

Ce sujet est un : sujet écrit sur document

Titre : Le métamorphisme de l'île de Groix

Biologie Géologie BCPST 2de année aux Editions VUIBERT

Durée : (1h30 à 2h)

Auteur(s) : A. Proust

Relecteur(s) éventuel(s) : C. Bordi, O. Dautel

Date de contribution : octobre 2019

Toutes les informations suivantes n'ont pas besoin d'être remplies, vous pouvez supprimer celles qui ne semblent pas pertinentes.

Ce sujet concerne particulièrement les classes de : BCPST2

Chapitres évalués : Métamorphisme

Compétences/techniques/logiciels utilisés:

Bibliographie :

Si possible, le corrigé doit être à la suite du document dans le même fichier.

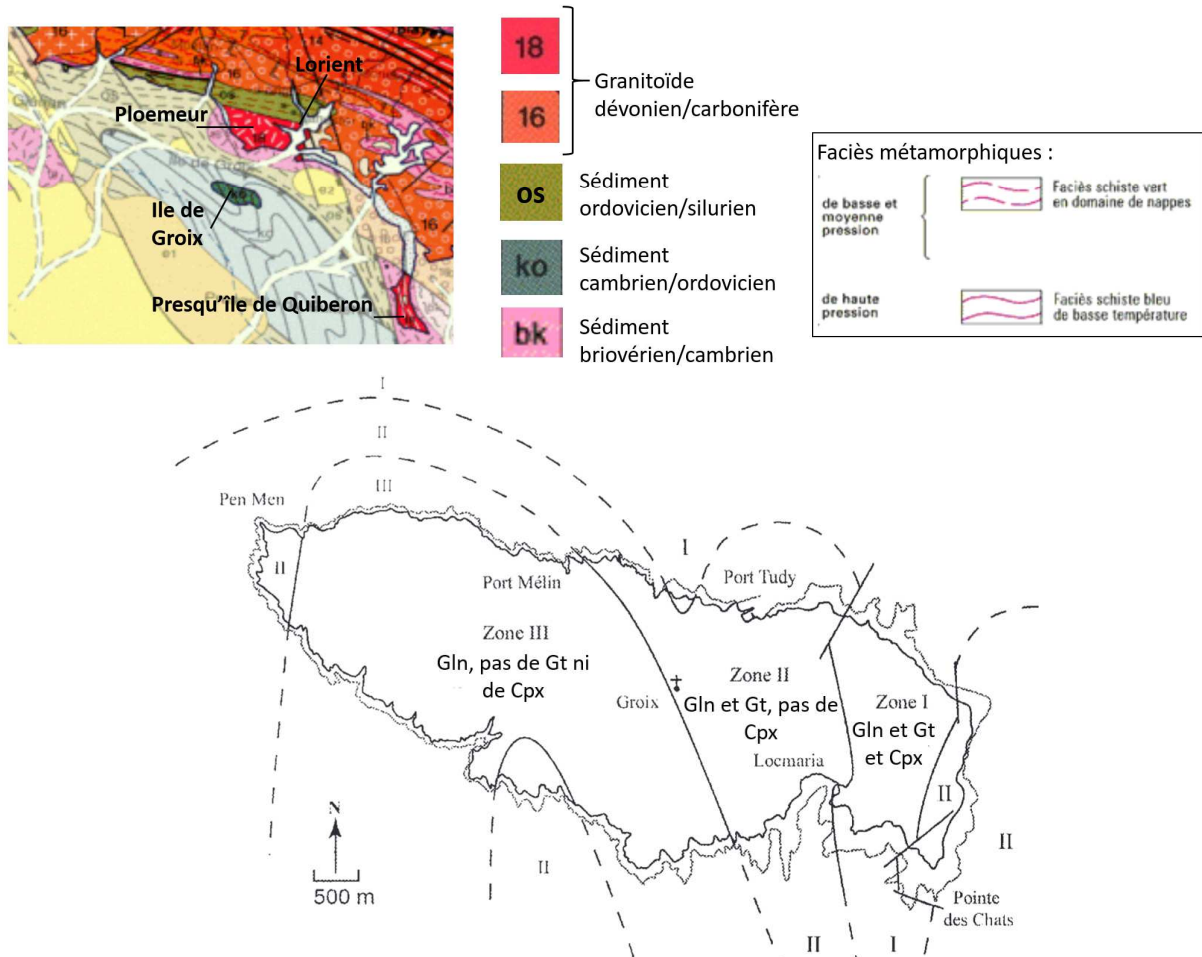
Si vous souhaitez modifier le document, vous pouvez commencer par contacter les auteurs et proposer une nouvelle version (notez bien les versions : v1, v2 etc.)

