milieu différent va moins vite, se propage moins vite : il est réfracté (figure 2.a). La vitesse dans ce milieu est constante et caractéristique.

Le nombre qui mesure la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu par rapport à sa vitesse dans l'air est constant et caractéristique de ce milieu. C'est **l'indice de réfraction**. Cet indice est constant pour un rayon de longueur d'onde donnée, il varie avec la longueur d'onde donc avec la couleur.

Quelques lois à retenir

- L'énergie de la lumière est liée à sa fréquence et à sa vitesse par la relation :

$$E = h\nu = \frac{h.c}{\lambda}$$

Où E est l'énergie de la lumière, h la constante de Planck qui est égale à $6,62517 \times 10^{-27}$ erg.sec., ν la fréquence de l'onde lumineuse, c la vitesse de la lumière dans le vide qui est égale à 3×10^{10} cm/sec et λ la longueur d'onde de l'onde lumineuse.

- L'indice de réfraction n est défini par le rapport suivant :

$$n = \frac{V_{\text{AIR}}}{V_M}$$

Où V_{AIR} est la vitesse de la lumière dans l'air (la vitesse de la lumière dans l'air est pratiquement égale à la vitesse de la lumière dans le vide), et V_M est la vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

- L'angle de réfraction r dépend de l'angle d'incidence i , et des indices de réfraction du milieu dans lequel se trouve le rayon incident n_i et du milieu dans lequel se trouve le rayon réfracté n_r selon la **loi de Snell-Descartes** (figure2.a) :

$$n_i \sin i = n_r \sin r$$

- Il y a angle critique (et réflexion totale) quand la relation suivante est vérifiée (figure 2.b):

$$\frac{n_i}{n_r} \sin i = 1.0$$

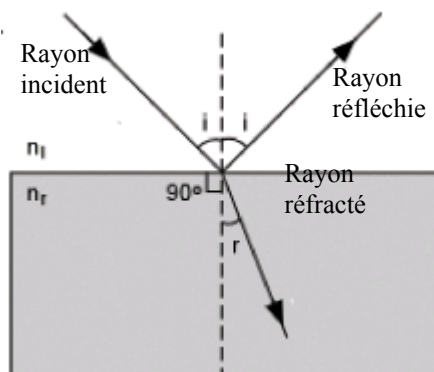


Figure 2.a : Réfraction et réflexion de la lumière.

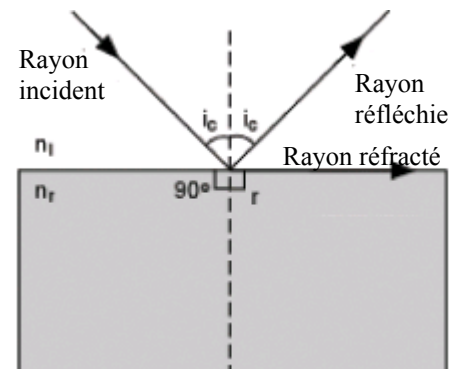


Figure 2.b : Réflexion totale.

1.3. Dispersion de la lumière visible par un prisme

Il y a dispersion de la lumière blanche par un prisme de verre car les longueurs d'ondes ne voyagent pas toutes à la même vitesse dans le verre (figure 3). L'indice de réfraction du verre est 1.600 pour le violet (390 nm), alors que le même verre a un indice de réfraction de 1.500 pour le rouge (770 nm).

