

ROCHES ET MINÉRAUX

DÉFINITION

LES ROCHES constituent la croûte terrestre. Ce sont des corps hétérogènes, dont la composition est variable. Mais les roches sont en fait des agrégats de grains homogènes, de composition constante, qui sont les minéraux. Les minéraux sont des corps purs, cristallisés, qui ont des propriétés physiques et chimiques particulières.

MATIÈRE CRISTALLISÉE

À L'ÉCHELLE infiniment petite, la matière est constituée par un empilement d'atomes. L'état cristallin est caractérisé par une répartition périodique de ces atomes dans l'espace. À partir d'un atome quelconque d'un cristal, on obtient une maille élémentaire en le reliant aux atomes les plus proches. La répétition de cette maille élémentaire dans l'espace donne le réseau cristallin. À cause de la périodicité, le réseau cristallin a des propriétés particulières : les atomes y sont disposés d'une manière régulière dans des séries de plans parallèles et équidistants qui font entre eux des angles constants. Des propriétés de symétrie relient ces plans entre

eux. Mais l'arrangement des atomes est généralement différent selon les trois dimensions de l'espace, ce qui fait que la matière cristallisée n'a pas les mêmes propriétés dans toutes les directions : on dit qu'elle est *anisotrope*.

C'est la forme de la maille élémentaire (distance des atomes, angles des faces) qui détermine les propriétés de symétrie du réseau cristallin. On peut ainsi définir sept systèmes cristallins, caractérisés par des propriétés de symétrie particulières.

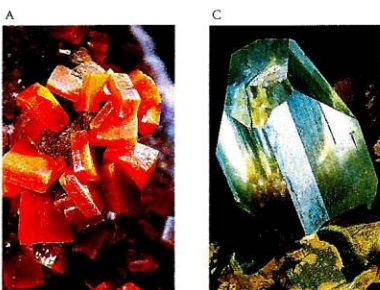
IDENTIFICATION DES MINÉRAUX

L'IDENTIFICATION d'un minéral s'apparente en quelque sorte à un travail de détective : il faut réunir le plus d'informations possible sur ses propriétés physiques et chimiques de manière à pouvoir le caractériser.

Certains propriétés sont faciles à apprécier : la forme, l'éclat (gris, métallique, vitreux), la dureté (que l'on étalonne de 1 à 10, grâce à l'utilisation de l'échelle de Mohs).

Des cristaux d'une même espèce sont souvent accolés suivant des plans particuliers, donnant des *macles* dont la forme est toujours caractéristique d'une espèce. La disposition des plans de faiblesse des minéraux, qu'on appelle *clivages*, est liée à la structure cristalline.

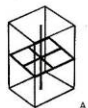
Mais il est toujours indispensable de recourir aux études de laboratoire pour compléter l'identification. Les propriétés optiques, c'est-à-dire la manière dont la lumière se propage à travers le cristal, sont déterminées au microscope polarisant. La diffraction des rayons X par un cristal permet de déterminer son réseau. Enfin, de nombreuses méthodes permettent de définir la composition chimique.



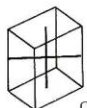
A. Système cristallin quadratique : cristaux de wulfénite provenant de l'État de Chihuahua (Mexique).



C. Système cristallin orthorhombique : cristal de topaze provenant de Sibérie (U. R. S. S.).



A quadratique



C orthorhombique



B. Système cristallin hexagonal : émeraude provenant de Colombie.



B hexagonal

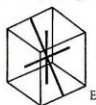


D. Système cristallin rhomboédrique : cristaux de rhodochrosite provenant du Colorado (États-Unis).



D rhomboédrique

E. Système cristallin cubique : cristaux de fluorite provenant des Asturies (Espagne).



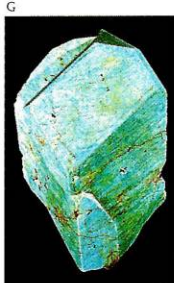
E cubique



F. Système cristallin monoclinique : cristal d'azurite provenant du Mexique.



F monoclinique



G. Système cristallin triclinique : cristal d'amazonite provenant du Colorado (États-Unis).



G triclinique



H

H - grenat



I

I - grenat



J

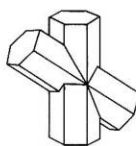
J - magnétite



K

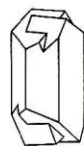
K - cuprite

H, I, J, K. Exemples de formes cristallines dans le système cubique, dérivant du cube par tronçatures des sommets.



