

J.-F. Beaux

J.-F. Fogelgesang | P. Agard | V. Boutin

l'intégrale

GÉOLOGIE PÉTROLOGIE

BCPST 1 ET 2

MÉMO VISUEL

DUNOD

En couverture, illustrations des auteurs : vue générale d'un affleurement de flysch (gauche) ;
péridotite en LPA (milieu) ; calcaire oolithique en LPNA (droite).

Direction et conception graphiques de la couverture : Nicolas Wiel - Elizabeth Riba (graphiste)

Maquette intérieure : Yves Tremblay

Retrouvez nos ouvrages pour les prépas scientifiques ici



<http://dunod.link/prepassc>

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70% de nos livres en France et 25% en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

© Dunod, 2011, 2015, 2019, 2024

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-086461-4

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.

Avant-propos

Ce mémo visuel de géologie 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, fondées 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.

La construction de l'ouvrage s'organise ainsi selon le **découpage proposé dans le programme**, dont on retrouvera les différentes parties. Le contenu des fiches vise ensuite à servir une ou plusieurs **des capacités associées aux différentes parties du programme**. Toutes les capacités sont recensées au verso de la couverture en début et fin d'ouvrage, où elles sont repérées par un chiffre, rappelé dans chaque titre de fiche. Chaque fiche est ainsi clairement identifiée dans ses apports à la fois au plan des connaissances et au plan des compétences.

Cette construction autorise **une exploitation aisée de l'ouvrage** tout au long de l'année en suivi et en complément efficaces des cours reçus.

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. Elles permettent notamment de mieux apprécier les relations entre compositions minéralogique et chimique des matériaux ou de compléter au plan microscopique l'étude de processus abordés à d'autres échelles (déformations, métamorphisme, ordre de cristallisation...) ;
- **un texte explicatif** qui associe une présentation des objets étudiés à des enseignements complémentaires, donnant du sens et développant la réflexion sur les observations réalisées. Outre leur mise en relation avec des capacités exigibles clairement identifiées, les fiches peuvent ainsi présenter d'autres **aspects pétrologiques** intégrés dans la construction de **démarches exigibles**, comme la reconstitution de l'**histoire** des roches et des phénomènes géologiques qui les ont affectées (conditions de dépôts, de cristallisation, de déformations...).

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

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
Classer les roches et identifier les principaux minéraux	
01 Analyse macroscopique raisonnée des roches	6
02 Analyse en lame mince : confection d'une lame	8
03 Analyse en lame mince : le microscope polarisant	10
04 Classer les roches magmatiques et mantelliques	12
05 Identifier et classer les roches mantelliques : les péridotites	14
06 Classer les roches magmatiques : textures et couleur	16
07 Classer les roches sédimentaires (I)	18
08 Classer les roches sédimentaires (II)	20
09 Caractériser les roches métamorphiques	22
10 Diversité des minéraux	24
11 Identifier des minéraux : le quartz	26
12 Identifier des minéraux : les feldspaths	28
13 Identifier des minéraux : les micas	30
14 Identifier des minéraux : les amphiboles	32
15 Identifier des minéraux : les pyroxènes	34
16 Identifier des minéraux : les olivines	36
17 Identifier des minéraux : la calcite et la chlorite	38
Les déformations de la lithosphère	
18 Déformations et contraintes	40
19 La déformation fragile : stries, écailles, crochons	42
20 La déformation fragile : fentes et stylolithes	44
21 La déformation ductile : les plis	46
22 Définir la fabrique : schistosités, foliations, linéations	48
23 Analyser des microstructures : le cisaillement	50
Le phénomène sédimentaire	
Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface	
24 Modelés des paysages et phénomènes d'altération	52
La sédimentation des particules	
25 Identifier des roches sédimentaires détritiques : les conglomérats (brèches et poudingues)	54
26 Identifier des roches sédimentaires détritiques : les grès	56
27 Identifier des roches sédimentaires détritiques : les marnes et les argilites	58
28 Analyser des structures sédimentaires détritiques : litages et stratifications	60
29 Analyser des structures sédimentaires détritiques : les rides	62
30 Structures des flyschs et dynamique de mise en place	64
La sédimentation des solutés	
31 Identifier des roches sédimentaires carbonatées : les calcaires coquilliers	66
32 Identifier des roches sédimentaires carbonatées : les calcaires oolitiques et les calcaires à nummulites	68
33 Identifier des roches sédimentaires carbonatées : les calcaires construits (boundstones)	70
34 La sédimentation pélagique carbonatée	72

