

### 3- Les minéraux uniaxes. Observation des minéraux uniaxes au microscope polarisant.

#### 3.1. Propriétés optiques des minéraux uniaxes

- Les minéraux uniaxes sont des minéraux anisotropes et comprennent les minéraux qui cristallisent dans les systèmes quadratique, hexagonal et rhomboédrique. Ils sont dits uniaxes car ils possèdent un *seul axe optique*. La lumière qui traverse un minéral uniaxe parallèlement à son axe optique aura les mêmes propriétés que si elle traversait un minéral isotrope. Ainsi, si l'axe optique est orienté perpendiculairement à la platine du microscope, le minéral sera éteint, et le restera au cours de la rotation de la platine en *LPA*.
- Comme pour le reste des minéraux anisotropes, l'indice de réfraction des cristaux uniaxes varie entre deux valeurs extrêmes. Dans le cas des minéraux uniaxes, on définit ces deux valeurs par les symboles  $\omega$  (ou  $N_o$ ) et  $\epsilon$  (ou  $N_e$ ). Les valeurs entre  $\omega$  et  $\epsilon$  sont désignées par  $\epsilon'$ .
- Les minéraux uniaxes peuvent être divisés en deux classes. Si  $\omega > \epsilon$ , on dit que le minéral possède un *signe optique négatif*, ou tout simplement *uniaxe négatif*. A l'opposé, si  $\epsilon > \omega$  on dit que le minéral possède un *signe optique positif*, ou *uniaxe positif*.
- La **biréfringence** absolue des minéraux uniaxes est définie par  $|\omega - \epsilon|$  (c'est la valeur absolue de la différence entre les deux indices de réfraction extrême).
- L'axe c des cristaux quadratique, hexagonal et rhomboédrique coïncide avec l'axe optique, qui est aussi la direction de l'indice  $\epsilon$ .

#### 3.2. Le phénomène de la double réfraction

Lorsqu'un rayon lumineux dont la direction de propagation est rectiligne pénètre dans un cristal anisotrope, il est divisé en deux rayons, l'un qui se situe dans la prolongation du rayon initial (et qui obéit à la loi de Descartes) est appelé *rayon ordinaire*, l'autre présentant un angle par rapport à la direction du rayon initial (et donc ne suit pas la loi de Descartes) est appelé le *rayon extraordinaire*. C'est le phénomène de la double réfraction (figure 1). D'autre part, chacun des deux rayons est polarisé et les deux rayons sont polarisés perpendiculairement.

Ce phénomène est visible à l'œil nu dans le cas des minéraux très biréfringents. Ainsi, un rhomboèdre de carbonate de calcium (spath d'Islande) qui présente constamment deux faces parallèles, posé sur un papier portant un point noir, laisse apparaître deux points noirs, toutefois l'un est plus foncé que l'autre.

Le point le plus foncé correspond au rayon ordinaire, et le point le plus clair au rayon extraordinaire. D'autre part, si on fait tourner le spath d'Islande, on constate qu'il existe une position pour laquelle on ne voit plus qu'un seul point. On peut continuer à le faire tourner, on ne trouvera qu'une seule position correspondant à l'apparition d'un seul point. Le spath d'Islande et les cristaux ayant cette propriété sont uniaxes. Par contre, certains cristaux, donnent aussi deux images réfractées d'un seul point, mais par rotation du cristal on voit qu'il existe non plus une, mais deux positions privilégiées pour lesquelles on n'observe plus qu'un seul point. Ce sont des cristaux biaxes.

