

J.-F. BEAUX | J.-F. FOGELGESANG | P. AGARD | V. BOUTIN

ATLAS

GÉOLOGIE
ET PÉTROLOGIE

BCPST 1 et 2

l'intégrale

3^e édition

DUNOD

Sauf indication contraire, toutes les photos, illustrations et figures sont la propriété des auteurs.

Les données des tableaux des pages 30 à 44 sont des analyses adaptées de J. Lameyre, *Roches et minéraux*, Doin éditions, 1975 et M. G. Best et E. H. Christiansen, *Igneous Petrology*, Blackwell Science, 2001.

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>		<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---	---

© Dunod, 2011, 2015, 2019
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-078962-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Cet Atlas de Pétrographie s'adresse en premier lieu à tous les étudiants engagés dans les classes préparatoires aux grandes écoles biologiques et géologiques (classes BCPST et TB) ou en cursus de licence à l'Université.

Le but de cet ouvrage, fruit de l'expérience des auteurs, est double, pour répondre pleinement aux intentions des nouveaux programmes et aux attendus des épreuves, fondés sur l'analyse et l'exploitation de documents. Il vise ainsi à :

- favoriser l'**acquisition des connaissances clés** couvrant la plupart des chapitres des programmes et correspondant aux **domaines majeurs** de la géologie ;
- conforter la maîtrise de très nombreuses **capacités exigibles**, précisément spécifiées dans les programmes, déclinées dans les cours, les séances de travaux pratiques ou les stages de terrain, et faisant l'objet des évaluations de concours.

Construit sous forme de **fiches en double page** et abondamment illustré, cet ouvrage offre une **vision** à la fois **synthétique** et **analytique** sur l'ensemble des **minéraux** et des **roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires**, objets des programmes des classes préparatoires. Des **clés de détermination** placées en fin d'ouvrage en permettent la diagnose.

D'autres **aspects pétrologiques** importants sont également présentés, avec l'objectif d'intégrer les observations effectuées dans la construction de **démarches exigibles**, ainsi par exemple :

- reconstitution de l'**histoire** des roches et des phénomènes géologiques qui les ont affectées ;
- reconstitution de la signification des **figures de déformations** observées à l'échelle de l'échantillon ;
- compréhension de la signification de cortèges de roches, série ophiolitique, série magmatique ou ensembles métamorphiques régionaux.

Des fiches **méthodologiques** permettent aussi le rappel de quelques outils et techniques simples d'observation et d'analyse.

Chaque fiche associe une page de photographies, éventuellement accompagnées de schémas, à une page de texte explicatif et comprend selon les cas :

- **des photographies d'échantillons macroscopiques** ; les exemples retenus, loin d'être exhaustifs, sont volontairement classiques de manière à permettre à l'étudiant de retrouver ceux étudiés en séances de travaux pratiques et à en garantir une révision aisée ;
- **des photographies de lames minces en lumière polarisée non analysée (LPNA) et en lumière polarisée analysée (LPA)** qui complètent l'analyse macroscopique et permettent de préciser ou de confirmer la nature de certaines phases minérales ;
- **un texte explicatif** : celui-ci comporte deux parties en général ; la première est une diagnose raisonnée montrant comment accéder à l'identification de la nature du minéral ou de la roche ; la seconde fournit des enseignements complémentaires, pour donner du sens aux observations réalisées et développer la réflexion et l'application des connaissances.

C'est donc à l'acquisition de ces connaissances, de ces compétences et de ces capacités que vous convie cet ouvrage, dans le cadre des classes préparatoires mais aussi au-delà, pour tous ceux qui sont tentés par les concours de recrutement ou de promotion de professeurs (Agrégations et CAPES externes et internes), ou simplement désireux de mieux comprendre le monde minéral.