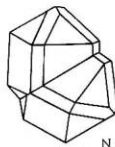
L stauroidite

L. Macle dite de Saint-André, caractéristique de la stauroidite

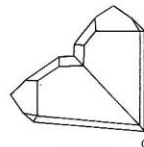


M orthose

M. Macle dite de Carlsbad, caractéristique de l'orthose



N cassitérite



O quartz

L, M, N, O. Exemples de macles dans lesquelles deux cristaux sont accolés.



P quartz



Q améthyste

P, Q. La couleur d'une espèce minérale peut varier et n'est donc pas caractéristique. Le quartz, généralement incolore, est teinté de violet dans la variété améthyste.

Échelle de dureté de Mohs

- | | |
|------------|--------------------------|
| 1 talc | } sont rayés par l'ongle |
| 2 gypse | |
| 3 calcite | |
| 4 fluorine | } rayent le verre |
| 5 apatite | |
| 6 orthose | |
| 7 quartz | |
| 8 topaze | |
| 9 corindon | |
| 10 diamant | |

COULEUR DES MINÉRAUX

LA COULEUR des minéraux est généralement liée à leur composition chimique, mais peut aussi provenir de défauts dans les cristaux. Il suffit souvent d'un élément chimique en faible quantité pour colorer un cristal, et la couleur n'est pas un bon critère d'identification. Par exemple, le quartz, habituellement incolore, peut être jaune (citrine) ou violet (améthyste). Le même élément chimique peut donner des couleurs différentes : ainsi, c'est le chrome qui rend le rubis rouge et l'émeraude verte.

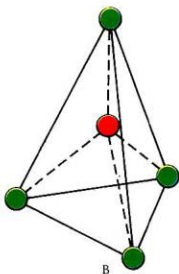
SILICATES

IL EXISTE un très grand nombre d'espèces minérales dans la nature. Mais la plupart sont rares et seules quelques-unes sont très répandues. Dans la croûte terrestre, les plus communes sont les *silicates*, puisque le silicium est, après l'oxygène, l'élément le plus abondant. Les silicates s'individualisent par leur réseau cristallin.

Les silicates ont tous en commun le fait d'être constitués par un empilement de tétraèdres de silice, avec un atome de silicium au centre et un atome d'oxygène aux quatre



A. Cristaux de diopside, variété de pyroxène, provenant de Madagascar.



B. Tétraèdre de silice (1 atome de silicium, 4 atomes d'oxygène).

sommets. Ils sont liés entre eux directement ou par l'intermédiaire de cations de nature variée, par exemple le fer, le magnésium, le calcium, le sodium ou des molécules d'eau.

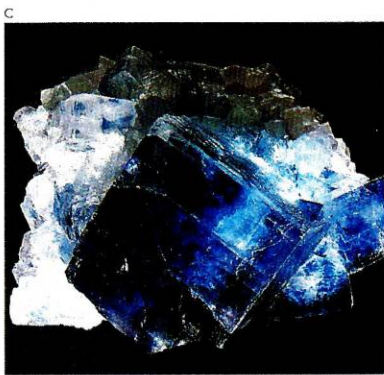
Dans les *olivines* ou les *grenats*, les tétraèdres sont isolés. Ils se disposent en anneaux dans le béryl, l'épidote ou la tourmaline.

Dans certains minéraux, les tétraèdres sont unis en chaînes. Dans les *pyroxènes*, ces chaînes sont simples, dans les *amphiboles*, elles sont doubles, accolées par des molécules d'eau. Dans les silicates en feuillets, les tétraèdres se disposent dans des plans empilés les uns sur les autres. Ces plans sont bien matérialisés dans les micas, qui se clivent facilement en fines lamelles.

Enfin, les tétraèdres peuvent s'organiser en un réseau dans les trois dimensions. C'est le cas du quartz et des *feldspaths*, qui sont les minéraux les plus répandus de la croûte terrestre.