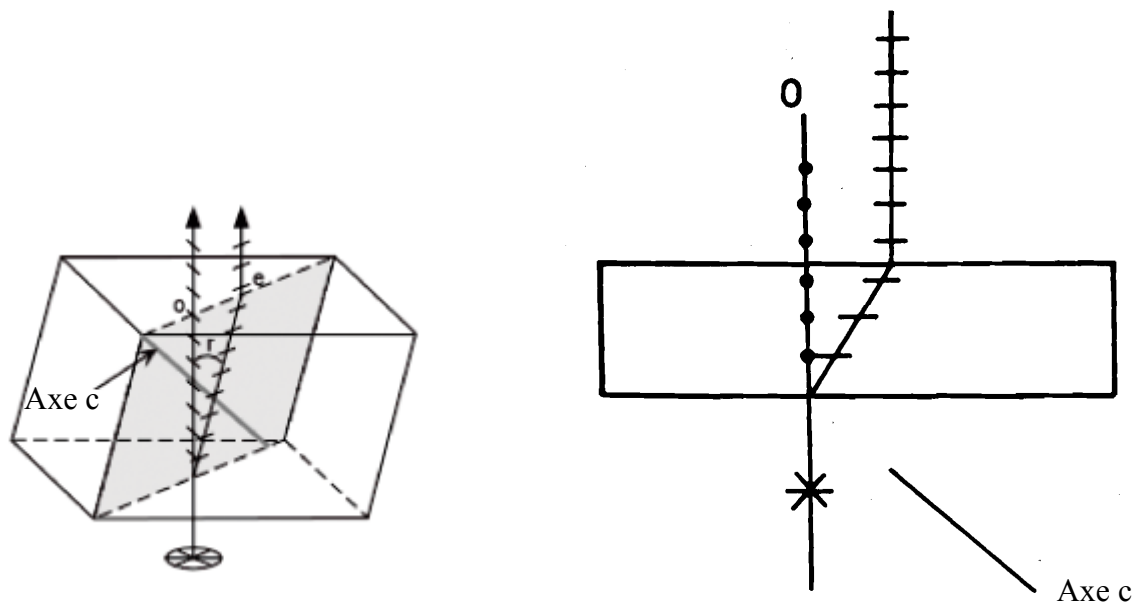


Figure 1 : Phénomène de la double réfraction

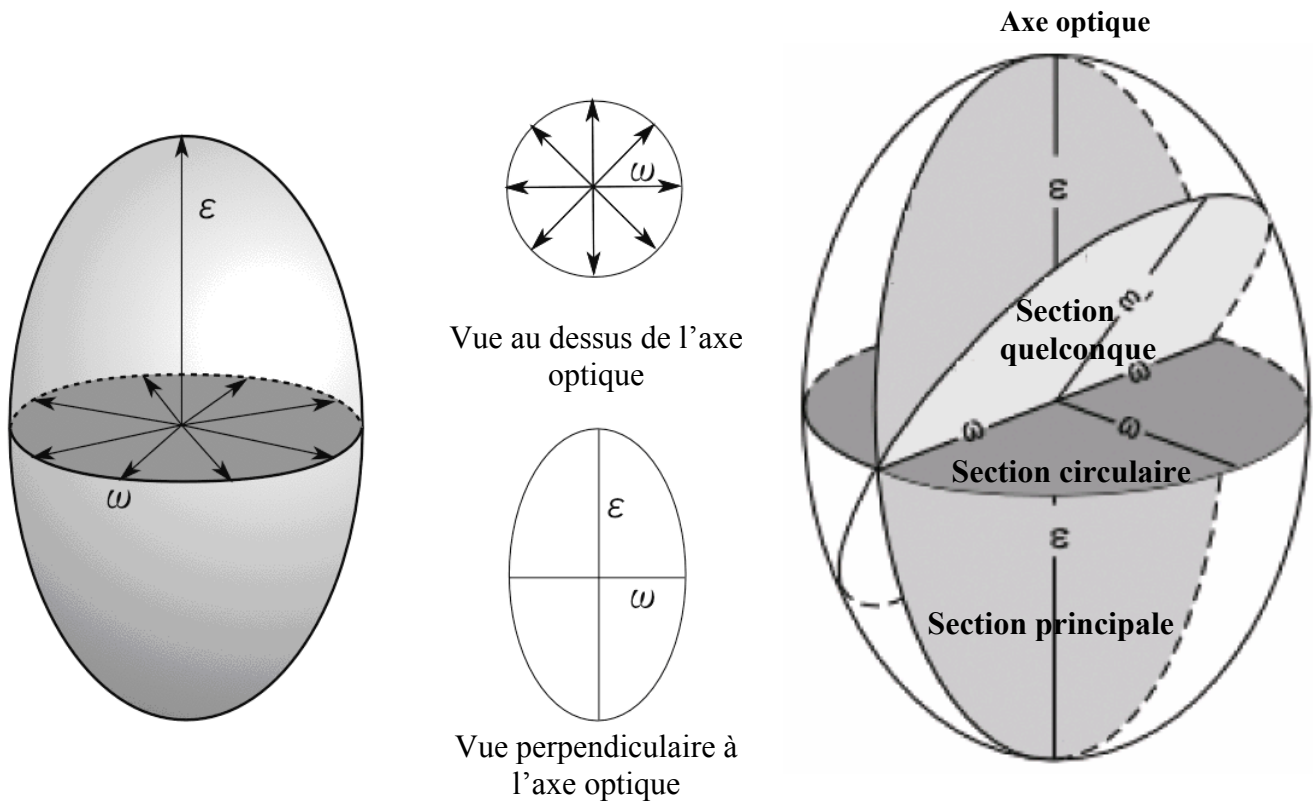
### 3.3. Indicatrice uniaxe ou Ellipsoïde des indices