Avant-propos	3
MINÉRAUX	
Fiche 1 Le quartz.....	6
Fiche 2 Les feldspaths	8
Fiche 3 Les micas : biotite et muscovite.....	10
Fiche 4 Les amphiboles.....	12
Fiche 5 Les pyroxènes.....	14
Fiche 6 Les olivines.....	16
Fiche 7 Les silicates d'alumine (I) : L'andalousite et la sillimanite.....	18
Fiche 8 Les silicates d'alumine (II) : Le disthène et la staurotide	20
Fiche 9 Les grenats et la chlorite	22
Fiche 10 La calcite et les épidotes.....	24
ROCHES MANTELLIQUES ET MAGMATIQUES	
Fiche 11 Classification des roches magmatiques et mantelliques (I).....	26
Fiche 12 Classification des roches magmatiques et mantelliques (II).....	28
Fiche 13 Les basaltes tholéïitiques et alcalins	30
Fiche 14 Les gabbros.....	32
Fiche 15 Les andésites.....	34
Fiche 16 Les granodiorites.....	36
Fiche 17 Les trachytes	38
Fiche 18 Les rhyolites	40
Fiche 19 Les granites.....	42
Fiche 20 Les péridotites	44
Fiche 21 Les enclaves dans les roches magmatiques.....	46
Fiche 22 Les contacts entre roches magmatiques et encaissant et entre roches magmatiques..	48
Fiche 23 Roches plutoniques et ordre de cristallisation.....	50
Fiche 24 Plagioclases zonés et cristallisation.....	52
ROCHES SÉDIMENTAIRES	
Fiche 25 Classification des roches sédimentaires (I).....	54
Fiche 26 Classification des roches sédimentaires (II).....	56
Fiche 27 Les conglomérats : brèches et poudingues.....	58
Fiche 28 Les grès	60
Fiche 29 Les marnes et les argilites.....	62
Fiche 30 Les calcaires coralliens ; les calcaires à stromatolithes.....	64
Fiche 31 Les calcaires coquilliers.....	66
Fiche 32 Les calcaires oolithiques ; les calcaires à Nummulites	68
Fiche 33 Les calcaires pélagiques (calcaires planctoniques)	70
Fiche 34 Les évaporites	72
Fiche 35 Les figures sédimentaires (I) : Stratifications et litages	74
Fiche 36 Les figures sédimentaires (II) : Rides symétriques et asymétriques	76
Fiche 37 Les figures sédimentaires (III).....	78

ROCHES MÉTAMORPHIQUES

Fiche 38	Les informations des roches métamorphiques	80
Fiche 39	Les schistes ardoisiers et sériciteux	82
Fiche 40	Les micaschistes	84
Fiche 41	Les gneiss : orthogneiss et paragneiss	86
Fiche 42	Les migmatites ou anatexites	88
Fiche 43	Les cornéennes et les marbres	90
Fiche 44	Les amphibolites	92
Fiche 45	Les schistes bleus	94
Fiche 46	Les éclogites	96
Fiche 47	Les transformations successives d'une metabasite : le chemin (P,T,t)	98
Fiche 48	Les transformations successives d'une métapélite : le chemin (P,T,t)	100
Fiche 49	Les transformations successives d'une quartzite à grenat et coésite : le chemin (P,T,t)	102

ROCHES ET ALTÉRATION

Fiche 50	L'altération chimique des roches	104
----------	--	-----

ROCHES ET DÉFORMATIONS

Fiche 51	Analyse de la déformation : généralités	106
Fiche 52	L'analyse de déformations cassantes	108
Fiche 53	La déformation cassante : des marqueurs du mouvement	110
Fiche 54	Schistosités, linéations, plan XZ	112
Fiche 55	La déformation ductile et les structures associées au cisaillement	114
Fiche 56	Le sens de cisaillement et les structures C/S	116

