

Observation en lumière polarisée¹ parallèle

Extrait de «Théorie et emploi du microscope polarisant»

Le profane qui observe pour la première fois une lame mince de roche au microscope polarisant, découvre un assemblage fascinant de formes variées aux couleurs vives, que bien des peintres non figuratifs aimeraient pouvoir imiter. Ce sont les sections de tous les minéraux constitutifs de la roche, chacune reproduisant une teinte² de polarisation différente.

Les observation en lumière polarisée nécessitent la mise en service de l'analyseur. On utilise le plus souvent un grossissement faible à moyen. Avec le grossissement moyen, on peut ajouter la partie amovible du condenseur. Cela augmente la luminosité, mais diminue le relief et délave parfois les teintes de polarisation.

En faisant tourner la platine, nous découvrons des sections anisotropes qui, toutes, présentent alternativement une certaine teinte suivie d'une extinction. Ces teintes sont dues aux interférences provoquées par le déphasage d'une onde sur l'autre au cours de la traversée de chaque section. Quelques rares sections restent toujours obscures malgré la rotation de la platine. Il s'agit soit de minéraux cubiques qui sont isotropes, soit d'une section perpendiculaire à un axe optique, soit encore d'un minéral opaque. On reconnaît aisément ce dernier cas par le fait qu'il conserve son caractère opaque lorsqu'on ôte l'analyseur. Pour distinguer un minéral isotrope (cubique) d'une section perpendiculaire à un axe optique, il faut recourir à l'observation en lumière polarisée convergente. Nous verrons ceci plus loin.

Macles et clivages

Parmi les sections anisotropes, il y en a parfois qui semblent partagées en deux parties par une ligne droite, chaque moitié du minéral ayant sa propre teinte de polarisation et sa position d'extinction particulière. Si on ôte l'analyseur, cette différence disparaît et le minéral semble parfaitement uniforme.

¹ C'est le premier d'une série de trois chapitres consacrés aux différentes possibilités d'observation qu'offre le microscope polarisant : lumière polarisée parallèle, lumière polarisée convergente, lumière naturelle.

² Nous réserverons dès maintenant le mot "teinte" pour les phénomènes colorés provoqués par la polarisation et nous n'utiliserons le mot "couleur" que lorsqu'il s'agira de la couleur propre d'un minéral qu'on observe en lumière naturelle.



Minéral maclé vu en L.P.



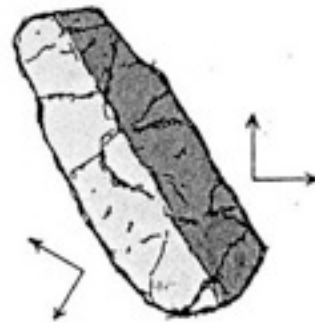
Le même minéral vu en L.N.

Parfois la macle est multiple. Au lieu de deux individus, le minéral semble constitué d'une série de lamelles parallèles se rapportant alternativement à deux orientations optiques différentes.

Les macles n'apparaissent là aussi qu'en lumière polarisée, car les orientations de l'ellipsoïde des indices de chacune des parties du minéral sont différentes l'une de l'autre. Lorsqu'un des parties a ses indices principaux parallèles aux fils du réticule, elle est éteinte. Pour la même position, l'autre partie dont les indices ne sont pas parallèles aux traits du réticule, reste éclairée.



Macles multiples vues en L.P.



Orientation optique des deux parties d'une macle.



Macles invisibles en L.N.



Même section vue en L.P.

Les lignes de clivage sont des réseaux de fissures non ouvertes dont les intersections avec le plan de la coupe mince forment des lignes parallèles visibles aussi bien en lumière parallèle qu'en lumière polarisée.