Chez les minéraux uniaxes, les indices  $\omega$  et  $\varepsilon$  sont différents et l'indicatrice est un ellipsoïde de révolution : l'axe de révolution est l'axe optique du cristal (figure 2).

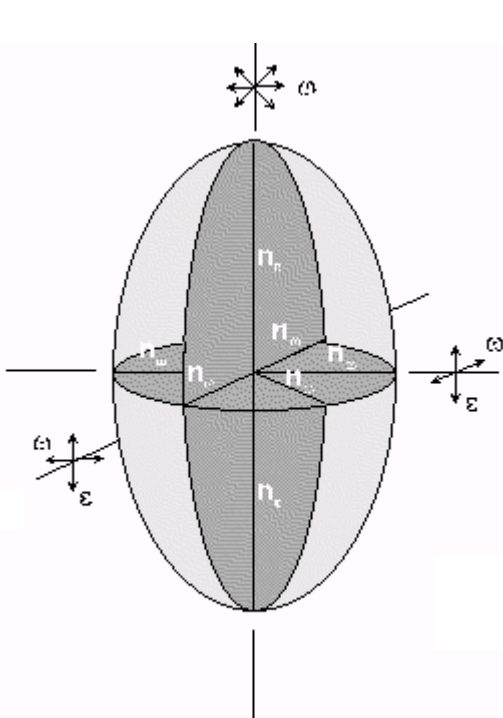
La lumière qui se propage parallèlement à l'axe optique possède un indice de réfraction égal à  $\omega$  et vibre parallèlement au plan équatorial de l'ellipsoïde dans n'importe quelle direction (figure 2).

La lumière dont la direction de propagation est perpendiculaire à l'axe optique se divise en deux rayons polarisés : un rayon ordinaire qui vibre parallèlement au plan équatorial et à la direction de l'indice  $\omega$ , et un rayon extraordinaire qui vibre parallèlement à l'axe optique et à la direction de l'indice  $\varepsilon$  (figure 3).