CORTÈGES DE ROCHES ET HISTOIRE

Fiche 57	Les complexes ophiolitiques	118
Fiche 58	Les séries magmatiques	120
Fiche 59	Les faciès sédimentaires et la reconstitution paléogéographique	122
Fiche 60	Les figures sédimentaires au sein du flysch	124
Fiche 61	La détermination d'un gradient métamorphique (I) : Exemple des métapélites	127
Fiche 62	La détermination d'un gradient métamorphique (II) : Exemple de metabasites alpines	129

ROCHES ET RESSOURCES NATURELLES

Fiche 63	Les ressources (I) : Construction et énergie	130
Fiche 64	Les ressources (II) : Minéraux industriels et métaux	132

MÉTHODES D'ÉTUDE

Fiche 65	L'analyse d'une roche à l'échelle macroscopique	134
Fiche 66	Le microscope polarisant et l'analyse des lames minces	136
Fiche 67	La confection d'une lame mince de roche	138

Clés de détermination	140-141
-----------------------------	---------

Index	142
-------------	-----

Quartz améthyste en géode



Cristaux automorphes de quartz (géode)



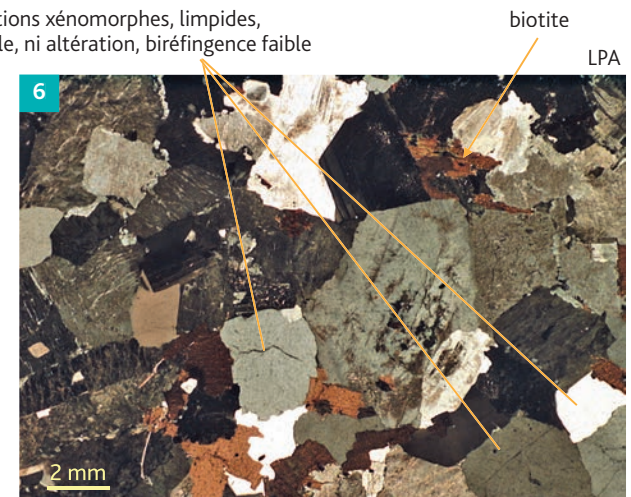
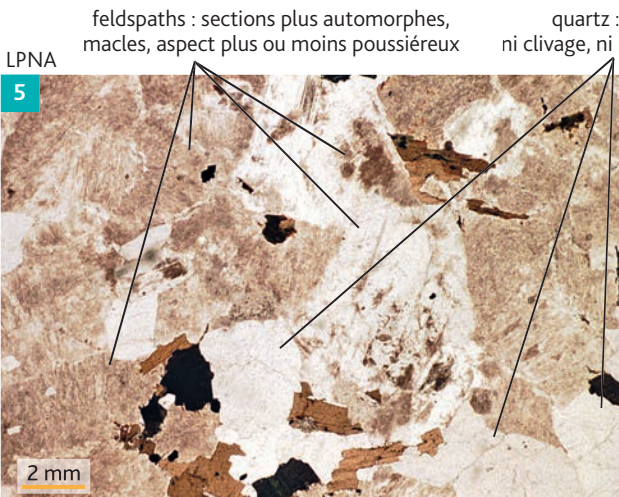
Veines de quartz dans une formation schisteuse



Quartz dans un granite



Quartz et feldspaths dans un granite



Caractères généraux

Caractères macroscopiques

Le quartz a pour formule chimique SiO_2 . Il peut s'observer aisément en masse lorsqu'il forme des **géodes** (photo 1) dans certaines roches, avec des cristaux bien développés (photo 2). Le cristal de roche ou quartz hyalin correspond à des cristaux incolores (photo 2). Mais de nombreuses variétés sont colorées du fait d'impuretés, à l'exemple du quartz violet ou **améthyste** (traces de Mn et de Fe^{3+}) (photo 1). Le quartz peut également constituer des **veines** au sein de formations variées (photo 3).