35	Profil d'une plate-forme carbonatée et hydrodynamisme	74
36	Identifier des roches évaporitiques : le gypse, la halite et la sylvite	76

Le magmatisme

La mise en place des magmas

37	Compositions minéralogique et chimique : les basaltes	78
38	Compositions minéralogique et chimique : les gabbros	80
39	Compositions minéralogique et chimique : les andésites	82
40	Compositions minéralogique et chimique : les diorites et les granodiorites	84
41	Compositions minéralogique et chimique : les trachytes	86
42	Compositions minéralogique et chimique : les rhyolites	88
43	Compositions minéralogique et chimique : les granites	90
44	Fonctionnement d'une chambre magmatique	92
45	Chronologie relative dans les roches magmatiques	94

L'évolution des liquides

46	Ordre de cristallisation et évolution des liquides	96
47	Zonations cristallines et évolution des liquides	98
48	Évolution des liquides et séries magmatiques	100
49	Évolution des liquides : cristallisation fractionnée et mélanges magmatiques	102

Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne

Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température

50	Identifier des minéraux : les silicates d'alumine (andalousite, sillimanite)	104
51	Identifier des minéraux : les silicates d'alumine (disthène) et la staurotide	106
52	Identifier des minéraux : les épidotes et les grenats	108
53	Identifier des roches métamorphiques : les micaschistes	110
54	Identifier des roches métamorphiques : les gneiss	112
55	Identifier les roches métamorphiques : les amphibolites	114
56	Identifier des roches métamorphiques : les séricitoschistes et les schistes verts	116
57	Identifier des roches métamorphiques : les schistes bleus	118
58	Identifier des roches métamorphiques : les éclogites	120
59	Identifier des roches métamorphiques : les cornéennes et les marbres	122
60	Anatexie crustale et migmatites	124
61	Relations entre déformations et recristallisation	126

La distribution spatiale des roches métamorphiques et les variations temporelles des associations minéralogiques

62	Détermination d'un gradient métamorphique : exemple des métapélites	128
63	Détermination d'un gradient métamorphique : exemple des metabasites	130
64	Chemin P, T, t dans une metabasite	132
65	Chemin P, T, t dans une quartzite à coésite	134

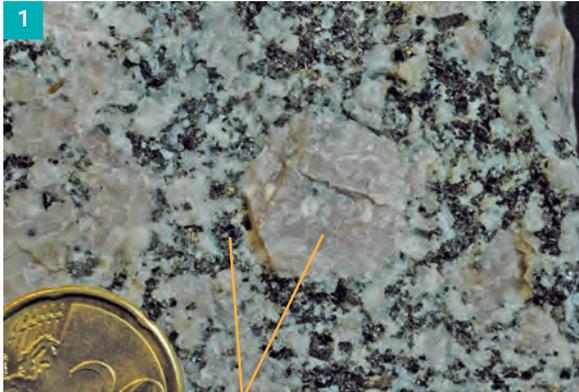
Les risques et les ressources géologiques