Sujet : Le métamorphisme de l'île de Groix

Source : Biologie Géologie BCPST 2de année aux Editions VUIBERT

Sur l'île de Groix, au large de Lorient, affleurent des roches métamorphiques variées :

- 80% sont des roches de type « figure 2 » ;
- 20% sont des metabasaltes et des metagabbros de faciès schistes verts, schistes bleus (aussi appelés glaucophanites) ou éclogites.



Gln : glaucophane, Gt : grenat, Cpx : clinopyroxène,

Figure 1. A. Un extrait de la carte de France au millionième centré sur l'île de Groix. B. La zonation du métamorphisme dans l'île de Groix, pour les metabasaltes et les metagabbros.

On distingue trois grandes zones (I, II, III) en fonction de la présence de certains minéraux dans les metabasaltes et metagabbros.

1. Figure 1A. Quelle est la nature du protolithe majoritaire des roches de l'île de Groix ? Quel est l'âge de ce protolithe ? Dans quel faciès est-il métamorphisé ? Quel indice cartographique permet de supposer la présence d'un chevauchement entre les roches en faciès schistes bleus de l'île de Groix et les granites de Ploemeur ?

2. Comment appelle-t-on la ligne d'apparition d'un minéral du métamorphisme sur une carte ? Tracez la limite d'apparition du grenat et celle du clinopyroxène sur la figure 1B.

3. En vous appuyant uniquement sur la figure 1B, indiquez dans quelle(s) zone(s) vous pourriez échantillonner des éclogites. Justifiez votre réponse.