Dans les roches, le quartz forme généralement des cristaux de petite taille. Ceux-ci sont incolores à grisâtres, limpides, avec un aspect de **gros sel** (photo 4). L'éclat est gras, vitreux, et la cassure conchoïdale. Sa dureté est de 7 : il raie l'acier et le verre. Le quartz est un minéral très peu altérable.

Caractères microscopiques

- En LPNA (photo 5), le **quartz** apparaît sous forme de **plages très limpides**, ne présentant ni macles, ni clivages, ni traces d'altération. Son relief est faible ce qui rend ces plages quasiment invisibles en lame mince. Les **cristaux** sont le plus souvent **xénomorphes**, en sections de petite taille sans forme définie. Certaines roches comme les rhyolites peuvent cependant montrer des cristaux presque automorphes.
- En LPA (photo 6), le quartz a une **biréfringence faible**, avec des teintes de polarisation dans les blancs ou les gris. Certains cristaux peuvent montrer une extinction roulante qui atteste de déformations.

Enseignements complémentaires

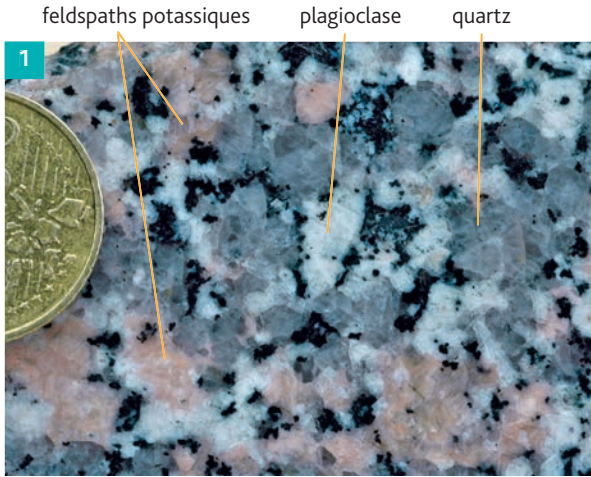
Particularités

- **Distinction quartz/feldspaths** : Dans de nombreuses roches, le quartz coexiste avec des **feldspaths**. Tous ces minéraux ont en commun d'être incolores en LPNA, d'avoir un relief faible à nul et de polariser dans des teintes blanches à grises (photos 5 et 6). Toutefois :
 - en masse, le quartz ressemble à du gros sel, les feldspaths étant souvent blancs ou roses (photo 4) ;
 - le quartz est le plus fréquemment xénomorphe alors que les feldspaths sont souvent en cristaux automorphes ; les sections limpides du quartz se distinguent des sections de feldspaths alcalins fréquemment poussiéreuses du fait de leur altérabilité ; les feldspaths présentent des macles et des clivages, ce que ne possède pas le quartz.
- **Signification des compositions chimiques** : Les roches magmatiques sont essentiellement constituées de minéraux silicatés et le principal oxyde donné dans l'analyse est toujours SiO_2 . Il faut bien comprendre que cette silice obtenue dans l'analyse est la somme de la silice de l'ensemble des minéraux silicatés. Le quartz correspond alors à la seule **silice libre, non combinée**. Il ne sera présent que lorsque la quantité de silice totale excède la quantité qui peut se combiner avec tous les autres éléments. C'est la signification du terme « saturé » en silice. Une roche magmatique n'exprime du quartz que lorsque son pourcentage de silice dépasse une certaine valeur, de l'ordre de 50 à 55 % de SiO_2 à l'analyse.