Abréviations utilisées dès à présent

<i>section parallèle</i>	: <i>section parallèle à l'axe optique</i>
<i>Section perpendi- culaire</i>	: <i>section perpendiculaire à l'axe op- tique</i>
<i>L.P.</i>	: <i>lumière polarisée</i>
<i>L.N</i>	: <i>lumière parallèle</i>

Recherche de la section parallèle à l'axe optique

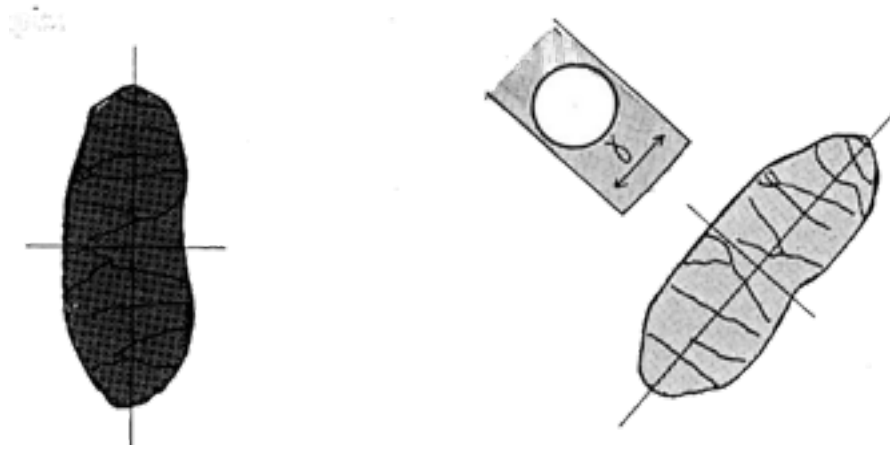
La recherche de la section parallèle aux axes optiques (à l'axe optique dans le cas des minéraux uniaxes) est une opération importante qui doit toujours être effectuée dans une routine d'identification d'un minéral. Cette section découpe dans l'ellipsoïde un ellipse dont les axes sont n_g et n_p , correspondant aux indices maximum et minimum du minéral étudié. Comment la trouver ? Parmi les nombreuses sections présentes dans la coupe mince, la section parallèle est celle qui présente le retard le plus élevé, c'est-à-dire qu'elle présente la teinte de polarisation la plus à droite sur le tableau de Newton.

Après avoir identifié la section parallèle, on note sa position exacte à l'aide des coordonnées de la surplatine, puis on la dessine dans l'orientation d'une de ses positions d'extinction. On sait alors que ses indices n_g et n_p sont parallèles aux traits du réticule.

Détermination de la position des indices n_g et n_p .

On sait déjà qu'en position d'extinction, les indices n_g et n_p sont parallèles aux traits du réticule. Mais on ne sait pas encore lequel est n_g , lequel est n_p . Pour lever cette incertitude, nous devons utiliser une des lames auxiliaires décrites plus haut. On procède de la manière suivante :

- 1. Sur le dessin du minéral en position d'extinction, dessinons les traces des traits du réticules. Ils matérialisent n_g et n_p .*
- 2. Faisons tourner la platine de 45° (peu importe le sens) : la section se trouve alors en position d'illumination maximum. Mentalement faisons tourner le dessin dans le même sens, entraînant du même coup la rotation des indices.*
- 3. Superposons au minéral une lame auxiliaire, le mica quart-d'onde par exemple :*



Deux cas de figure peuvent alors se présenter :

1. Le grand indice de la lame auxiliaire (n_g) est parallèle à celui du minéral.
A l'intérieur du minéral, l'onde qui obéit à n_g prend un certain retard sur celle qui est soumise à n_p . Dans la lame auxiliaire, l'onde en retard obéit encore à n_g et, par conséquent, son retard augmente encore. On peut donc écrire :

$$R_{total} = R_{minéral} + R_{lame}$$

Cette addition des retard se traduit par un changement de la teinte de polarisation dans le sens d'un déplacement vers la droite dans l'échelle des teintes de Newton. Ce déplacement correspond au retard apporté par la lame. Il est égal (pour la lame de mica) à 150×10^{-6} mm.

