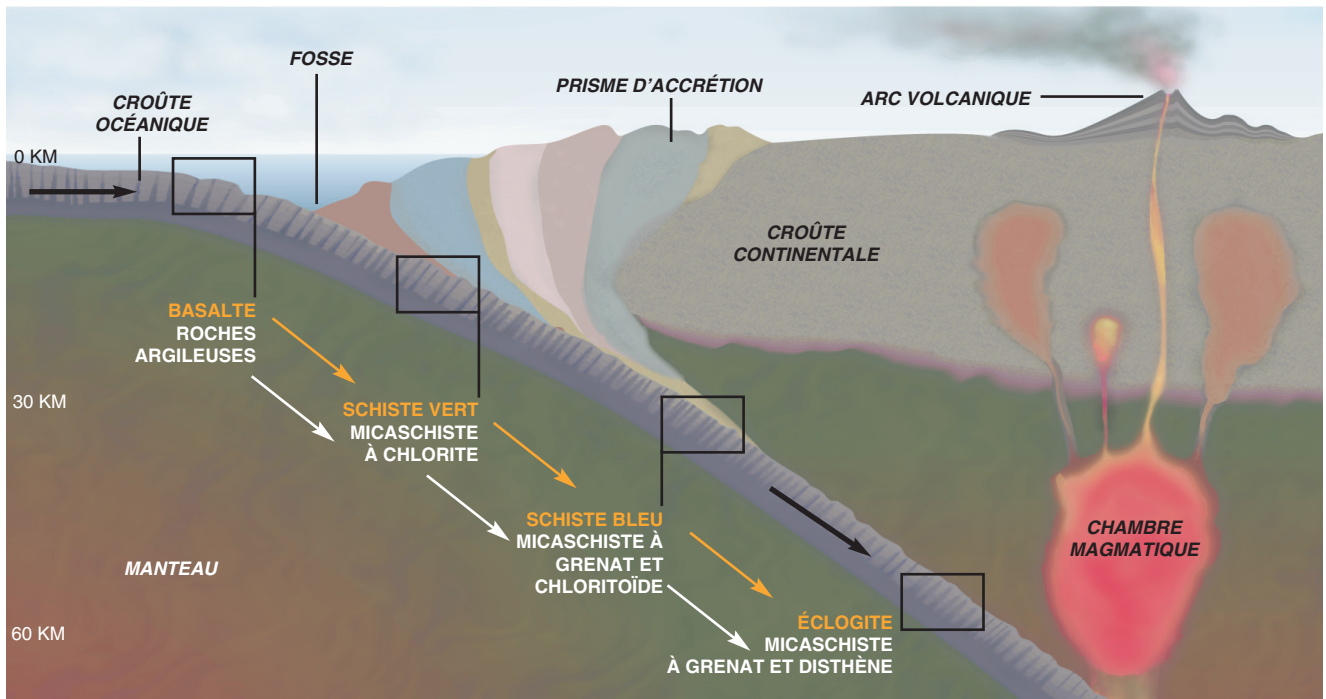




2. DANS LA ZONE DE SUBDUCTION, le basalte de la plaque océanique se transforme en différentes roches à mesure qu'il plonge sous la plaque continentale et parallèlement s'appauvrit en eau : en schistes verts (qui contiennent de l'albite et de la chlorite, cette dernière comportant une fraction importante d'eau), puis en schistes bleus

(quand apparaît la glaucophane, un minéral contenant deux pour cent d'eau), et enfin en éclogites (quand le grenat et le pyroxène, deux minéraux anhydres, se développent). Les roches argileuses de la plaque se métamorphisent en micaschiste à chlorite, en micaschiste à grenat et en chloritoïde, puis en micaschiste à grenat et disthène.

des dorsales médio-océaniques, gigantesques chaînes de montagnes sous-marines. À mesure de leur formation, le plancher océanique s'éloigne de l'axe de la dorsale, et se refroidit. Dans les zones de subduction, les plaques océaniques s'enfoncent dans les profondeurs, en plongeant soit sous une autre plaque océanique (telle la plaque pacifique sous les Mariannes) ou sous une plaque continentale (telle la plaque Nazca sous les Andes).