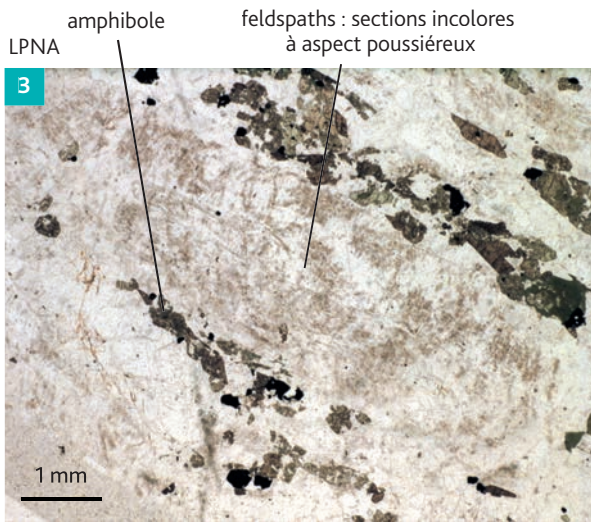
Gisements

Le quartz est un minéral très fréquent dans les **roches magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires**. Il caractérise les roches magmatiques saturées en silice (granites, rhyolites...). Dans les roches métamorphiques, du fait de sa stabilité sur un large domaine de pression et de température, il peut constituer des minéraux initiaux ou résulter de recristallisations à partir de silice libérée par d'autres réactions. Peu altérable, il est aussi abondant dans les roches sédimentaires détritiques (grès siliceux).

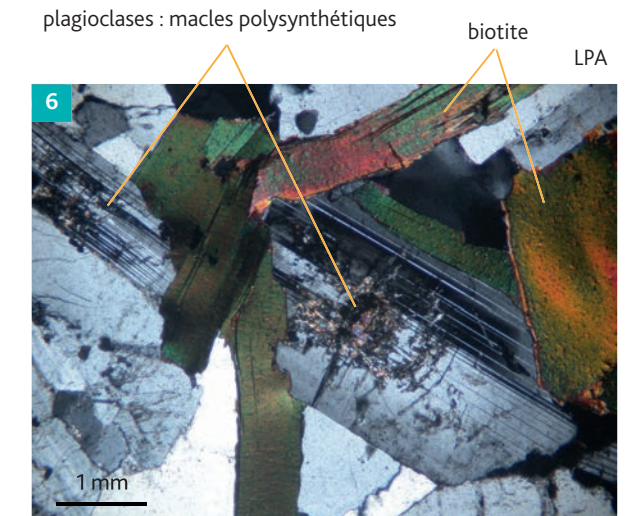
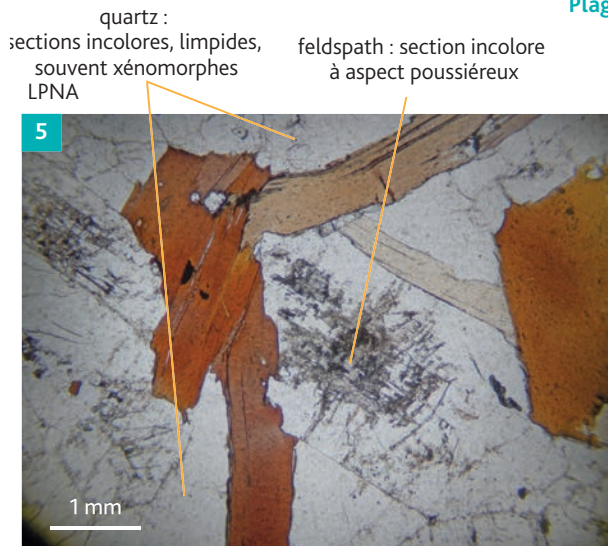
Feldspaths dans des granites



Feldspaths potassiques



Plagioclases



Caractères généraux

Les feldspaths correspondent à un ensemble de minéraux formant deux séries entre trois pôles majeurs qui sont : $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$ et $CaAl_2Si_2O_8$. Ces trois pôles sont respectivement représentés par l'**orthose** ou la **sanidine** (feldspath potassique des roches volcaniques), l'**albite** et l'**anorthite**. La série entre les pôles potassique et sodique définit les **feldspaths alcalins**, la série entre les pôles sodique et calcique, les **plagioclases**. Toutes les compositions existent entre albite et anorthite, les plagioclases constituant un bon exemple de système binaire à solution solide. On peut ainsi définir un plagioclase par sa teneur en constituant anorthitique, notée **An** : An0 désigne l'albite, An100, l'anorthite. An > 50 qualifie un plagioclase plus proche de la composition de l'anorthite que de celle de l'albite.