CARBONATES

DANS les *carbonates*, l'ion CO fixe la structure. Dans la *calcite*, c'est le calcium qui relie les ions. Dans la *dolomite*, c'est le calcium et le magnésium. Il existe aussi des carbonates de fer (*sidérite*)



C. Cristaux de halite, ou sel gemme, provenant de Wintershall, Allemagne.

ou de cuivre (*malachite*). Les carbonates, en particulier la *calcite*, sont les principaux constituants des roches calcaires, et donc très répandus dans les roches sédimentaires.

AUTRES MINÉRAUX

ILS SONT beaucoup moins communs que les silicates et les carbonates, mais, dans certains contextes, ils peuvent former des masses importantes.

Les sels sont des minéraux peu répandus. Le *sel gemme* est du chlorure de sodium, qui s'est déposé dans des lagunes. La *fluorine* est un fluorure de calcium qui forme de beaux cristaux verts et violets.

Les oxydes sont des minéraux essentiels, car ils constituent les principaux minerais. L'*hématite* et la *magnétite* sont des oxydes de fer. La *pechblende* est un oxyde d'uranium. Les oxydes hydratés d'aluminium, *diaspore* et *gibbsite*, sont les constituants principaux des bauxites, minerais d'aluminium.

Les sulfures jouent également le rôle de minerais pour un des métaux qui y sont combinés au soufre. *Pyrite* et *marcasite* sont des sulfures de fer, la *chalcopyrite*, un sulfure de fer et de cuivre, la *blende* un sulfure de zinc, la *galène* un sulfure de plomb.

Dans les sulfates, un cation est combiné au soufre et à l'oxygène. Le *gypse*, connu sous ses formes de fer de lance ou encore de rose des sables, est un sulfate de calcium.

Dans les phosphates, un cation est combiné au phosphore et à l'oxygène. Le plus commun, l'*apatite*, est un phosphate de calcium qui est l'un des constituants de notre squelette.

Certains éléments existent à l'état natif, (non combinés à aucun autre élément). C'est le cas de l'*or*, que l'on peut trouver en pépites, de l'argent ou encore du *soufre*.

Les minéraux organiques dérivent de la destruction de la matière organique et ont en commun le fait de contenir du carbone, ce qui les rend combustibles. Ils forment les charbons, le pétrole et le gaz naturel.

MINÉRAUX UTILES

CERTAINES espèces minérales jouent un rôle essentiel dans notre société, car ils fournissent les matières premières indispensables à l'industrie. Mais, pour que leur exploitation soit rentable, il faut qu'ils soient suffisamment concentrés. Avec le développement de l'énergie nucléaire, les minéraux uranifères ont été recherchés. Toutefois, il ne faut pas oublier le charbon et le pétrole, au rôle économique si important.

SIGNIFICATION DES MINÉRAUX

LES MINÉRAUX se forment dans la croûte terrestre et reflètent sa composition chimique. Mais chaque espèce ne peut se former que dans des conditions particulières de température et de pression. L'étude des minéraux naturels dans leur environnement et leur synthèse expérimentale au laboratoire permettent de déterminer ces conditions. On peut ainsi reconstituer l'environnement de formation d'une roche, et donc aider à la compréhension de l'évolution de la Terre.

Certains minéraux sont particulièrement recherchés pour leur beauté et leur rareté, et sont utilisés en joaillerie et en ornementation.

PIERRES PRÉCIEUSES ET PIERRES FINES

Quatre espèces seulement ont droit au statut de pierre précieuse. Le *diamant* est du carbone pur cristallisé à très forte pression ; c'est l'Afrique du Sud qui en est le principal producteur. C'est également le plus dur des minéraux, ce qui lui confère un intérêt industriel, bien que l'on utilise surtout des diamants synthétiques. L'*émeraude* est une variété verte du béryl, dont le principal producteur est la Colombie. *Saphir* et *rubis* sont des variétés respectivement bleue et rouge du vulgaire corindon ; les plus beaux viennent de Birmanie. On recherche les gemmes, cristaux limpides. La valeur des pierres

précieuses dépend de leur grosseur (mesurée en *carats*, 1 carat = 2 dg), de leur pureté et de leur couleur, mais aussi du polissage et de la taille qui en renforcent l'éclat.