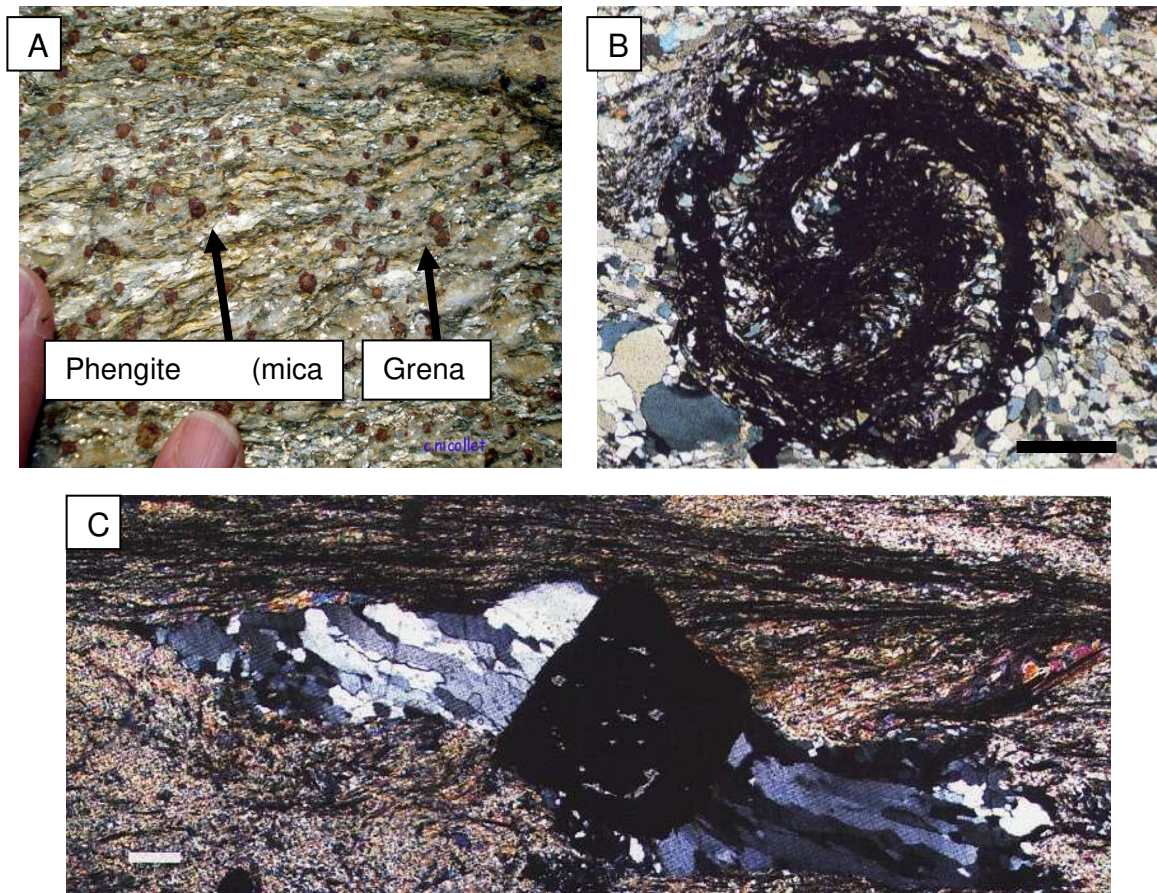


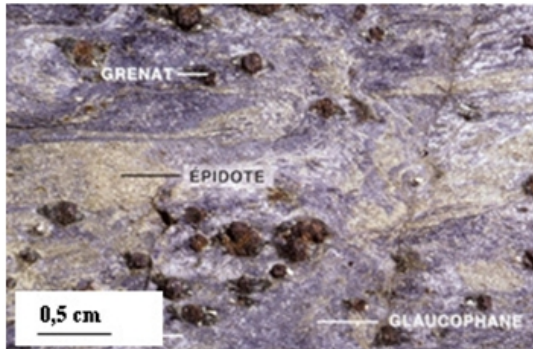
Figure 2. La roche représentant 80% des affleurements de l'île de Groix. A. Vue d'un échantillon. B et C. Deux zooms en LPA sur des grenats de la roche de la figure 2A (barres d'échelle 1 mm).

4. Identifiez la roche de la figure 2. Justifiez votre réponse.

5. En utilisant vos connaissances sur les déformations des matériaux de la lithosphère, décrivez l'échantillon de la figure 2A, puis les microphotographies des figures 2B et 2C et expliquez brièvement la formation des minéraux centraux.

Schiste bleu à glaucophane, grenat, plagioclase et épidote

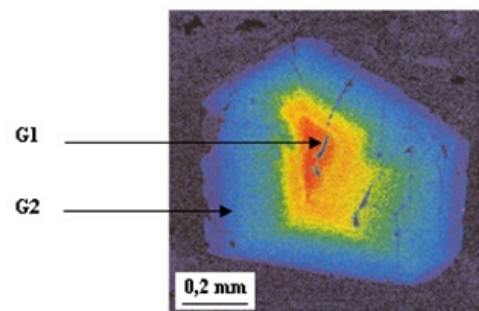
Photographie d'un échantillon



Les grenats de cet échantillon sont de type G1.
Les plagioclases ne sont pas visibles à l'oeil nu.
(Pour La Science n°305 - Mars 2003)

Grenat d'une éclogite à jadéite

Photographie d'une lame mince



Le changement progressif de composition du grenat témoigne des modifications des conditions de pression et de température qu'il a subies pendant sa croissance :

- La cristallisation du centre (G1) a eu lieu à 400°C et $0,9 \cdot 10^9$ Pascals.
- La cristallisation de sa périphérie (G2) a eu lieu à 500°C et $1,8 \cdot 10^9$ Pascals.

Figure 3. La photographie d'un schiste bleu à grenat

Figure 4. Analyse d'un grenat dans une éclogite à jadéite.

6. En utilisant les figures 2, 3 et 4, qualifiez le type de métamorphisme responsable de l'apparition des roches de l'île de Groix, et proposez un contexte géodynamique.

On se propose de dater par la méthode Rb/Sr les minéraux du faciès schistes verts (chlorite, épidote et actinote) et ceux du faciès schistes bleus retrouvés à Groix. Les analyses isotopiques donnent les résultats suivants :

Faciès schistes verts	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Minéral 1	14,2	0,7868
Minéral 2	19,5	0,8130
Faciès schistes bleus		
Minéral 3	80,7	1,1224
Minéral 4	0,036	0,7076

Figure 5. Les rapports isotopiques des roches métamorphiques de l'île de Groix.

La demi-vie du Rubidium est de 49 milliards d'années.

7. Rappelez le nom de la droite d'intérêt utilisée dans la datation Rb/Sr et démontrez son équation :

$$\text{Sr}^{87}(\text{t})/\text{Sr}^{86} = \text{Sr}^{87}_0/\text{Sr}^{86} + \text{Rb}^{87}(\text{t}) \cdot \lambda t / \text{Sr}^{86}$$

8. En utilisant les données de la figure 5, proposez un âge au métamorphisme en faciès schistes verts et un âge au métamorphisme en faciès schistes bleus. Comparez les résultats obtenus afin de préciser le contexte de mise en place de ces deux faciès.

De l'épidote, un minéral du faciès schistes verts, est également trouvé en quantité plus ou moins importante dans les schistes bleus.