Caractères macroscopiques

Les feldspaths sont des **minéraux clairs** (photo 1). Ils apparaissent fréquemment en cristaux automorphes de **couleur blanche**. Les feldspaths alcalins de type orthose peuvent être **roses** alors que les plagioclases prennent parfois des teintes verdâtres lorsqu'ils sont altérés. L'éclat des feldspaths est plus ou moins vitreux et leur dureté est de 6 ; **ils rayent donc l'acier**. Ils montrent par ailleurs des plans de clivage reconnaissables par leur éclat.

Les feldspaths alcalins de type orthose ou sanidine (feldspath alcalin des roches volcaniques) sont souvent caractérisés par une **macle de Carlsbad**, repérée par l'éclat différent des deux cristaux associés (photo 2).

Caractères microscopiques

- En **LPNA** (photos 3 et 5), les feldspaths sont **incolores** et leur relief est **faible**. Ils présentent souvent un aspect **poussiéreux** ou moucheté qui traduit leur altérabilité.
- En **LPA** (photos 4 et 6), les feldspaths présentent toujours une **biréfringence faible** donnant des teintes ne dépassant pas les gris clairs à blancs. Les feldspaths alcalins de type orthose peuvent montrer des **macles de Carlsbad** associant deux cristaux (photo 4). Les plagioclases s'identifient à leurs **macles polysynthétiques** (photo 6), formées de cristaux répétés et à l'origine de l'aspect typique en rayures. Les **cristaux de plagioclases** sont parfois **zonés**.

Enseignements complémentaires

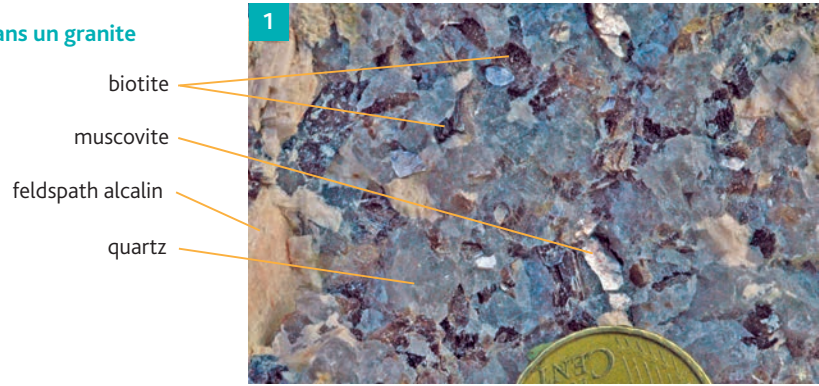
Particularités

- La **position de l'albite** : les feldspaths alcalins sont les feldspaths renfermant les éléments alcalins sodium ou potassium. L'albite, pôle sodique, appartient ainsi à la série des feldspaths alcalins et à la série des plagioclases. Dès que la composition s'écarte du pôle sodique vers le pôle calcique, les feldspaths se rattachent exclusivement à la série des plagioclases.
- Les **perthites** : dans certains granites, il est possible que les cristaux d'orthose montrent en LPA des plages parallèles, repérables à leur relief légèrement différent. Toutes ces plages présentent une même teinte de polarisation, différente de celle du cristal-hôte, car elles sont constituées par l'albite et sont incluses dans l'orthose. Ces associations d'albite et de feldspath potassique sont des **perthites** (voir fiche 19, photo 5).