66	Ressources : construction et énergie	136
67	Ressources : minéraux industriels et métaux	138

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

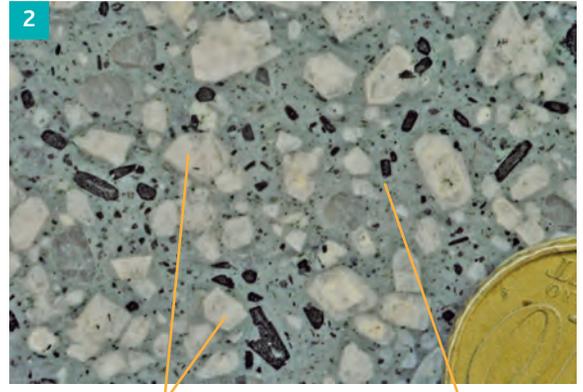
Index	142
--------------	-----

Texture grenue d'un granite



phénocristaux

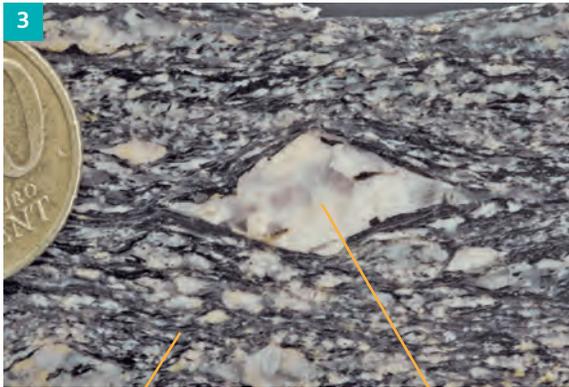
Texture microlitique d'une rhyolite



phénocristaux

pâte contenant les microlites

Texture foliée d'un micaschiste



lit de mica noir exprimant la foliation

œil de quartz

Texture litée d'une brèche



lits bréchiques

lit gréseux

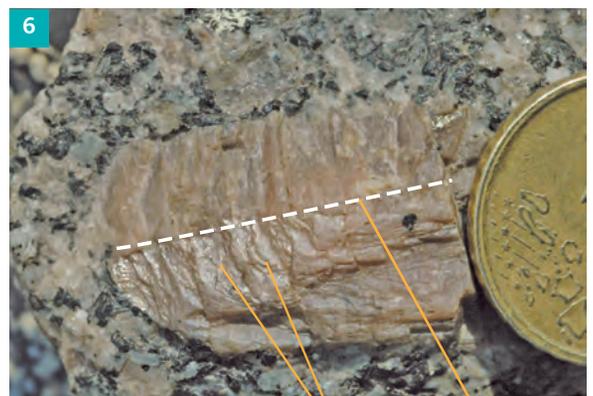
Fossiles (bivalves) dans un calcaire



matrice carbonatée

section de valve

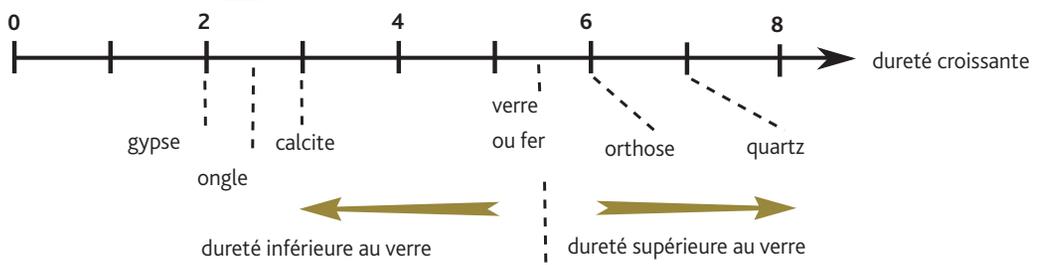
Macle et clivages de l'orthose



plans de clivage

plan de macle

7 Échelle de dureté relative de Mohs



Cette analyse n'est pas qu'un simple exercice d'observation et de description qui se pratique à l'œil nu et à l'aide d'une loupe à main. Elle doit aboutir à une diagnose raisonnée de l'échantillon proposé (type de roche et nom) et permettre, autant que possible, de développer une discussion sur les processus qui ont présidé à la genèse de la roche, de la resituer dans ses gisements et leur contexte géodynamique.

Déterminer le type de roche

La distinction entre roches magmatiques (plutoniques ou volcaniques) ou mantelliennes, roches sédimentaires (détritiques ou non) et roches métamorphiques ([clé de détermination I](#), page 140) repose sur divers critères dont :

- la **texture** ou structure de l'échantillon : texture **grenue** (cristaux jointifs et non orientés, [photo 1](#)) des roches magmatiques plutoniques ou mantelliennes (voire de certaines roches métamorphiques), texture **microlitique** (cristaux noyés dans une pâte, [photo 2](#)) des roches magmatiques volcaniques, texture **foliée** (cristaux jointifs et orientés, distribués en lits, [photo 3](#)) des roches métamorphiques, texture **litée** (éléments en lits mais non ou peu orientés, [photo 4](#)) de certaines roches sédimentaires ;
- la présence de **fossiles** ([photo 5](#)) au sein des roches sédimentaires biogènes ;
- une **chimie** singulière révélée par des tests spécifiques : l'effervescence à l'acide chlorhydrique dilué traduit par exemple la présence de carbonate ;
- des propriétés physiques particulières, l'une des plus étudiées étant la dureté. Celle-ci est estimée sur une échelle relative, ou échelle de Mohs ([figure 7](#)) ;
- une **minéralogie** spécifique : les roches métamorphiques expriment assez généralement des minéraux qui leur sont propres (grenat, amphibole sodique ou glaucophane, andalousite, disthène...).