Après plusieurs décennies d'explorations géophysiques et d'observations directes avec des submersibles océanographiques, le fonctionnement des zones de subduction est maintenant bien connu. La plongée d'une plaque océanique engendre une fosse, profonde, étroite et allongée, qui marque la limite entre les deux plaques en convergence. L'enfoncement de cette plaque dans le manteau est repérable par les nombreux séismes provoqués par l'avancée de la plaque. Au-dessus de la plaque qui s'enfonce se dresse en général un arc volcanique, c'est-à-dire un alignement de volcans dont les éruptions souvent explosives peuvent causer de redoutables dommages. Dans ces volcans, les magmas sont issus de la fusion partielle du coin de manteau situé au-dessus de la plaque plongeante. Enfin, entre l'arc volcanique et la fosse océanique se forme souvent un prisme d'accrétion, empilement de matériaux sédimentaires et parfois volcaniques arrachés à la plaque océanique plongeante.

Qu'advient-il à la plaque océanique quand elle plonge ? Pour le savoir, on recourt à des modélisations numériques, puis on compare les prévisions des modèles avec les phénomènes effectivement observés dans les zones de subduction actives. Quand une plaque s'enfonce dans le manteau, elle pénètre dans un milieu de plus en plus chaud. La conduction de la chaleur dans les roches étant extrêmement lente, la température de la plaque met du temps à s'équilibrer avec celle du manteau : la plaque

constitue une lame relativement froide au sein d'un milieu chaud. La carte des températures dans une plaque qui s'enfonce dépend de plusieurs facteurs, notamment l'âge de la plaque et la vitesse de subduction. Même s'il persiste des désaccords sur les détails de la diffusion de la chaleur dans les plaques, tous les modèles thermiques montrent que, dans les zones de subduction, la température reste relativement faible, même à de grandes profondeurs, c'est-à-dire à forte pression.

Des dorsales océaniques aux zones de subduction, la croûte océanique rencontre donc tout au long de son histoire des variations de pression et de température. Ces variations modifient la composition de la roche. Durant la phase où la croûte océanique constitue le plancher océanique, de l'eau de mer s'infiltre par des fractures jusqu'à quelques kilomètres de profondeur, et entraîne une altération hydrothermale des basaltes et des gabbros : les minéraux présents à haute température et anhydres (tels l'olivine et le pyroxène) sont remplacés par des minéraux hydratés stables à plus basse température (la chlorite, l'albite et l'épidote). Cet hydrothermalisme s'accompagne sur le plancher océanique du jaillissement de saumures chaudes et riches en éléments dissous (cuivre, fer et manganèse par exemple), qui forment les fumeurs noirs, des sources chaudes autour desquelles se développent des oasis de vie. Quand la croûte océanique parvient dans la zone de subduction, les roches magmatiques plus ou moins altérées par l'eau et par la chaleur se métamorphisent, c'est-à-dire qu'elles subissent des transformations, notamment des recristallisations (voir la figure 2). La nature exacte des minéraux formés dépend des conditions de pression et de température. À faible pression (de 4 à 8×10^8 pascals environ) et très faible température (de 300 à 400 °C), les basaltes se transforment en schistes verts. Avec l'augmentation de la pression (entre 8 et 12×10^8 pascals)

apparaît un nouveau minéral, la glaucophane, facilement identifiable en raison de sa couleur bleu violacée: d'où le nom de schistes bleus donné aux roches contenant ce minéral en abondance. À des pressions encore plus élevées (vers 15 ou 20×10^8 pascals), se développent du pyroxène vert et du grenat rouge, et le basalte se transforme en éclogite. L'identification de telles roches est un excellent moyen de reconstituer l'histoire lointaine des zones de subduction.