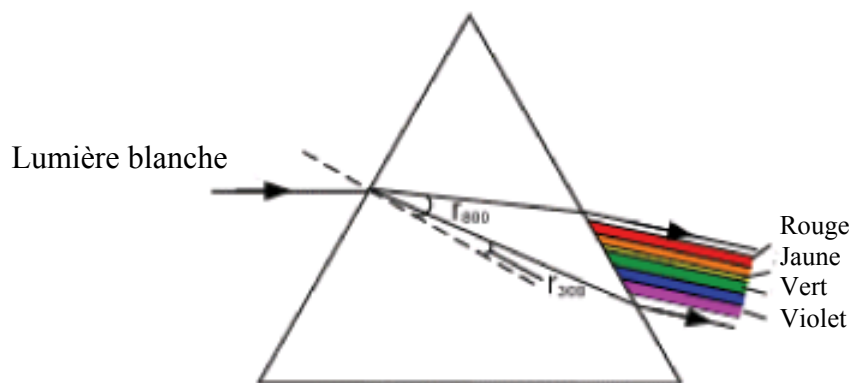


Figure 3 : Dispersion de la lumière visible par un prisme.

1.4. La lumière polarisée

La lumière blanche ne présente pas de polarisation. Dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation (plan d'onde), la lumière vibre dans toutes les directions du plan ; la lumière est dite **non polarisée** (figure 4.a). Un polariseur est conçu pour ne sélectionner qu'une seule vibration dans le plan d'onde; la lumière est alors dite **polarisée** (figure 4.b). L'interaction de certaines substances naturelles (notamment les minéraux) avec la lumière est d'induire une polarisation naturelle de la lumière.

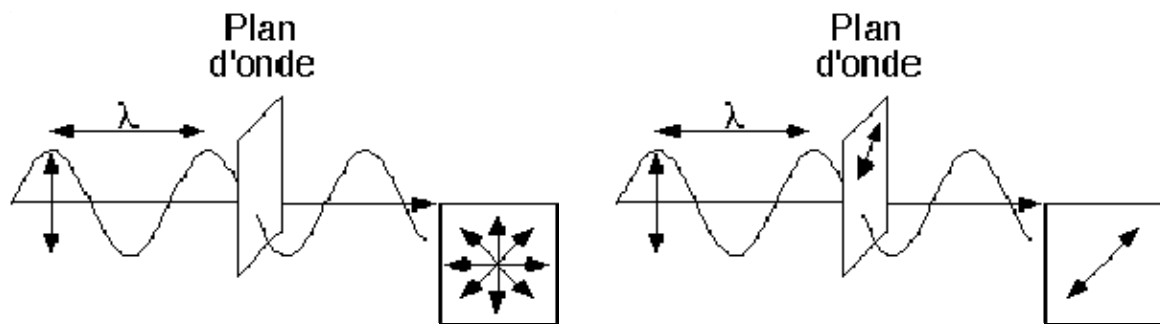


Figure 4.a : Lumière non polarisée : il y a des vibrations dans toutes les directions dans le plan d'onde.

Figure 4.b : Lumière polarisée : une seule direction de vibration dans le plan d'onde.

Si un autre polariseur ayant une direction de polarisation perpendiculaire au premier polariseur est placé sur la trajectoire du rayon lumineux polarisé, aucune lumière ne sortira du second polariseur. Dans ce cas, on dira que la lumière a été éteinte (figure 5).