C'est souvent l'association de plusieurs critères qui permet de déterminer le type de roche.

Nommer la roche

Dans le cas des roches magmatiques, mantelliennes et métamorphiques ([clés de détermination II et IV](#), pages 140 et 141), c'est l'identification des minéraux présents qui permet en général d'aboutir au nom. L'identification fait appel à :

- la couleur, l'éclat (métallique ou non), l'aspect (translucide, vitreux par exemple) ;
- la **dureté** ([figure 7](#)) qui doit être testée pour chaque phase minéralogique, donc à l'aide de la pointe d'un clou ou d'une aiguille et non de la lame de verre ;
- le mode de fracturation : cassures quelconques ou selon des plans dit de **clivage** ([photo 6](#)) ;
- l'association éventuelle de cristaux de même espèce définissant des **macles** ([photo 6](#)).

Pour les laves pauvres en minéraux, elle est complétée par la couleur de la pâte en cassure fraîche.

Dans le cas des roches sédimentaires et de certaines roches métamorphiques ([clés de détermination III et IV](#), page 141), la détermination des éléments constitutifs (fossiles, matrice, ciment, minéraux...), les tests de dureté et à l'acide chlorhydrique dilué, l'identification d'éventuels plans de rupture distincts des plans de stratification ou plans de schistosité, l'aspect terne ou brillant sont autant de critères à mettre en œuvre.

Retracer son histoire et la replacer dans le cadre plus général du gisement

Dans le cadre général du programme, il est attendu par exemple de faire le lien entre (1) texture des roches magmatiques et conditions de refroidissement soit profondeur de mise en place, et, dans certains cas, ordre de cristallisation, (2) texture des roches métamorphiques et géométrie de la déformation, minéralogie, faciès métamorphique et reconstitution des conditions (P,T) en lien parfois avec un contexte géodynamique donné, (3) faciès des roches sédimentaires, nature de l'environnement et conditions de la sédimentation (milieu aérien ou aquatique, caractères hydrodynamiques du milieu, conditions du transport...).