Les pierres fines sont moins rares, mais peuvent également avoir beaucoup de valeur. La plupart sont des minéraux, mais certaines sont des roches (*serpentine*, *lapis-lazuli*). Les pierres fines limpides sont taillées en facettes comme les pierres précieuses : *topaze*, *béryl*, *quartz*, *tourmaline*, *grenat*, *aigue-marine*. D'autres espèces, comme le *jade*, la *turquoise*, l'*opale* ou le *lapis-lazuli*, sont recherchées pour leurs nuances et servent à fabriquer des bijoux ou de petits objets décoratifs.

Certaines variétés de minéraux, comme l'*améthyste* ou la *célestine*, tapissent des cavités, formant des géodes parfois très spectaculaires puisqu'elles peuvent dépasser un mètre de diamètre. Enfin, les perles et le corail, également utilisés en joaillerie, ont une origine animale, alors que l'*ambre* est une résine fossile.

ROCHES ET MINÉRAUX

FORMATION DES ROCHES

LES ROCHES sont les matériaux constitutifs de l'écorce terrestre. Il s'agit en fait d'agrégats de minéraux, de nature et de proportions variées. Les roches se forment dans des conditions diverses, et leur étude apporte des renseignements sur l'histoire de la Terre.

Les roches endogènes ont leur origine à l'intérieur de la Terre. Elles peuvent provenir soit de la cristallisation d'un magma (ce sont alors des roches magmatiques), soit de la transformation de roches préexistantes (ce sont alors des roches métamorphiques). Les roches exogènes se forment en surface, sous l'action des agents météoriques. Elles peuvent provenir de l'altération in situ de roches préexistantes (roches résiduelles), soit résulter du démantèlement des reliefs (roches sédimentaires).

Pour comprendre l'origine et les conditions de formation des roches, il faut d'abord déterminer leur mode de gisement, c'est-à-dire les relations qu'elles ont avec leur environnement. Ce travail passe par l'établissement de cartes géologiques. Puis il faut déterminer les minéraux qu'elles contiennent et observer comment ils sont agencés, ainsi que leur composition chimique.

ROCHES MAGMATIQUES

L'ENVELOPPE externe de la Terre, constituée de la croûte et du manteau, est essentiellement à l'état solide. Mais, dans des zones d'instabilité particulière, il peut se produire une fusion partielle qui donne naissance à un liquide de composition silicatée, le magma. Ce magma remonte vers la surface et, en se refroidissant, se solidifie progressivement et donne les roches magmatiques. Les roches plutoniques, ou intrusives, se forment lentement, en profondeur, avant que le magma n'atteigne la surface. Mais, si le magma s'épanche en surface lors d'éruptions volcaniques, il se solidifie brutalement au contact de l'air pour donner des roches effusives, ou volcaniques.

Magma. La composition des magmas varie dans des limites relativement restreintes, en fonction de divers paramètres. Elle dépend de la profondeur où a lieu la fusion et de

la nature des matériaux qui fondent : la fusion du manteau donne des magmas basaltiques, la fusion de la croûte des magmas granitiques. Par ailleurs, elle évolue au cours du temps. Les premiers minéraux qui se forment au cours du refroidissement ont une composition différente de celle du magma et vont donc l'appauvrir en certains éléments et l'enrichir en d'autres. Ce processus, ou différenciation magmatique, produit des liquides de plus en plus riches en silice.

Les principaux minéraux qui cristallisent à partir des magmas sont peu nombreux et c'est leur nature et leurs proportions relatives qui servent à la classification des roches magmatiques. La distinction entre roches plutoniques et roches volcaniques repose sur la taille et l'agencement des minéraux.

Roches plutoniques. Elles forment l'essentiel de la croûte continentale profonde, et on les voit affleurer dans les chaînes de montagnes érodées, comme le Massif central. Comme elles cristallisent lentement, en profondeur, les roches plutoniques sont formées de gros minéraux, visibles à l'œil nu. Le granite est de loin le plus répandu, formant des massifs qui peuvent couvrir des milliers de kilomètres carrés. Des diorites et des gabbros lui sont parfois associés en faibles quantités. Le magma peut prendre naissance dans le manteau et se différencier au cours de son ascension. Mais il peut aussi résulter de la fusion partielle de la croûte, ou anatexie, lors de la formation des chaînes de montagnes. Plus rarement, du magma de composition basaltique cristallise lentement dans de vastes chambres magmatiques. Les cristaux s'accumulent progressivement, donnant à ces intrusions une apparence litée.