2. Le grand indice de la lame est perpendiculaire à celui du minéral.
Par un raisonnement analogue à celui développé ci-dessus, on voit que, cette fois-ci, le retard de la lame auxiliaire est soustraite du retard du minéral observé. On peut donc écrire :

$$R_{total} = R_{minéral} - R_{lame}$$

Cette soustraction des retards se traduit encore par un changement de la teinte de polarisation dans le sens d'un déplacement vers la gauche sur l'échelle des teintes de Newton.

Avec un peu d'expérience, il n'est pas difficile d'identifier ces deux situations et on peut donc déterminer l'orientation des indices du minéral examiné en comparant leur position à celle du grand indice de la lame auxiliaire qui est connue et gravée sur la monture. On utilise habituellement le mica quart-d'onde. On réserve l'emploi de la lame de gypse aux minéraux de faible biréfringence.

Estimation de la valeur du retard

L'estimation de la valeur du retard de la section parallèle se fait en principe en comparant sa teinte de polarisation avec celles du tableau de Newton. En réalité, cette comparaison n'est pas si aisée car, d'une part, les teintes du tableau de Newton ne sont que rarement reproduites d'une manière fidèle à la réalité et, d'autre part, l'estimation de la teinte de polarisation du minéral peut être faussée par la couleur propre de celui-ci. Par ailleurs, la difficulté de distinguer des teintes identiques dans des ordres différents du tableau apporte une confusion supplémentaire.

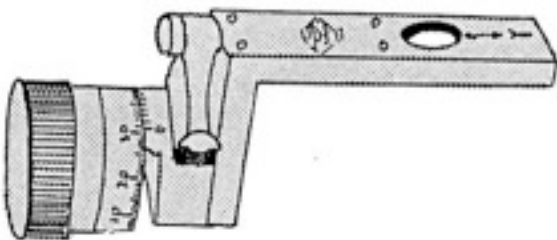
Aussi on peut recourir à un compensateur, accessoire qui permet de mesurer le retard avec une certaine précision.

Emploi d'un compensateur

Le compensateur le plus simple est le biseau de quartz. En l'engageant progressivement dans l'ouverture réservée aux lames auxiliaire, il permet de faire varier le retard de zéro jusqu'à une valeur correspondant aux teintes du troisième ou quatrième ordre de l'échelle de Newton.

Le principe consiste à orienter le minéral de telle manière que son plus grand indice soit normal à celui du biseau de quartz (position de compensation). On introduit alors progressivement le biseau de quartz tout en observant le changement des teintes de polarisation. Le retard apparent décroît au fur et à mesure qu'on enfonce plus avant le biseau de quartz. Lorsque la compensation est totale, on observe une teinte gris-foncé correspondant au tout début du tableau de Newton.

En retirant lentement le biseau de quartz, on voit défiler dans l'ordre toutes les teintes de Newton jusqu'à celle qui est propre au minéral observé. C'est le moyen le plus simple d'estimer le retard.



Compensateur de Berek

Si on exige une plus grande précision, il faut recourir à un compensateur plus précis. Le plus connu est le compensateur dit "de Berek". Il est constitué d'une lame de calcite taillée perpendiculairement à l'axe optique, placée dans une monture métallique. Un molette commande son inclinaison autour d'un axe horizontal. Un

limbe gradué permet de mesurer son inclinaison. Ce compensateur prend place dans le logement prévu pour les lames auxiliaires. Lorsque la plaquette est horizontale, elle n'introduit aucun retard puisque la lumière chemine le

long de l'axe optique de la calcite. Dès qu'on l'incline, son orientation change et elle commence à introduire un retard qui augmente avec son inclinaison. Cet angle peut être lu avec précision grâce à la graduation du bouton moleté.

Il suffit donc d'orienter le minéral de telle manière que son grand indice soit perpendiculaire à celui du compensateur et de tourner la molette jusqu'à l'obtention complète de la compensation.

Une table de conversion indique le retard en fonction de l'angle mesuré. Toutefois il faut être attentif au fait que, contrairement aux autres lames auxiliaires, le grand indice du compensateur est parallèle à l'allongement de l'appareil. Cela est dû au fait que la calcite est un uniaxe négatif et que l'axe de rotation dans ce compensateur est obligatoirement n_g .