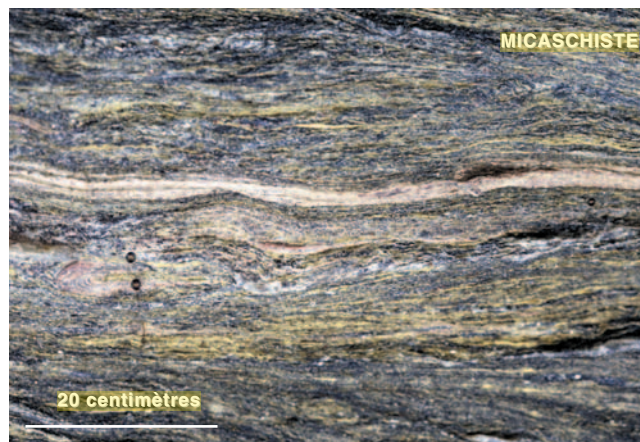
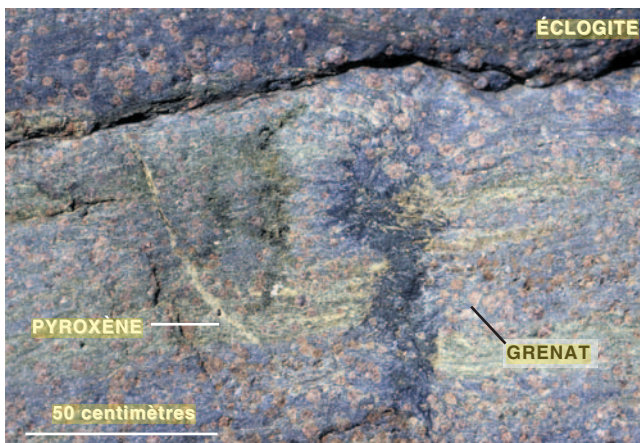
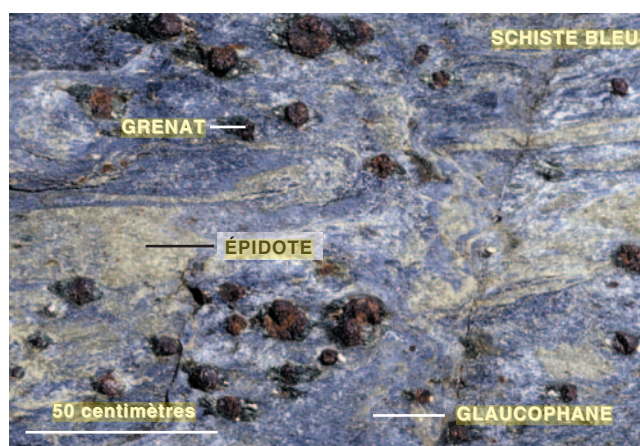
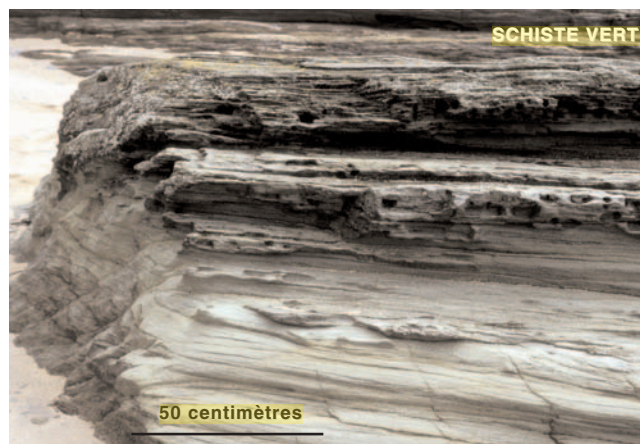
Fille des océans

À Groix, où, comme partout en Bretagne, les affleurements se situent essentiellement sur les côtes, le promeneur ne peut manquer de reconnaître trois groupes de roches. Les micaschistes forment l'essentiel des falaises côtières, et sont structurés en minces feuillets. Dans les micaschistes, des minéraux métamorphiques se sont développés: la muscovite, un mica blanc qui leur confère un aspect satiné ou luisant, des lamelles vertes de chlorite ou noires de chloritoïde, et souvent du grenat rouge. Au sein des micaschistes, on observe des roches en forme de lentilles, ou disposées en couches, et dont la couleur dominante est soit verte, soit bleue à bleu-noir: il s'agit, dans le premier cas, de schistes verts, dans le second de schistes bleus. Ces derniers contiennent souvent, eux aussi, des grenats (voir la figure 3).