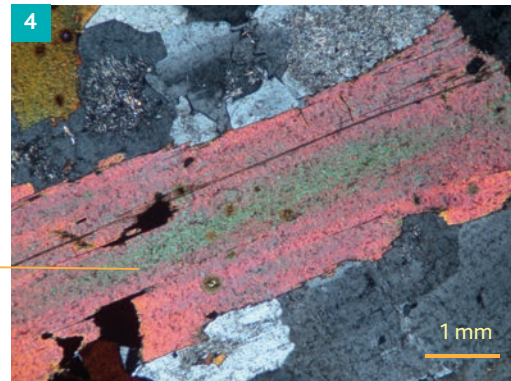
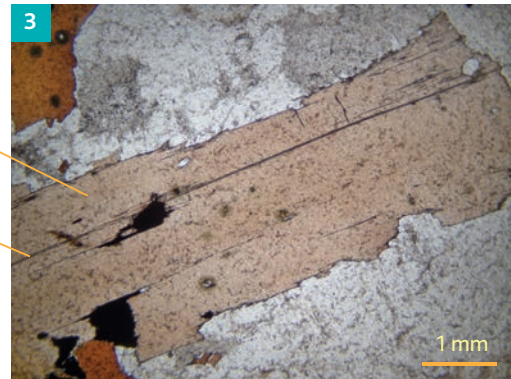
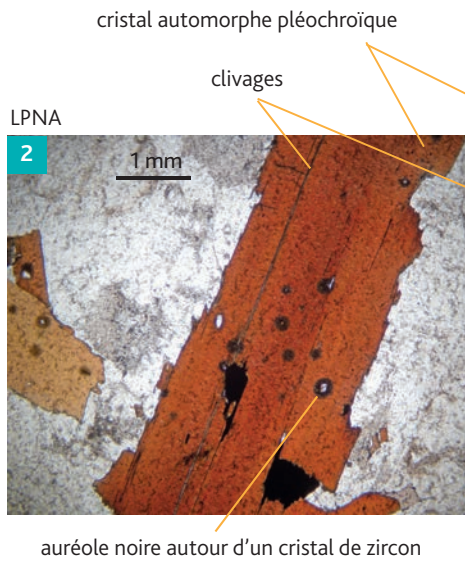
Gisements

Les feldspaths sont des minéraux présents dans presque toutes les roches magmatiques : les **plagioclases proches du pôle calcique** (anorthite) se rencontrent dans les roches basiques de type basalte ou gabbro. Les faciès plus différenciés (diorite, andésite...) renferment des plagioclases de composition intermédiaire entre pôles calcique et sodique. Les **feldspaths potassiques** (orthose et sanidine) sont abondants dans les granites ou dans les rhyolites où ils peuvent être accompagnés de plagioclases de type albite.