Étape 1 : sciage et obtention d'un talon



disque
diamanté

Exemple de talon

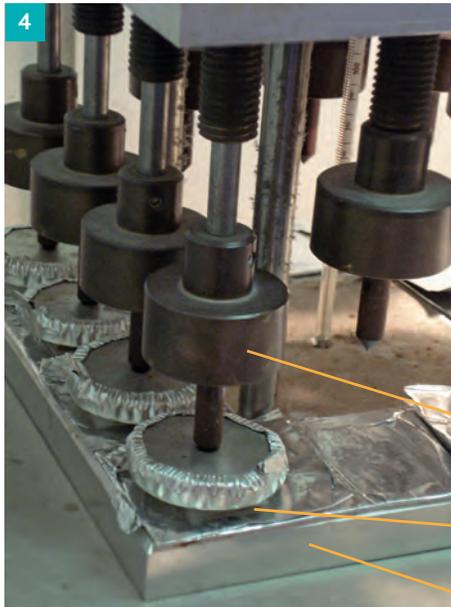


Étape 2 : surfacage d'une des faces du talon sur rodeuse



disque tournant

Étape 3 : collage du talon sur une lame porte-objet et mise sous presse



distributeur de
poudre abrasive
en suspension
dans l'eau

système de
presse et de
raccord à la
pompe à vide

portoir des talons
et des lames
porte-objets

dispositif
de presse

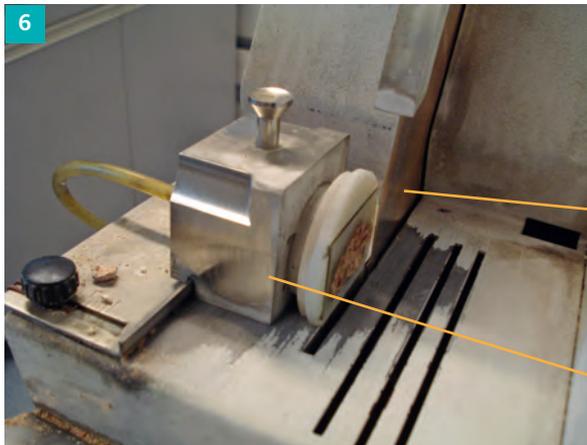
emplacement
d'une lame

table chauffante

Talon collé sur une lame porte-objet



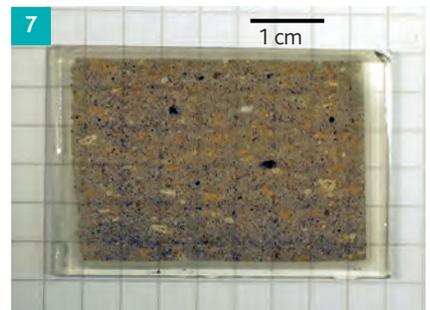
Étape 4 : sciage d'arusement



disque
diamanté

dispositif
de maintien
de la lame
par aspiration

Lame mince finale



L'observation microscopique d'un fragment de roche suppose de réaliser au préalable une section de très faible épaisseur (30 μm), ou **lame mince**, pour permettre à la lumière de traverser la plupart des minéraux qui ne sont pas translucides. La réalisation de cette lame comporte 5 étapes et est réalisée par un lithopréparateur.

1. Confection d'un talon de roche par sciage

Il est obtenu par sciage de l'échantillon au moyen d'une scie à lame diamantée, selon deux plans parallèles équidistants de 1 à 2 cm en fonction de la rigidité de la roche (photo 1). La plaque de roche obtenue est alors redécoupée en un parallépipède rectangle de 3,5 \times 2,5 cm environ car elle sera à terme collée sur une lame de verre de 4,5 \times 3 cm. Cette plaque constitue le **talon** ou sucre en raison de son gabarit (photo 2). Certains échantillons sont parfois très peu cohérents, du fait d'éléments mal cimentés, ou présentent une texture vacuolaire : ils sont alors l'objet d'un traitement préalable d'imprégnation à la résine, destiné à garantir leur maintien lors des étapes ultérieures.

2. Surfaçage et rectification d'une des faces du talon

Une des deux faces majeures du talon est tout d'abord poncée sur une meule ou lapidaire puis usée sur une rodeuse (photo 3) à l'aide d'une poudre abrasive très fine, à base de carbure de silicium (grains de 250 μm) en suspension dans de l'eau, de manière à gommer toute irrégularité de la surface destinée à être collée sur la lame porte-objet. Le talon est maintenu sur le portoir par aspiration, ce dernier pouvant contenir 6 talons en général.

3. Collage du talon sur la lame porte-objet

Le talon est alors nettoyé, séché, puis collé à chaud par ajout d'une résine mélangée à son durcisseur (type Araldite) sur une lame de verre porte-objet. Cette dernière a elle-même été rodée (dépolie) au préalable pour être parfaitement plane et d'épaisseur constante. Le chauffage, de l'ordre de 80 °C durant 1 heure, se déroule sous presse (photo 4) et permet à la résine de polymériser, ce qui assurera une parfaite adhérence du talon sur le verre. La lame est gravée sur un des bords à ce stade pour pouvoir être identifiée.

4. Arasage et façonnage final par rodage

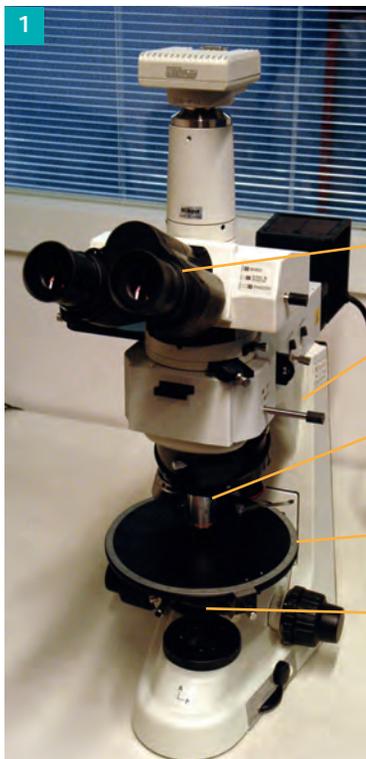
L'ébauche de lame (photo 5) est fixée par aspiration sur un portoir puis le talon est scié ou arasé, toujours à l'aide d'une scie à lame diamantée, de manière à ne lui conserver qu'un ou deux dixièmes de millimètre d'épaisseur (100 à 200 μm) (photo 6). La nouvelle face obtenue est alors usée sur la rodeuse précédente (photo 3) à l'aide d'une succession de poudres abrasives de plus en plus fines (de 250 à 5 μm) lorsque décroît l'épaisseur de la roche restante.