La biréfringence

La biréfringence est une des propriétés optiques caractéristiques de chaque espèce minérale transparente. Sa valeur est donnée par la relation :

$$B = \frac{R}{e} \quad \text{et l'épaisseur} \quad e = \frac{R}{B}$$

dans laquelle R est le retard et e l'épaisseur de la préparation. Les coupes minces ont une épaisseur approximative de 0.03 mm. Il faut toutefois vérifier cette épaisseur. C'est facile si la coupe mince renferme un minéral connu dont la biréfringence est parfaitement constante, Le quartz, qu'on rencontre heureusement dans beaucoup de roches, convient tout particulièrement. Sa biréfringence vaut 0.009. Si on porte cette relation dans la relation ci-dessus, on obtient :

$$e = \frac{R}{0.009}$$

En contrôlant le retard d'une section parallèle de quartz, on peut donc vérifier l'épaisseur de la lame mince. Nous verrons au chapitre suivant une autre méthode de vérification de l'épaisseur.

Biréfringence des minéraux dispersifs

Quelques minéraux, assez rares heureusement, présentent une curieuse anomalie : on n'arrive jamais à les éteindre complètement en tournant la platine. Aux alentours de la position d'extinction, ils changent rapidement de teinte et on ne parvient pas à déterminer une position d'extinction pré-

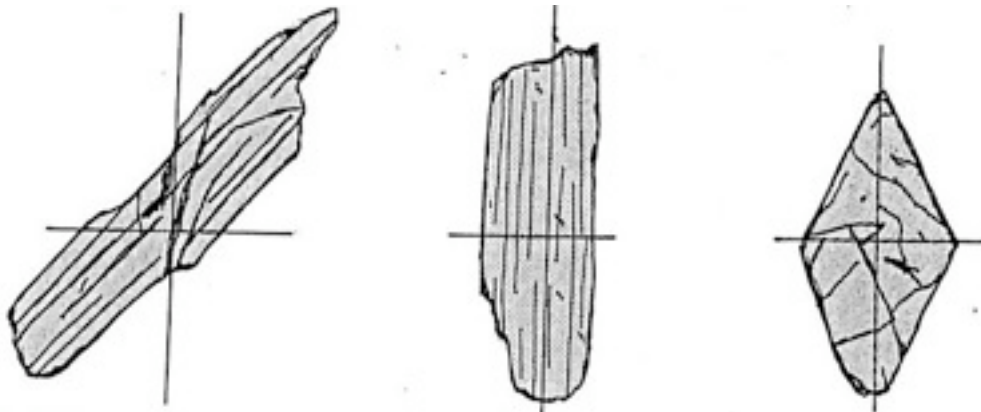
cise. Ce sont des minéraux qui présentent une forte dispersion de la valeur des indices suivant la longueur d'onde de la lumière qui les traverse. Cette dispersion implique des orientations légèrement différentes des ellipsoïdes suivant la couleur. Par exemple, lorsqu'on atteint l'extinction pour le bleu, cette couleur disparaît au profit d'un renforcement des autres couleurs dont la position d'extinction n'est pas encore atteinte.

Pour ces minéraux, la position d'extinction reste imprécise, Pour les mêmes raisons, la teinte de polarisation est perturbée et change suivant l'orientation de la platine.

L'angle d'extinction

Lorsqu'une section présente des caractères cristallographiques apparents (lignes de clivage, trace de face, plan de macles), on mesure l'angle que ces directions font avec une des directions optiques, n_g ou n_p . La mesure est simple : il suffit d'amener la direction cristallographique en coïncidence avec un des traits du réticule, puis de mesurer l'angle dont il faut faire tourner la platine pour amener n_g ou n_p en coïncidence avec le même trait du réticule (position d'extinction). On peut attribuer à l'extinction divers qualificatifs : extinction droite, extinction oblique, extinction symétrique.

L'angle d'extinction exprime la relation géométrique entre les éléments cristallographiques du minéral et l'orientation des ellipsoïdes des indices.