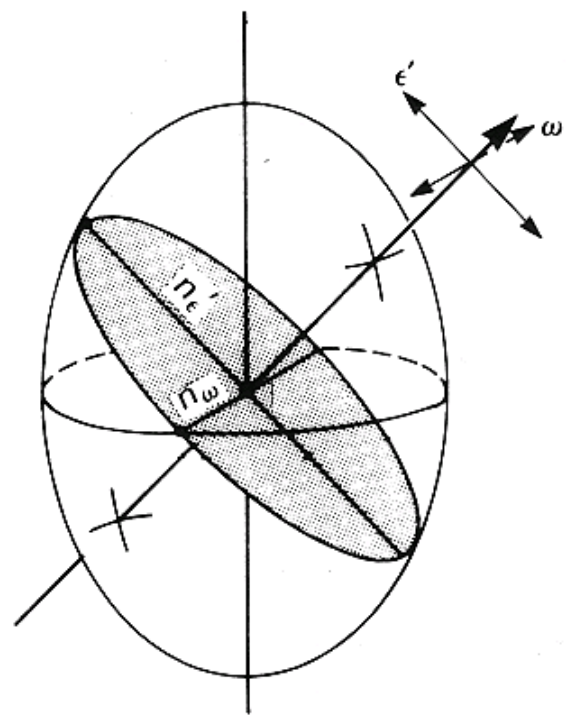
Les plans qui contiennent l'axe optique sont des ellipses dont les axes sont  $\omega$  et  $\varepsilon$ . C'est la **section principale**. Le plan équatorial de l'ellipsoïde, perpendiculaire à l'axe optique, est un cercle de rayon  $\omega$ . C'est la **section cyclique** ou **circulaire**. Les autres plans de l'indicatrice sont des ellipses dont les axes sont  $\omega$  et  $\varepsilon'$ . Ce sont les **sections quelconques**. La lumière dont la direction de propagation est parallèle à une section quelconque se divise en deux rayons polarisés : un rayon ordinaire qui vibre parallèlement au plan équatorial et à la direction de l'indice  $\omega$ , et un rayon extraordinaire qui vibre parallèlement à la direction de l'indice  $\varepsilon'$  (figure 4).



**Figure 2 :** Ellipsoïde uniaxe et ses différentes sections



**Figure 3 :** Direction de vibration des rayons lumineux se propageant parallèlement à l'axe optique et perpendiculairement à cet axe.

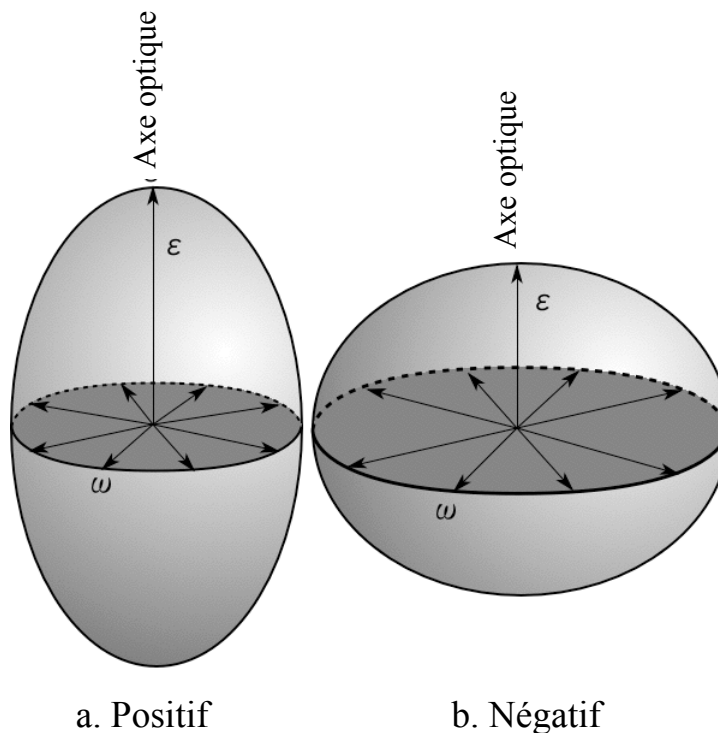


**Figure 4 :** Direction de vibration des rayons lumineux se propageant parallèlement à une section quelconque.

### 3.4. Signe optique et ellipsoïde des indices

Rappelons que les minéraux uniaxes se divisent en deux classes en fonction du signe optique du minéral :

- Si  $\varepsilon > \omega$  le signe optique est positif et l'ellipsoïde uniaxe aura la forme d'un sphéroïde allongé (figure 5.a.).
- Si  $\omega > \varepsilon$  le signe optique est négatif et l'ellipsoïde uniaxe aura la forme d'un sphéroïde aplati (figure 5.b.).