L'épaisseur finale requise est de **30 μm** . Le respect de cette épaisseur est essentiel puisque les teintes de polarisation dépendent des différences de propagation des radiations lumineuses suite à leur trajet au sein du cristal. Dans un cristal anisotrope, les vitesses de propagation diffèrent selon les directions : le décalage dans le temps des radiations à la sortie du cristal dépend ainsi de la section mais aussi de l'épaisseur traversée. L'épaisseur est contrôlée au microscope polarisant sur les minéraux les plus fréquents et les plus aisés à identifier, comme le quartz ou les plagioclases. À la bonne épaisseur, leurs teintes de polarisation se déclinent dans toute la gamme des gris depuis le blanc jusqu'au noir (fiche 3) ; si la lame est trop épaisse, ces sections présentent des teintes jaunâtres (voire même plus vives !) en lumière polarisée analysée (LPA).

5. Les dernières étapes

En règle générale, après nettoyage et séchage de la lame mince, une lamelle de verre est collée au-dessus au moyen d'une résine, ce qui protège la fine section de l'échantillon (photo 7).

Si la lame est destinée à des analyses géochimiques des minéraux effectuées à la microsonde, elle n'est pas recouverte d'une lamelle. Sa surface est polie à l'aide de feutres et de pâtes diamantées très fines (de 1 à 3 μm) puis métallisée, c'est-à-dire recouverte selon les cas d'une très fine couche de carbone ou d'or.

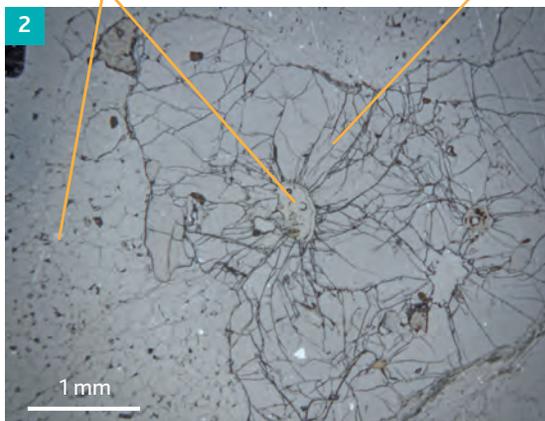


Le microscope polarisant

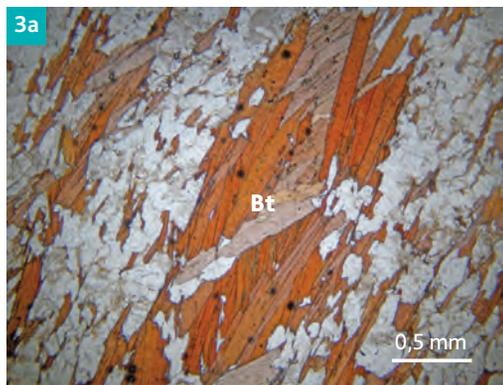
- 1 oculaire
- 2 analyseur escamotable
- 3 objectif
- 4 platine tournante
- 5 polariseur

Le relief des minéraux en LPNA

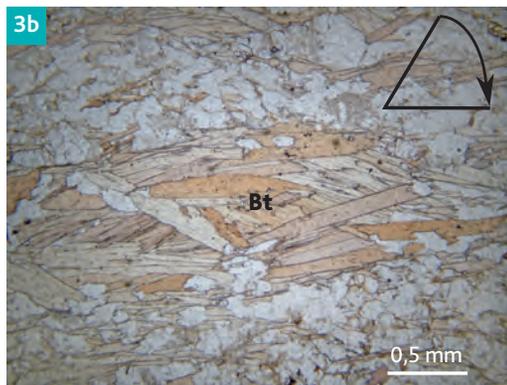
minéral de faible relief minéral de fort relief