Quelle était la nature de ces roches avant leur transformation métamorphique? Basaltique ou sédimentaire? Une analyse de leur aspect n'apporte pas de réponse, car les roches métamorphiques de Groix sont en général très déformées. Il faut donc avoir recours à des analyses chimiques pour déterminer l'origine des roches. Les micaschistes dérivent de sédiments argileux, qui contenaient éventuellement des organismes en décomposition, que le métamorphisme a transformés en graphite (carbone cristallisé). Les micaschistes graphiteux sont particulièrement répandus dans la moitié occidentale de l'île. La composition des schistes verts et des schistes bleus est celle de basaltes, certains étant comparables aux basaltes des rides médio-océaniques, d'autres aux basaltes des îles océaniques (formées par solidification de panaches de magma venant des entrailles de la Terre). Le domaine océanique était-il immense comme aujourd'hui le Pacifique ou l'Atlantique, ou au contraire étroit comme le golfe de Californie, la mer Rouge ou la mer du Japon? Comme nous le verrons plus loin, l'océan était probablement étroit.

D'autres roches, beaucoup plus rares, existent également à Groix. Certaines, en forme de ruban et disposées par couches, sont essentiellement constituées de quartz et de minuscules grains de grenat, invisibles à l'œil nu, mais donnant à la roche une couleur rosée. Il s'agit de cherts, anciennes radiolarites (roche sédimentaire formée par l'accumulation des coquilles des radiolaires, organismes unicellulaires du plancton) qui ont été soumises à de fortes pressions. Des couches au sein des basaltes ou des sédiments contiennent

3. LES QUATRE ROCHES ORIGINALES DE GROIX. Le schiste vert, le schiste bleu, l'éclogite se sont formées les unes après les autres à mesure que la plaque océanique mère descendait dans le manteau terrestre. Le micaschiste provient de sédiments, qui ont été également effoués à grande profondeur. Les roches ne sont pas homogènes du point de vue de la composition. Le schiste bleu contient du glaucophane, un minéral bleu qui lui confère sa couleur dominante, de l'épidote (les zones jaunes) et des grenats (les inclusions rouges sombres). L'éclogite comporte du grenat (les points rouges) et du pyroxène (en vert clair).



Micha Bellevue

en abondance du fer et surtout du manganèse, et pourraient provenir de minéralisations hydrothermales associées au volcanisme sous-marin. Il ne fait donc aucun doute que les roches de l'île de Groix reflètent dans leur diversité les processus volcaniques et sédimentaires ayant lieu dans l'océan à quelques milliers de mètres de profondeur.

Pour autant, il est impossible de reconnaître à Groix une section complète de plaque océanique, telle qu'elle est observée dans les Alpes ou en Oman par exemple. On n'y trouve ni péridotite ni gabbro. En outre, on n'a identifié aucune lave sous-marine solidifiée, dont la coulée aurait une forme caractéristique de coussins. Les basaltes métamorphisés de Groix dérivent plus probablement de filons recoupant ou s'insinuant au sein des sédiments. En outre, les roches de l'île de Groix sont constituées à plus de 90 pour cent de sédiments, dans lesquels sont intercalées les roches d'origine volcanique.

Quelles péripéties géologiques ont-elles abouti à cette situation hors du commun ? Dans une première hypothèse, il pourrait s'agir d'un bassin océanique étroit, qui aurait reçu en abondance des sédiments détritiques en provenance de l'érosion des continents adjacents. Dans ce bassin, les laves basaltiques se seraient épanchées à la surface des sédiments ou insinuées entre les couches sédimentaires. Le golfe de Californie est un exemple actuel de ce type de processus. Dans une seconde hypothèse, l'île de Groix représenterait un fragment d'un prisme d'accrétion dans lequel sont incorporés des morceaux de plaque océanique ainsi que des sédiments détritiques d'origine continentale. Un analogue actuel de l'île de Groix serait alors la bordure pacifique des îles de l'archipel japonais, où se forme depuis une centaine de millions d'années un prisme d'accrétion lié à la subduction de l'océan Pacifique sous le Japon.