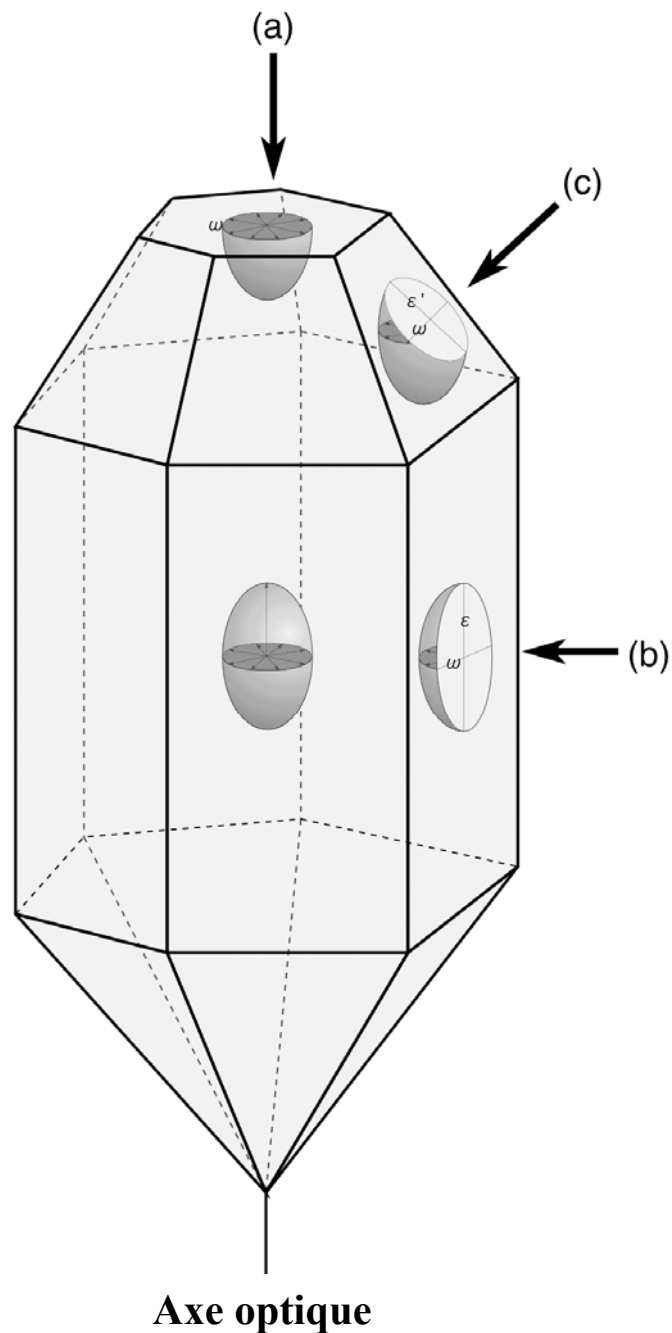
**Figure 5 :** Forme de l'ellipsoïde uniaxe en fonction du signe optique

### 3.5. Observation des minéraux uniaxes au microscope polarisant

Sur la figure 6, on a représenté un cristal quadratique de signe optique positif dans lequel on a figuré en son centre l'ellipsoïde des indices. Cet ellipsoïde nous sera utile pour connaître les directions de vibration de la lumière pour différentes sections du cristal.

- Si le cristal est observé au microscope dans le cas où son axe optique est perpendiculaire à la platine du microscope, nous pouvons déplacer l'ellipsoïde vers la face supérieure du cristal (face a sur la figure 6), et dans ce cas on observera la section circulaire de l'indicatrice.
- Si le cristal est observé au microscope dans le cas où son axe optique est parallèle à la platine du microscope, nous pouvons déplacer l'ellipsoïde vers l'une des faces latérales du cristal (face b sur la figure 12), et on remarque que la lumière se divisera

- Si le cristal est observé au microscope dans le cas où son axe optique n'est ni parallèle, ni perpendiculaire à la platine du microscope, nous pouvons déplacer l'ellipsoïde vers l'une des faces quelconques qui n'est pas parallèle ou perpendiculaire à l'axe  $c$  (face  $c$  sur la figure 12), et on remarque que la lumière se divisera en deux rayons, l'un parallèle à la direction de l'indice  $\omega$ , et l'autre parallèle à la direction de  $\varepsilon'$ . On observera dans ce cas la section quelconque de l'indicatrice.