Roches volcaniques. Les roches volcaniques cristallisent souvent en deux temps. De gros minéraux peuvent se former lors du séjour du magma dans une chambre en profondeur. Mais, lors de l'éruption, la lave se fige très rapidement au contact de l'air en une pâte très fine dont on ne peut discerner les composants à l'œil nu.

Sur les continents, elles forment les édifices volcaniques ponctuels qui soulignent les zones d'instabilité de l'écorce terrestre : rifts, zones de subduction. Leur composition est alors assez variée. Les volcans des rifts sont formés d'un empilement de laves évoluant des basaltes aux rhyolites ou aux basanites. Dans les zones de subduction, les andésites dominent largement. D'énormes épanchements de basaltes ont formé de vastes plateaux en Inde, au Brésil ou dans le nord-ouest des États-Unis. Mais les basaltes sont surtout le constituant principal de la croûte océanique.

ROCHES SÉDIMENTAIRES

ELLES PROVIENNENT du démantèlement des reliefs par l'érosion. Les roches préexistantes se désagrègent sous l'action conjuguée de l'eau, du vent, des variations de température. Les particules arrachées sont transportées par les rivières, les glaciers ou le vent jusqu'aux zones basses, à des lacs ou à la mer où elles se déposent. Les couches successives se superposent, formant des strates, caractéristiques des roches sédimentaires, et se solidifient progressivement.

Le transport peut avoir lieu sous forme de particules solides. Les roches sédimentaires qui en résultent sont dites détritiques puisqu'elles sont formées de débris. Plus le transport est long, plus la taille des fragments s'amenuise. Les débris très grossiers forment des brèches (s'ils sont anguleux) ou des poudingues (s'ils sont arrondis). Des grains plus petits, de l'ordre du millimètre, forment les sables, ou les grès si les grains sont cimentés. Enfin, les particules les plus fines forment les pélites, qui peuvent parcourir de grandes distances.

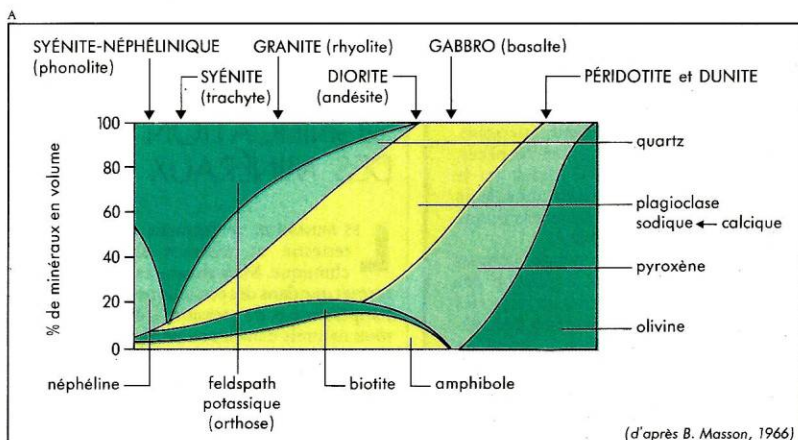
Mais le transport peut se faire sous forme de particules dissoutes. Les roches ont alors une origine chimique. Les minéraux précipitent directement, si la concentration devient trop forte, ou par l'intermédiaire d'organismes vivants qui les fixent dans leur coquille ou leur squelette.

Dans certaines roches siliceuses, comme le silex, la silice précipite directement. Dans d'autres, comme les radiolarites, ce sont des organismes, les radiolaires, qui fixent la silice.

D'une manière générale, les roches calcaires résultent de la fixation de la calcite par des organismes vivants. Ceux-ci peuvent être microscopiques, comme les coccolithes de la craie, ou bien de taille respectable, comme les coquillages fossiles que l'on trouve dans de nombreux calcaires (ammonites, huîtres).

Les roches salines, comme le sel gemme, proviennent toujours de la précipitation directe du sel dans des zones de lagunes où se produit une évaporation intense.