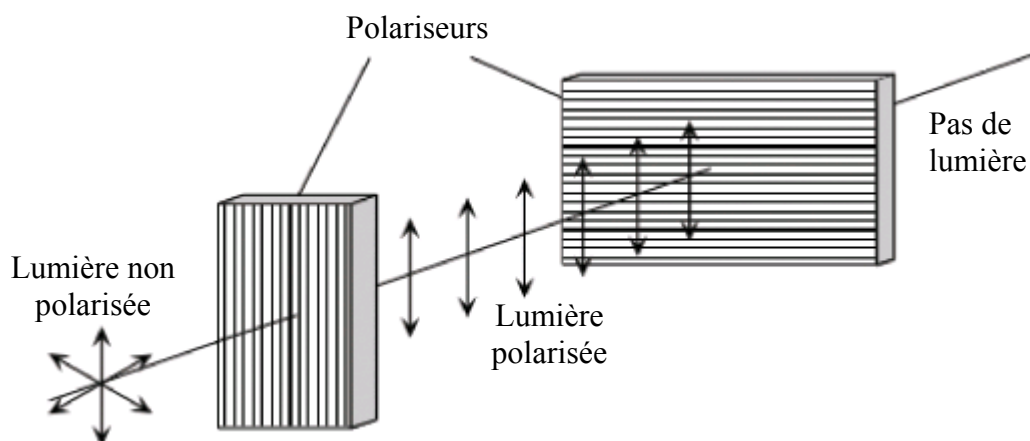
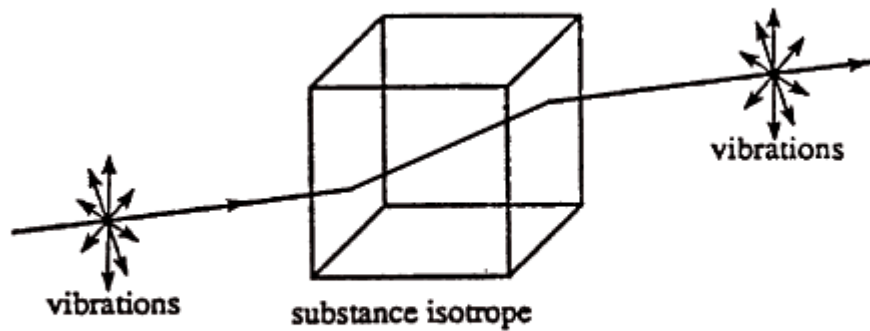


Figure 5 : Extinction de la lumière après la traversée de deux polariseurs.

1.5. Classification optique des cristaux

Sur la base de leur comportement optique, on distingue:

- **les cristaux isotropes** qui transmettent la lumière avec la même vitesse dans toutes les directions de l'espace. L'indice de réfraction est constant. Ils sont dits *monoréfringents* car un rayon incident donne un seul rayon réfracté (figure 6).
- **les cristaux anisotropes** qui ne transmettent pas la lumière avec la même vitesse dans toutes les directions car l'indice de réfraction varie selon la direction de l'espace envisagée. Ces cristaux sont dits *biréfringents*, car un rayon incident donne deux rayons réfractés (phénomène de la double réfraction) qui se propagent à des vitesses différentes, et qui sont en outre polarisés dans des plans de polarisation orthogonaux (figure 7).



Dans un corps isotrope la lumière est réfractée (déviée) mais non polarisée. Elle continue à vibrer dans toutes les directions perpendiculaires à la direction de propagation. L'exemple ci-dessus est celui d'un cristal cubique.

Figure 6 : La réfraction de la lumière dans un corps isotrope.



Le rayon de lumière pénétrant une substance anisotrope sera divisé en deux rayons réfractés et polarisés. Les deux rayons vibrent à angle droit l'un par rapport à l'autre. L'exemple montré ici est celui d'un cristal orthorhombique.

Figure 7 : La réfraction de la lumière dans un corps anisotrope.

1.6. Le microscope polarisant

En pétrographie et en minéralogie, pour l'étude des lames minces de roches, on utilise un **microscope polarisant**. Il diffère d'un microscope ordinaire par l'adjonction de deux dispositifs de polarisation appelé polariseur et analyseur. Ainsi, ce microscope est muni des principaux dispositifs suivants (figure 8) :

- une platine tournante portant la lame mince, de forme circulaire et graduée en degrés à son bord ; elle peut pivoter autour de l'axe optique du microscope (c'est-à-dire autour du trajet des rayons lumineux).
- Sous la platine, il y a un **polariseur** dont les propriétés optiques sont telles qu'il ne laisse passer les vibrations lumineuses que dans un plan déterminé.
- Au-dessus de la platine, entre l'objectif et l'oculaire, se trouve un autre polariseur, qui peut être instantanément mis en place ou enlevé par un dispositif à glissière, et que l'on appelle l'**analyseur** ; par construction, son plan de polarisation est perpendiculaire à celui du polariseur. Dans l'oculaire, on a un **réticule** à deux fils orthogonaux, le fil nord-sud correspondant, le plus souvent, au plan de polarisation du polariseur, et le fil est-ouest à celui de l'analyseur.