**Figure 6 :** Position de l'indicatrice pour différentes sections d'un cristal quadratique (uniaxe).

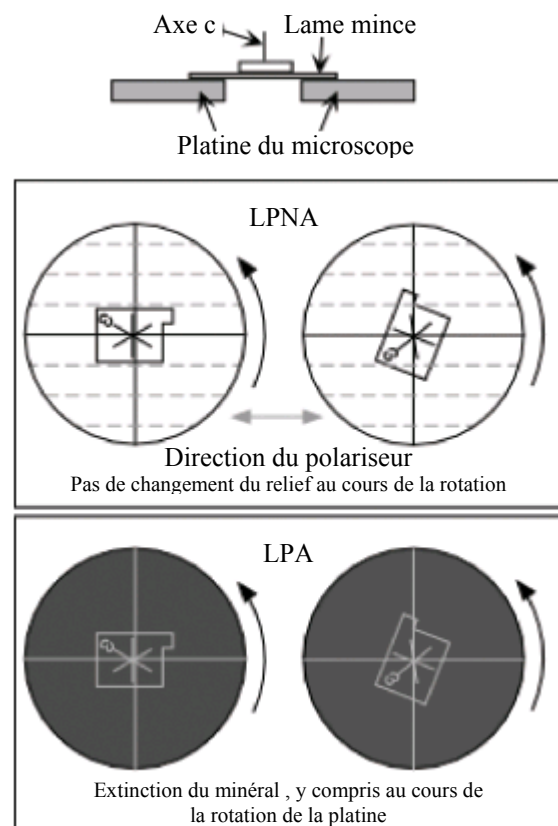
Nous allons examiner ce que nous observerons au microscope polarisant pour chacune des 3 sections précédentes.

**Remarque** : la direction des indices de réfraction  $\omega$ ,  $\varepsilon$  et  $\varepsilon'$  sont appelées directions privilégiées de la section considérée.

### 3.5.1. Section circulaire

Dans une telle section, l'axe optique du cristal est exactement perpendiculaire à la platine du microscope. La section circulaire coïncidera avec la surface observée au microscope (surface a de la figure 6). Avec cette orientation, le cristal aura les mêmes caractéristiques qu'un milieu isotrope.

- La lumière polarisée dans la direction E-W traversera le cristal et sortira polarisée dans la même direction E-W.
- Puisque la lumière vibrera parallèlement à la direction de l'indice  $\omega$  quelle que soit l'orientation de la platine, le relief ne changera pas au cours de la rotation de la platine en LPNA.
- La comparaison de l'indice de réfraction du minéral avec celui de la résine de la lame mince, en utilisant la méthode du liséré de Becke, nous permettra de trouver la valeur de l'indice de réfraction  $\omega$  du minéral.
- En LPA, le minéral est éteint et restera éteint au cours de la rotation complète (360°) de la platine du microscope, car la lumière qui sort du cristal est polarisée dans la direction E-W (et sera donc arrêtée à l'entrée de l'analyseur, dont la direction de polarisation est N-S).