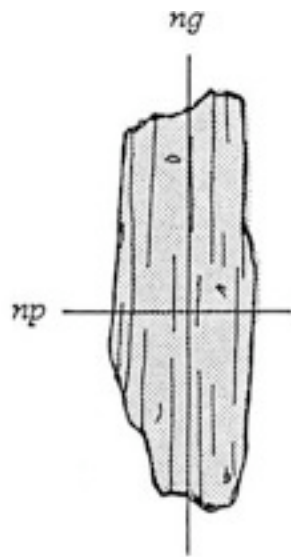


Extinction oblique ou inclinée Extinction droite ou parallèle Extinction symétrique

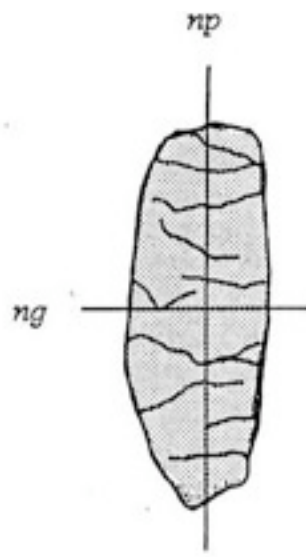
Signe de l'allongement

Si une section est allongée et que son extinction est parallèle ou faiblement inclinée, on détermine le signe de l'allongement.

Par convention, on dit que l'allongement est positif lorsque la trace du plus grand des indices est parallèle à la direction de l'allongement. Dans le cas contraire, on parle d'allongement négatif.



allongement positif



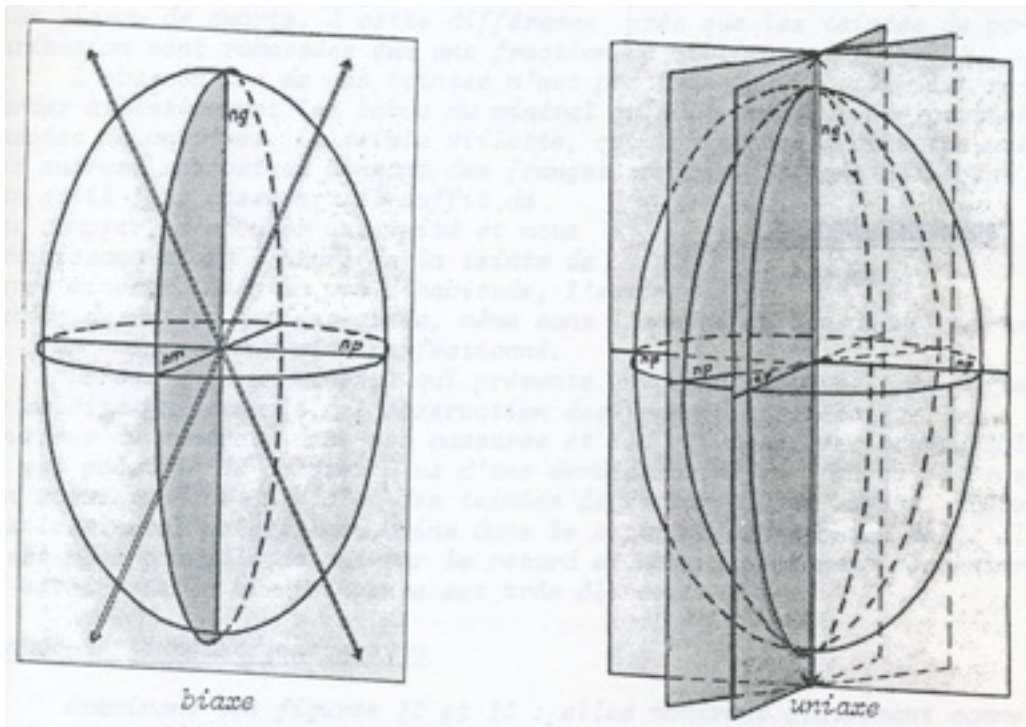
allongement négatif

Commentaire

Parmi toutes les sections d'une même espèce minérale qui se trouve dans une coupe mince de roche, la plupart ont une orientation quelconque. L'ellipse que le plan de la coupe mince découpe dans l'ellipsoïde de chacune d'elles, a généralement des axes quelconques qui ne sont ni n_g ni n_p , mais des valeurs moins extrêmes n'_g et n'_p .