Enfin, certaines roches sédimentaires proviennent de la décomposition d'organismes vivants : ce sont les roches organiques. La houille résulte de la décomposition de vastes forêts. Le pétrole et le gaz naturel proviennent de la décomposition de micro-organismes, dans des mers peu profondes ; les hydrocarbures qui en résultent sont piégés sous des niveaux imperméables et imbibent une roche, la roche-magasin.



A - Classification des roches éruptives.

Cette classification est fondée sur la composition minéralogique des roches, c'est-à-dire sur le pourcentage des espèces minérales les plus abondantes contenues dans les roches : quartz, feldspaths, feldspathoïdes (néphéline), pyroxène, olivine, amphibole et biotite. Par exemple, un granite est composé d'orthose, quartz, plagioclase, biotite et amphibole alors qu'un gabbro contient plagioclase, pyroxène et olivine. En majuscules est donné le nom de la roche plutonique, en minuscules celui de la roche volcanique de composition équivalente. La différence entre les deux réside dans la texture, c'est-à-dire dans la taille du grain et l'agencement des minéraux entre eux. Dans les roches volcaniques, les minéraux sont parfois trop petits et il faut alors se fonder sur la composition chimique.

ROCHES MÉTAMORPHIQUES

QUAND des roches sédimentaires ou magmatiques se trouvent dans des conditions de pression et de température différentes de celles qui régnaient lors de leur formation, elles se transforment sous l'effet du métamorphisme. Cela se traduit par l'apparition de nouveaux minéraux adaptés aux nouvelles conditions. Lors de la formation des chaînes de montagnes, le métamorphisme affecte des portions entières de croûte : il est alors régional. Des compressions s'exercent et les terrains sont déformés, plissés, et peuvent être enfouis à des grandes profondeurs dans la croûte. Ils sont donc soumis à de fortes pressions et à une augmentation de température due au flux de chaleur qui vient de l'intérieur de la Terre. À cause des contraintes qui règnent lors des plissements, les nouveaux minéraux se disposent dans des plans préférentiels et donnent aux roches un aspect orienté. Elles sont

schisteuses si elles ont tendance à se déliter, ou *foliées* si elles sont plus massives.

Mais le métamorphisme peut simplement résulter de la mise en place d'un massif de roches plutoniques. En se refroidissant, il dégage de la chaleur qui se propage dans les roches à son contact et les transforme. Ce *métamorphisme de contact* n'affecte qu'une auréole autour du massif plutonique.

Les espèces minérales qui apparaissent dans les roches sous l'effet du métamorphisme traduisent les conditions dans lesquelles elles se sont formées. Leur étude permet de déterminer la pression et la température qui régnaient quand elles ont cristallisé et aide à reconstituer l'histoire de la formation des chaînes de montagnes. Mais la nature des minéraux traduit également la composition chimique des roches. Les *schistes*, riches en quartz et en micas, se forment par métamorphisme des argiles sédimentaires. Les *gneiss*, formés de quartz, feldspaths et micas, peuvent résulter du métamorphisme d'un granite ou d'une argile et les amphibolites, d'une marne sédimentaire ou d'un basalte. Les *marbres*, composés de calcite, proviennent du métamorphisme des calcaires.

ROCHES DU MANTEAU SUPÉRIEUR

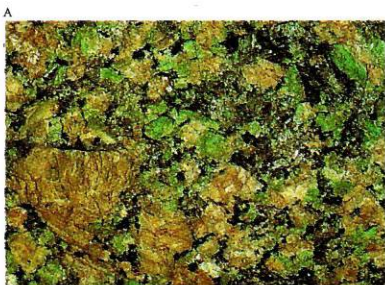
LE MANTEAU supérieur, situé sous la croûte, n'affleure qu'exceptionnellement sous forme de massifs, à la faveur des bouleversements liés à la formation des chaînes de montagnes. Il s'agit souvent de massifs *ophiolitiques*, c'est-à-dire de fragments de lithosphère océanique (croûte et manteau) qui ont été incorporés dans les chaînes de montagnes sous l'effet des mouvements de compression.

Étant situé en profondeur, le manteau est plus dense que la croûte. Il est constitué de roches relativement homogènes, les *péridotites*, assemblages de silicates de fer, magnésium et calcium (olivine et pyroxènes).