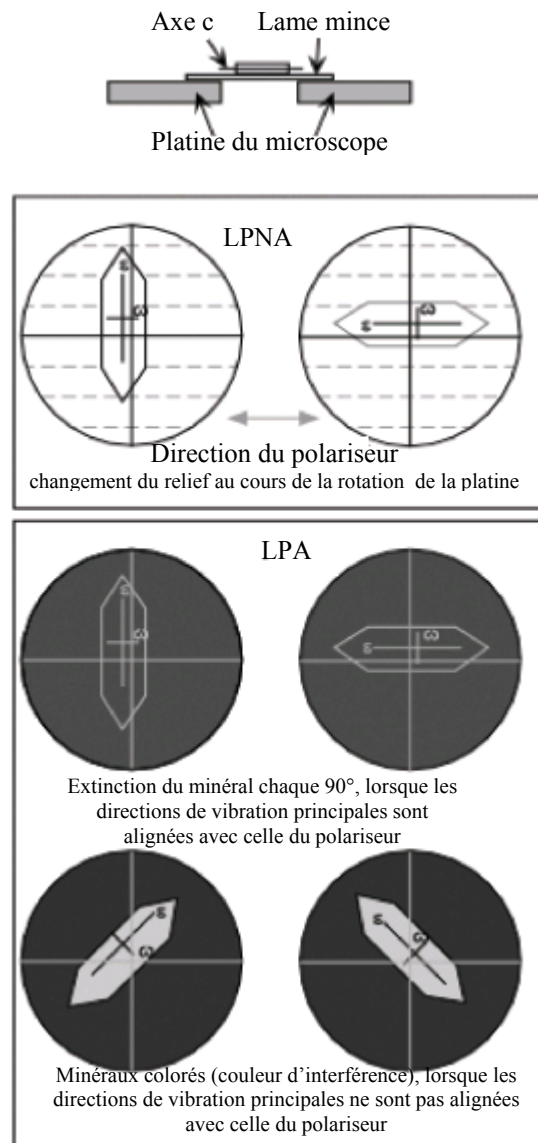
**Figure 7** : Observation d'une section circulaire au microscope polarisant

### 3.5.2. Section principale

Dans une telle section, l'axe optique du cristal est exactement parallèle à la platine du microscope. La section principale coïncidera avec la surface observée au microscope (surface b de la figure 6). Avec cette orientation, le cristal montrera des couleurs

d'interférence en LPA, à l'exception du cas où une des directions privilégiées est alignée (parallèle) avec la direction du polariseur.

- Si la direction  $\omega$  du cristal est parallèle à la direction du polariseur du microscope, la lumière continuera à vibrer dans la même direction (E-W) à sa sortie du cristal. Dans cette position, on peut utiliser la méthode du liséré de Becke, en LPNA, pour mesurer l'indice de réfraction  $\omega$ .
- Si la direction  $\varepsilon$  du cristal est parallèle à la direction du polariseur du microscope, la lumière continuera également à vibrer parallèlement à la direction du polariseur à sa sortie du cristal. Dans cette position, on peut utiliser la méthode du liséré de Becke, en LPNA, pour mesurer l'indice de réfraction  $\varepsilon$ .
- Puisque l'indice de réfraction sera différent selon la direction  $\omega$  ou  $\varepsilon$ , il y'aura un changement de relief lors de la rotation de la platine de  $90^\circ$  entre ces deux positions. Ce changement sera d'autant plus visible que la biréfringence du minéral ( $|\omega - \varepsilon|$ ) est grande.
- En LPA, quand la direction  $\omega$  ou  $\varepsilon$  est parallèle à la direction du polariseur du microscope, le minéral sera éteint, car la lumière vibrera parallèlement au polariseur à sa sortie du minéral.



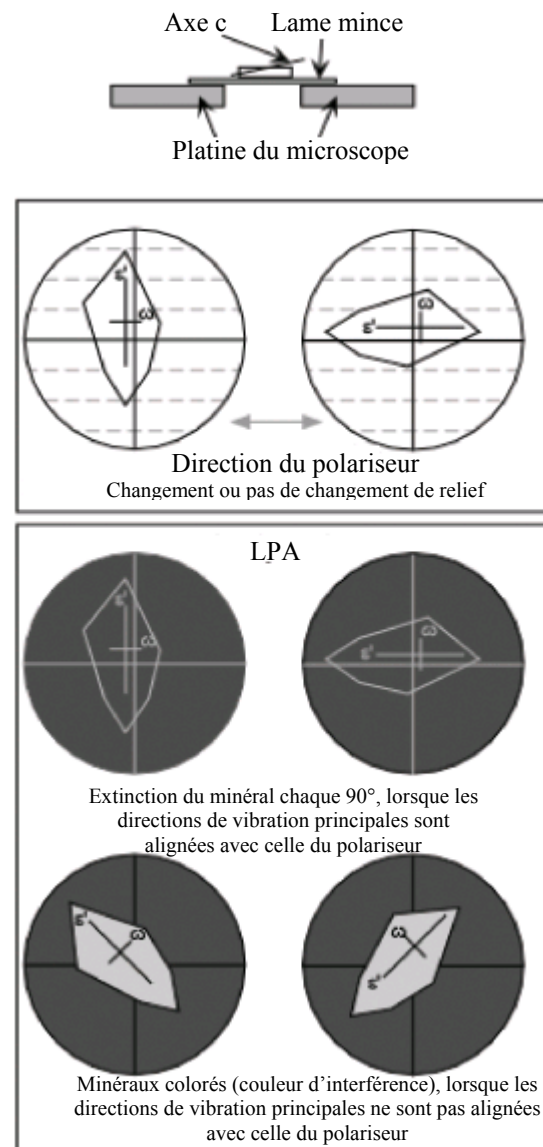
**Figure 8 :** Observation d'une section principale au microscope polarisant