L'observation lorsque l'analyseur est enlevé, est dite observation en **lumière polarisée non analysée (LPNA)** (on dit aussi couramment « lumière naturelle »).

L'observation lorsque l'analyseur est en place, est dite observation en **lumière polarisée analysée (LPA)** (dite couramment « lumière polarisée »).

En LPA, si il n'y a pas de cristal anisotrope intercalé sur le trajet des rayons lumineux, la lumière est arrêtée (figure 8).

Pour les observations en **lumière convergente**, le microscope est muni d'un **condenseur** situé sous la platine, et d'une **lentille de Bertrand** sous l'oculaire.

Enfin, on emploie des **lames auxiliaires** destinées à être superposées aux préparations étudiées, en vue de produire certains phénomènes. Ces lames auxiliaires sont interposées sur le trajet des rayons lumineux entre l'objectif et l'analyseur, dans un espace vide ménagé à cet effet ou dans une glissière recevant les lames auxiliaires.

Pour plus de détail sur le microscope polarisant, voir TP 1.

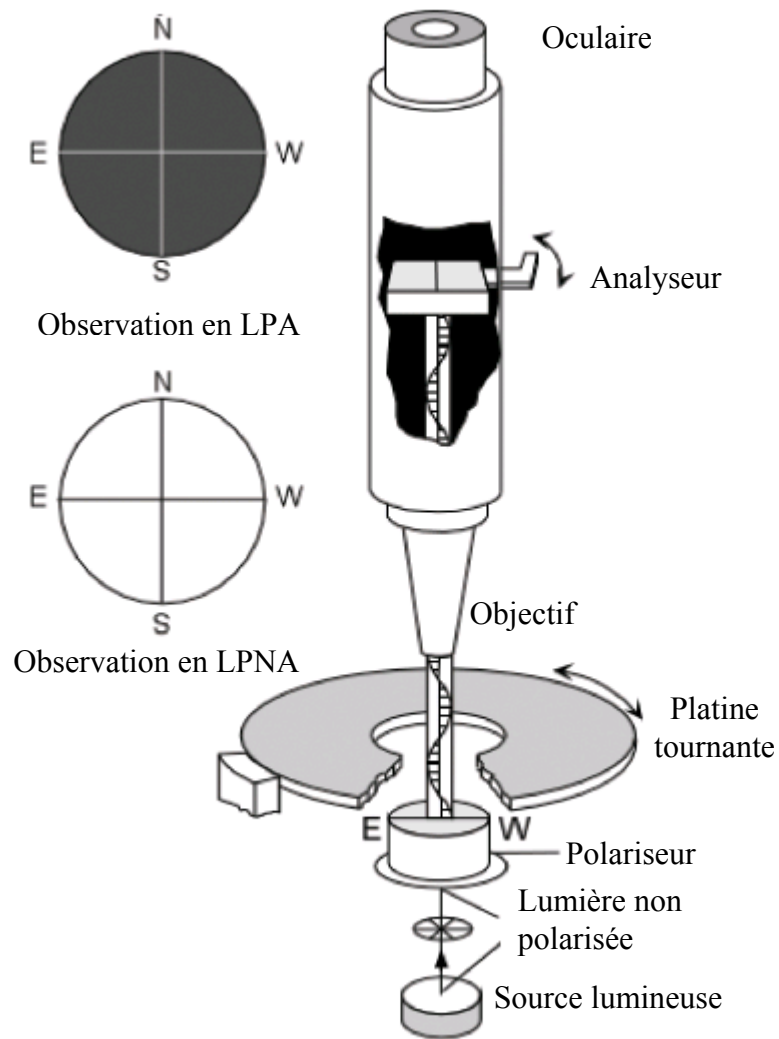


Figure 8 : Principe du microscope polarisant.