La composition raconte l'histoire

À quelle profondeur ont recristallisé les micaschistes et les schistes bleus ? Quelle était la température à cette profondeur ? Quels minéraux étaient à l'équilibre à un moment donné dans la roche, et quels minéraux se sont succédé dans le temps ? Pour répondre à ces questions, les géologues procèdent en trois étapes. Tout d'abord, ils examinent les roches au microscope optique, ce qui permet d'identifier les minéraux (tous ne sont pas visibles à l'œil nu), et de savoir dans quel ordre ils sont apparus au cours du temps dans la roche. Dans le cas de roches déformées, on détermine ainsi si les minéraux qu'elles contiennent sont antérieurs ou non à la déformation. Par exemple, le grenat et la glaucophane sont des minéraux précoces, contemporains des déformations qu'ont subies les roches où ils sont emprisonnés, car ils sont eux aussi déformés. On en déduit que ces minéraux ont été en partie remplacés par de la chlorite et de l'albite seulement après que la roche a cessé de se déformer.

La deuxième étape est celle de la détermination de la composition chimique des minéraux, car celle-ci varie également en fonction de la pression et de la température. La microsonde électronique (avec laquelle on étudie le rayonnement émis après bombardement d'électrons) permet une analyse de la composition, et fournit une image de la répartition des constituants des grains (voir la figure 5). Dans le grenat par exemple, la teneur en manganèse est élevée au cœur des grains, puis s'appauvrit progressivement du cœur vers la périphérie. Dans le grenat également, les concentrations en fer et en magnésium augmentent du cœur vers la périphérie, tandis que les teneurs en calcium diminuent. Ces variations résultent de la combinaison de deux mécanismes. Quand un germe cristallin se forme, certains éléments,

4. ÉVOLUTION DES ROCHES
présentes dans la plaque océanique lors de leur enfouissement dans la zone de subduction. On distingue trois types de roche au départ : le basalte, l'argilite et la radiolarite. À mesure que la pression augmente, des minéraux différents apparaissent.

PRESSION ↓	ROCHES ORIGINELLES		
	LAVE	SÉDIMENTS	
	BASALTE (OLIVINE ET PYROXÈNE DANS UNE PÂTE VITREUSE)	ARGILITE (CRISTAUX MICROSCOPIQUES D'ARGILE ET GRAINS DE SABLE)	RADIOLARITE (COQUILLES DE RADIOLAIRES)
	ROCHES MÉTAMORPHIQUES		
	SCHISTE VERT ACTINOTE : $Ca(Fe, Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ CHLORITE : $(Fe, Mg)_{10}Al_4Si_6O_{20}(OH)_{16}$ ÉPIDOTE : $Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}(OH)$ ALBITE $NaAlSi_3O_8$	MICASCHISTE MUSCOVITE $Al_3Si_3O_{10}(OH)_2$ CHLORITE	MÉTACHERT ROCHE ESSENTIELLEMENT CONSTITUÉE DE QUARTZ
4 à 8×10^8 pascals			
8 à 12×10^8 pascals 16 à 18×10^8 pascals	SCHISTE BLEU GRENAT : $(Fe, Mg)_3Al_2Si_3O_{12}$ GLAUCOPHANE $Na_2(Fe, Mg)_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$ ET ÉPIDOTE	MICASCHISTE MUSCOVITE GRENAT CHLORITOÏDE : $(Fe, Mg)_2Al_4Si_2O_{10}(OH)_4$	
>15 à 20×10^8 pascals	ÉCLOGITE GRENAT PYROXÈNE $NaAlSi_2O_6$	MICASCHISTE MUSCOVITE GRENAT DISTHÈNE : Al_2SiO_5	