Statistiquement, nous devons trouver parmi elles une section dont les axes de l'ellipsoïdes sont n_g et n_p , les indices maximum et minimum de l'ellipsoïde. Cette section est aisément identifiable : on la reconnaît par sa biréfringence qui est la plus élevée de toutes les sections (du même minéral, bien sûr) présentes dans la coupe mince.

On l'appelle habituellement "section parallèle", sous-entendu parallèle à un ou aux deux axes optiques, suivant qu'il s'agit d'un uniaxe ou un biaxe.



Examinons les figures ci-dessus. L'une est un ellipsoïde uniaxe (positif), l'autre un biaxe. Pour l'ellipsoïde biaxe, la section qui contient ng et np contient aussi les axes optiques. Il n'existe donc qu'une seule et unique section parallèle.

Dans l'ellipsoïde uniaxe, au contraire, il y a une infinité de sections parallèles à l'axe optique (confondu à ng dans le cas précis) : toutes les sections verticales. Nous en avons dessiné trois dans l'illustration.

Dans la pratique, la probabilité de trouver une section parallèle est beaucoup plus grande chez les minéraux uniaxes que chez les biaxes.

Par contre, il n'y a qu'une section perpendiculaire pour les uniaxes contre deux pour les biaxes!

La biréfringence représente la différence entre deux indices de réfraction. Avec un peu de soin, il est possible de la mesurer à 0.001 près. Comme beaucoup de mesures en physique, il est plus facile de mesurer la différence de deux valeurs que ces valeurs elles-mêmes.

Estimation du retard.

On ne dispose pas toujours d'un compensateur et il le plus souvent il faut se débrouiller pour identifier la teinte de polarisation d'une section. Il est surtout délicat de déterminer l'ordre auquel appartient la teinte que nous observons. Heureusement pour nous, les bords des minéraux contenus dans une coupe mince ne sont pas taillés à angle droit de la préparation, mais constituent fréquemment des dégradés de hauteur qui reproduisent en tout

petit des sortes de biseaux, analogue à notre biseau de quartz, à cette différence près que les teintes de polarisation sont ramassées sur quelques centièmes de mm.



Minéral dans une coupe mince montrant une bordure en biseau

L'observations de ces teintes n'est pas toujours aisée. Il faut observer attentivement les bords du minéral. On peut apercevoir alors toutes les teintes de Newton, les zones violettes qui séparent les différents ordres, apparaissant comme des franges noires. Ce sont ces franges qu'il faut observer. Il suffit alors de les compter et d'ajouter une unité pour savoir dans quel ordre se situe la teinte de polarisation du minéral. Avec un peu d'habitude, l'estimation du retard devient aisée, même sans l'emploi du biseau de quartz ou d'un compensateur.

Lorsqu'un minéral présente une très forte biréfringence, la calcite, par exemple, l'observation des franges colorées sur le pourtour du minéral ou dans les cassures, est remarquable. il est possible de compter plus d'une demi-douzaine de franges sombres, franges qui correspondent, comme nous l'avons déjà dit, au violet des teintes de Newton qui sépare les ordres les uns des autres. Nous savons donc que le minéral polarise au moins dans le septième ordre ou au-delà. Il n'est plus possible de mesurer la biréfringence et nous devons nous contenter de savoir que celle-ci est très élevée.

Mesure de l'angle d'extinction

Les figures ci-dessous montrent clairement comment il faut procéder. on place la direction des lignes de clivage parallèlement à un des fils du réticule, puis on tourne la platine jusqu'à la plus proche extinction. L'angle α dont il a fallu faire tourner la platine est l'angle d'extinction.