Les *kimberlites* sont une variété de péridotites originaires du manteau supérieur, qui se mettent en place dans des sortes de cheminées explosives, de forme cylindrique, les *pipes*. Elles renferment les gisements de diamants.

A. Échantillon de granite.

La roche est composée de gros cristaux d'orthose rose (d'environ 2 cm de long), de feldspath plagioclase vert pâle, de quartz d'aspect gris et de mica noir. La texture de la roche est nettement grenue puisque tous les minéraux sont bien visibles à l'œil nu.



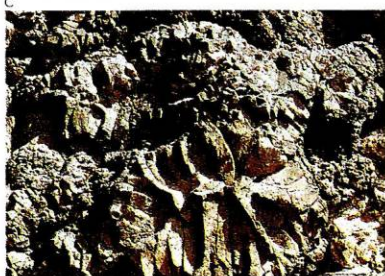
B. Dykes.

Des filons de roches magmatiques peuvent s'injecter, à partir des chambres magmatiques, dans des terrains variés, sans atteindre la surface. Ce sont les *dykes*, qui présentent des textures intermédiaires entre roches plutoniques et roches volcaniques. La photo montre un dyke de granite (blanc) injecté dans des péridotites.



C. Pillow-lavas.

Affleurement de laves basaltiques en coussins, ou pillow-lavas, près de Catane. Ces structures ellipsoïdales empilées résultent du refroidissement brutal de la lave quand elle s'épanche sous la mer. Les planchers océaniques actuels sont constitués par un empilement de pillow-lavas basaltiques qui se sont épanchés aux dorsales.



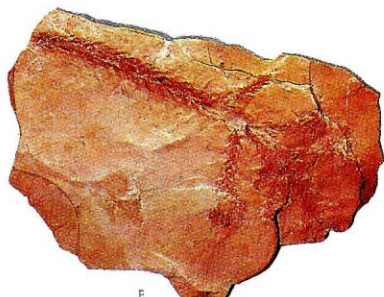
D. Fougère.

Cet exemplaire a été fossilisé dans le carbonifère, il y a environ 260 millions d'années. La fougère, végétal terrestre se reproduisant par spores, est apparue dès le milieu de l'ère primaire (au dévonien), avec une extension (évidemment jusqu'à l'Actuel) qui n'en fait pas un repère stratigraphique.



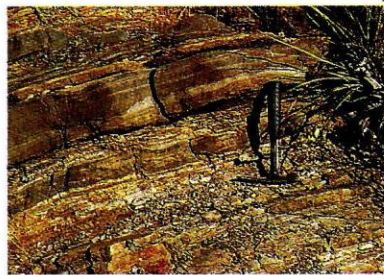
E. Fossile végétal.

dans les grès du trias. Cette branche d'arbre, particulièrement bien conservée, correspond à un type primitif de conifère. L'ensemble des fossiles que l'on trouve à une époque donnée dans une même région permet de reconstituer la faune et la flore et donc d'avoir une idée du paysage.



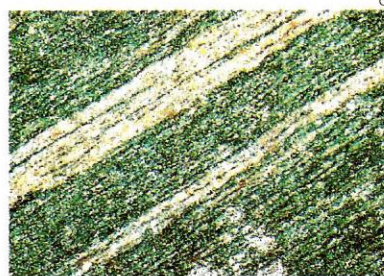
F. Flysch du crétacé inférieur (Kabylie).

Il est constitué par l'alternance de niveaux gréseux plus durs en relief et de niveaux argileux gris et excavés. Le flysch est une formation détritique, se déposant dans les géosynclinaux, liée à la surrection d'une chaîne de montagnes.



G. Échantillon de gneiss.

Cette roche métamorphique présente une texture nettement orientée, ou foliée. Les minéraux sont disposés dans des plans parallèles, donnant au gneiss un aspect rubané. Des lits à quartz et feldspath rose (d'environ 5 mm d'épaisseur) alternent avec des lits à quartz et mica noir.



H. Nodules de péridotite

dans une lave basaltique ; le plus gros a environ 5 cm de diamètre. La péridotite est une roche grenue composée essentiellement d'olivine, de couleur verte. Le basalte encaissant, gris, est finement cristallisé et aucun minéral n'est visible à l'œil nu.