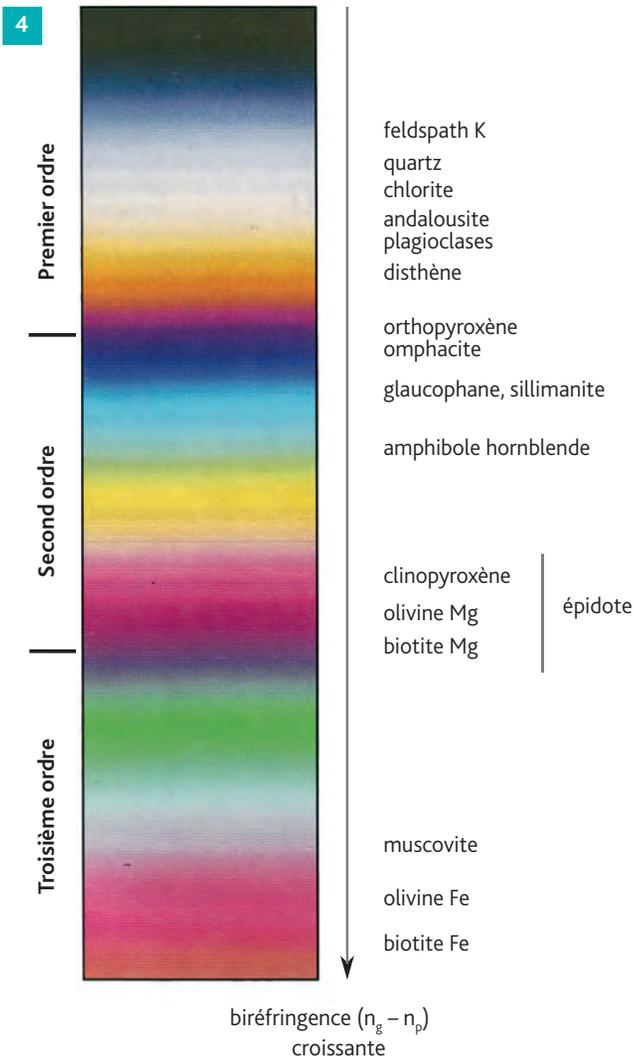
Pléochroïsme en LPNA



changement de couleur des minéraux (ici de la biotite - Bt) lors de la rotation de la platine



Les teintes de polarisation en LPA



Le principe du microscope polarisant

Le microscope polarisant (photo 1) est l'instrument qui permet l'analyse des lames minces de roches d'épaisseur conventionnelle de 30 micromètres (voir fiche 2). Il diffère du microscope de biologie par la présence d'une **platine circulaire mobile** et d'un double système de polarisation de la lumière constitué d'une plaque polaroïd sous la platine, nommée **polariseur**, et d'une autre amovible, entre objectif et oculaire, nommée **analyseur**. Ces deux plaques sont montées orthogonalement. Polariseur et analyseur sont dits **croisés** : en l'absence de toute lame sur la platine, aucune lumière ne parvient à l'oculaire lorsque l'analyseur est en place.

L'observation en lumière polarisée non analysée (LPNA)

Cette observation, encore appelée « lumière naturelle », permet de repérer la **forme**, le **relief** (lorsque l'indice de réfraction du minéral est nettement plus élevé que celui du milieu de montage, photo 2), les **clivages** et la **couleur naturelle** de certains minéraux. En effet les minéraux sombres à l'œil nu conservent en lame mince un reste de couleur et, pour certains (biotite, glaucophane...), cette couleur change lors de la rotation de la platine en raison d'une absorption différente de la lumière polarisée selon leur orientation ; c'est le phénomène de **pléochroïsme** (photos 3a et 3b).

L'observation en lumière polarisée analysée (LPA)

L'observation en **lumière polarisée analysée** (LPA) est conduite lorsque l'analyseur est en place. Les minéraux présentent alors des **teintes de polarisation** permettant leur identification.

Ces teintes résultent de la propagation des vibrations lumineuses lors de la traversée d'un cristal. Celui-ci constitue généralement un milieu anisotrope, chaque section présentant un indice de réfraction minimal n_p et un indice maximal n_g orthogonal au précédent. Lorsque la lumière polarisée, qui vibre donc dans un seul plan, pénètre dans le cristal, elle donne naissance à deux vibrations de même amplitude mais qui se propagent à des vitesses différentes selon les deux indices de réfraction. Les deux vibrations ressortent déphasées ; elles traversent l'analyseur, ce qui conduit à la disparition de certaines longueurs d'onde et à une résultante qui définit la teinte de polarisation (figure 4). Pour une épaisseur de lame donnée, cette teinte est fonction de la **différence** ($n_g - n_p$) appelée **biréfringence** de la section. Elle dépend de l'orientation de la plage traversée par rapport au système cristallin du minéral. Pour une plage donnée, la biréfringence varie avec la rotation de la platine, présentant quatre maxima d'intensité ainsi que quatre positions d'extinction.

La gamme de couleurs pour des lames minces de 30 μm d'épaisseur comporte divers ordres indiqués sur la figure 4, avec les teintes de polarisation des principaux minéraux étudiés dans l'ouvrage.