- Si les directions privilégiées  $\omega$  et  $\varepsilon$  du cristal sont inclinées avec un angle entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  par rapport à la direction du polariseur, une partie de la lumière aura une direction de vibration inclinée par rapport au polariseur à sa sortie du cristal et sera transmise par l'analyseur. On observera alors des couleurs, appelées *couleurs d'interférences*.
- Ainsi, au cours d'une rotation complète de la platine du microscope, le minéral sera éteint à chaque  $90^\circ$ , et on observera les couleurs d'interférences entre ces positions d'extinction. L'origine de couleurs d'interférences sera discutée dans le prochain cours.

### 3.5.3. Section quelconque

Dans une telle section, l'axe optique du cristal sera incliné par rapport à la platine du microscope. Une section quelconque coïncidera avec la surface observée au microscope (surface c de la figure 6). Avec cette orientation, le cristal montrera aussi des couleurs d'interférence en LPA, à l'exception du cas où une des directions privilégiées est alignée (parallèle) avec la direction E-W du polariseur. Mais dans ce cas, l'une des directions privilégiées coïncidera avec la direction de l'indice  $\omega$ , et l'autre direction avec la direction de l'indice  $\varepsilon'$ .

- De la même manière, si la direction  $\omega$  du cristal est parallèle à la direction du polariseur du microscope, la lumière continuera à vibrer dans la même direction (E-W) à sa sortie du cristal. Dans cette position, on peut utiliser la méthode du liséré de Becke, en LPNA, pour mesurer l'indice de réfraction  $\omega$ .
- Si la direction  $\varepsilon'$  du cristal est parallèle à la direction du polariseur du microscope, la lumière continuera également à vibrer parallèlement à la direction du polariseur à sa sortie du cristal. Dans cette position, on peut utiliser la méthode du liséré de Becke, en LPNA, pour mesurer l'indice de réfraction  $\varepsilon'$ .
- Puisque l'indice de réfraction sera différent selon la direction  $\omega$  ou  $\varepsilon'$ , il y'aura un changement de relief au cours de la rotation de la platine entre ces deux positions, comme il pourrait ne pas y avoir changement. En effet, si la valeur de  $\varepsilon'$  est proche de  $\omega$ , le changement de relief sera très faible.
- En LPA, quand la direction  $\omega$  ou  $\varepsilon'$  est parallèle à la direction du polariseur du microscope, le minéral sera éteint, car la lumière vibrera parallèlement au polariseur à sa sortie du minéral



**Figure 9 :** Observation d'une section quelconque au microscope polarisant



- Si les directions privilégiées  $\omega$  et  $\varepsilon'$  du cristal sont inclinées avec un angle entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  par rapport à la direction du polariseur, une partie de la lumière aura une direction de vibration inclinée par rapport au polariseur à sa sortie du cristal et sera transmise par l'analyseur. On observera alors des couleurs, appelées *couleurs d'interférences*.
- Ainsi, comme dans le cas d'une section principale, au cours d'une rotation complète de la platine du microscope, le minéral sera éteint à chaque  $90^\circ$ , et on observera les couleurs d'interférences entre ces positions d'extinction.