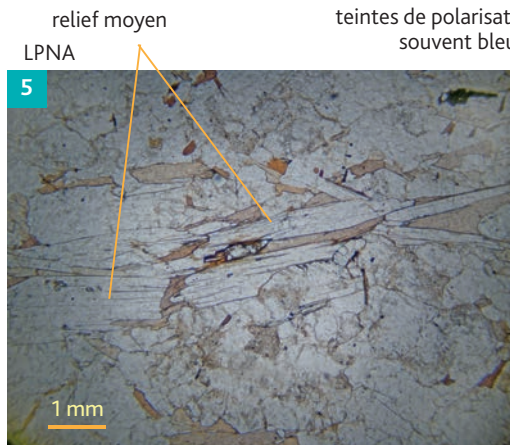
Biotite et muscovite dans un granite



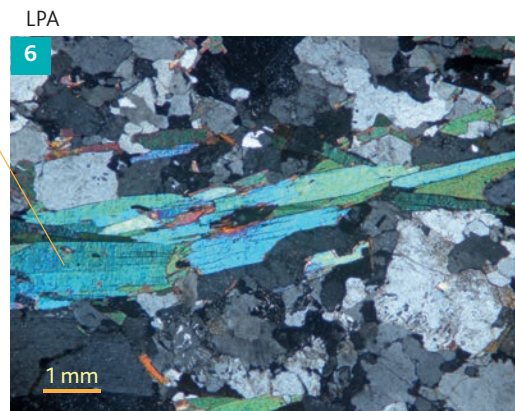
Biotite dans un granite



Muscovite dans un micaschiste



teintes de polarisation vives, souvent bleues



Caractères généraux

Les micas constituent une famille de minéraux silicatés formés de feuillets à 3 couches (2 tétraédriques et une octaédrique) unis par des cations dits « interfoliaires ». La nature des cations des couches octaédriques conduit à distinguer :

- des micas noirs ferromagnésiens, trioctaédriques (avec 3 cations Fe^{2+} ou Mg^{2+}), dont la biotite ;
- des micas blancs alumineux, dioctaédriques (avec 2 cations Al^{3+}), dont la muscovite.

L'une de leurs caractéristiques communes est de contenir des ions OH^- : ce sont des minéraux hydroxylés.

Caractères macroscopiques

Les micas ont un aspect nacré, un éclat brillant, souvent métallique. La **biotite** (photo 1) apparaît sous forme de paillettes d'un noir brillant alors que la muscovite (photo 1) constitue des cristaux transparents à reflets argentés. La **muscovite** peut se développer en cristaux de grande taille qui se débitent alors aisément en lamelles transparentes, résultant d'un clivage parfait entre les feuillets.

Caractères microscopiques

- En LPNA (photos 2 et 3), la biotite apparaît sous forme de cristaux allongés automorphes, de couleur brune et montrant un fort pléochroïsme dans les bruns sombres ou les bruns verdâtres. Le relief est moyen. Les cristaux bruns peuvent présenter des traces d'altération sous forme de plages d'un vert plus pâle et d'un relief moindre, correspondant au développement de chlorite. La muscovite (photo 5) est incolore ; elle forme des cristaux allongés automorphes de relief moyen qui ne présentent pas de traces d'altération. Les sections allongées de biotite (photos 2 et 3) et de muscovite portent généralement la trace d'un clivage net.
- En LPA (photo 4), la biréfringence de la biotite est élevée mais les teintes de polarisation sont plus ou moins masquées par la teinte propre du minéral. Les cristaux peuvent présenter des teintes légèrement chatoyantes, plus ou moins irisées (aspect moiré des cristaux, photo 4). L'altération en chlorite se traduit par une diminution de la biréfringence. La biréfringence de la muscovite est élevée (photo 6), avec des teintes vives, souvent dans les bleus, et un aspect moiré. L'extinction est droite, se produisant lorsque le clivage est contenu dans le plan de polarisation de la lumière.

Enseignements complémentaires

Particularités

Les **inclusions de zircon** (photo 2) : Les cristaux de biotite sont souvent riches en petites inclusions de zircon (silicate de zirconium). Ce minéral contient de l'uranium dont la désintégration radioactive est à l'origine d'auroles noires (souvent appelées **halos pléochroïques**) affectant la biotite.

Gisements

La **biotite** est un minéral très commun des roches **magmatiques et métamorphiques**. Elle s'observe surtout dans les roches **magmatiques** différenciées (granites) et intermédiaires (granodiorites, trachytes). Elle est très abondante dans les roches **métamorphiques de type micaschistes ou gneiss**, roches se rattachant à la séquence argileuse (roche initiale : argilite) ou arénacée (roche initiale : grès argileux).

Du fait de sa composition alumineuse, la **muscovite** est fréquente dans certains **granites** riches en aluminium. Elle peut y être le seul mica ou se trouver associée à la biotite. Elle accompagne celle-ci dans les **roches métamorphiques** issues d'argilites ou de grès argileux comme les micaschistes et les gneiss. Peu altérable, la muscovite peut aussi se rencontrer dans les **roches sédimentaires détritiques**.