La signification des plages noires. Certaines plages peuvent apparaître constamment noires, quelle que soit la position de la platine. Si ces plages sont noires en LPNA et en LPA, il s'agit de minéraux opaques. Ceux-ci sont le plus fréquemment des oxydes de fer (magnétite) ou de fer-titane (titanomagnétite). Si les plages sont claires en LPNA et constamment noires en LPA, il s'agit de milieux isotropes aux indices de réfraction constants quelles que soient les orientations. La biréfringence est alors nulle et l'analyseur orthogonal au polariseur arrête tout rayon. C'est le cas des minéraux qui cristallisent dans le système cubique, à l'exemple du grenat, ou de matériaux non cristallisés comme le verre.

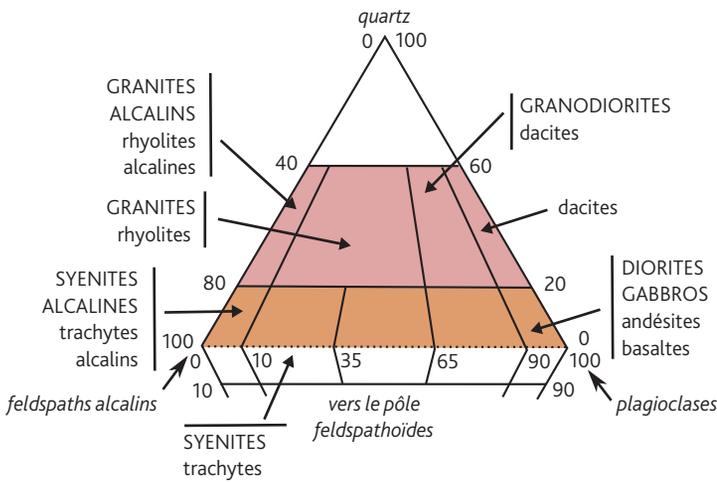
La signification des teintes de polarisation. Dans une lame mince, il est courant d'observer de très nombreux cristaux d'un même minéral. Ceux-ci peuvent avoir des teintes de polarisation très diverses, selon la valeur de la biréfringence des différentes sections. Les ouvrages et la figure 4 indiquent pour un minéral les teintes de polarisation maximales obtenues pour les sections ayant la plus grande biréfringence. Il convient donc de rechercher dans une lame ces sections les plus caractéristiques pour identifier le minéral puis, en utilisant tous les autres caractères (en LPNA et en LPA), étendre l'identification aux autres sections.

1 Critères de classification des roches magmatiques

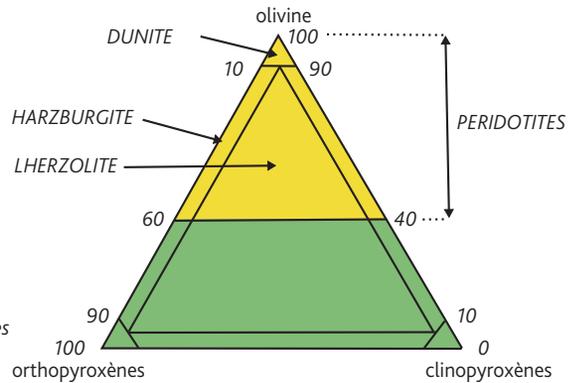
ROCHES MAGMATIQUES			quartz	← sans quartz →	
			← feldspaths →		
indice de coloration	nature des feldspaths	variations chimiques			feldspathoïdes
minéraux sombres < minéraux blancs (0 - 35 %)	feldspaths alcalins dominants	Si, Na, K Mg, Fe, Ca	GRANITE	(SYENITE)	roches sous-saturées en silice (non envisagées ici)
			rhyolite	trachyte	
minéraux sombres = minéraux blancs (35 - 65 %)	plagioclases sodiques An < 50		GRANO-DIORITE	DIORITE (MONZONITE)	
	plagioclases dominants		dacite	andésite	
minéraux sombres > minéraux blancs (65 - 95 %)	An > 50 plagioclases calciques			GABBRO	
				basalte	

2 Classification modale de Streckeisen

Les roches plutoniques sont en majuscules, leurs équivalents volcaniques en minuscules. Seules les roches mentionnées dans l'ouvrage sont indiquées.



3 Classification des roches ultrabasiques



4 Composition minéralogique des roches et classification