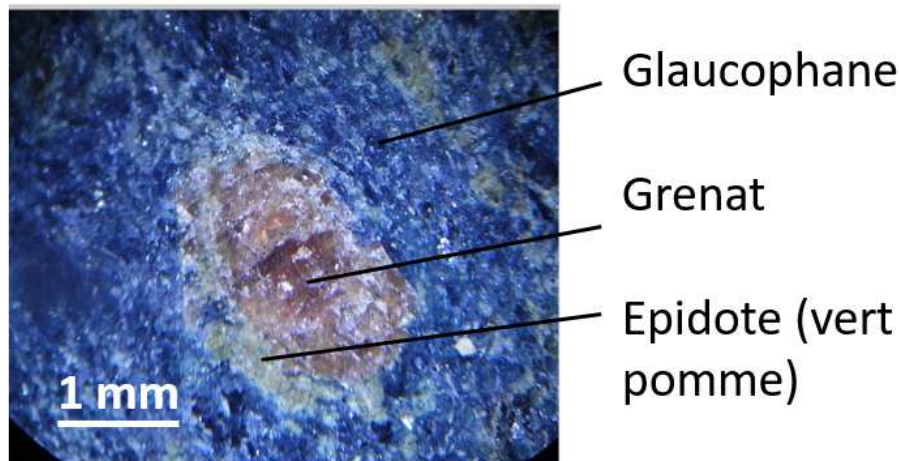


Figure 6. Une observation à la loupe d'un échantillon de schiste bleu.

9. Comment qualifieriez-vous la disposition de l'épidote par rapport au grenat ? Expliquez en quoi l'observation de cet échantillon confirme la réponse à la question précédente.

10. Définissez ce qu'est un chemin $P, T=f(t)$. Tracez approximativement le chemin $P, T=f(t)$ suivi par une roche de l'île de Groix sur la grille de la figure 7, et légendez-le.

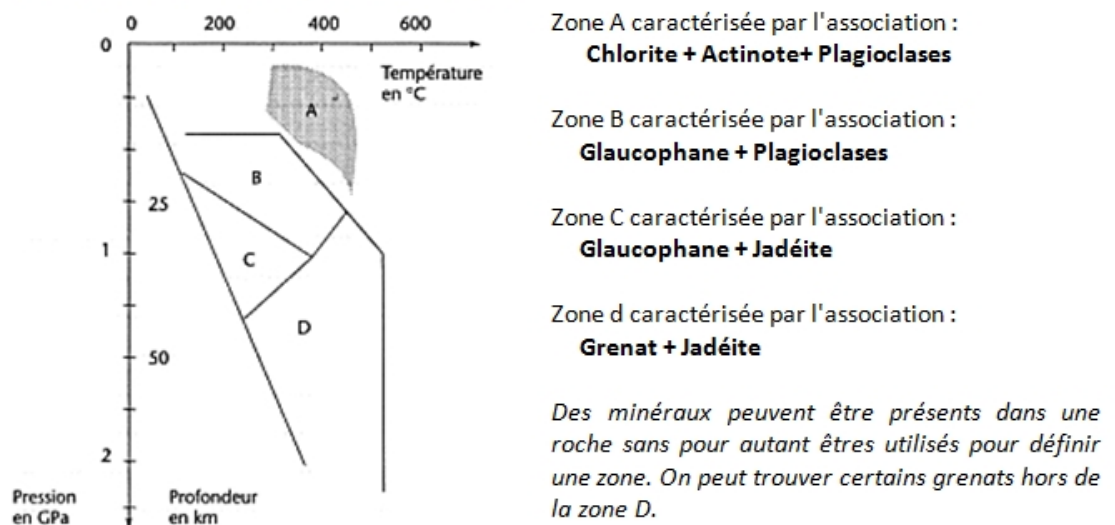


Figure 7. Les domaines de stabilité de quelques associations minérales déterminées expérimentalement pour des roches de composition basaltique.

Les fausses couleurs de la figure 4 reflètent les variations de composition du réseau cristallin du grenat. En effet, les grenats sont des solutions solides entre quatre pôles purs : l'almandin ($\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), le pyrope ($\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), le grossulaire ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), la spessartine ($\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$).

Atome	Rayon en 10^{-10} m
Fe	0,86
Mg	0,97
Ca	1,20
Mn	1,01

Figure 8. Les rayons ioniques de chacun des atomes des pôles purs du grenat (en réseaux cristallins octaédriques, correspondant à l'insertion dans un grenat).

11. À l'aide de la figure 8, justifiez l'affirmation selon laquelle la composition d'un grenat peut servir de géobaromètre. Faites le lien entre les résultats de la figure 8 et le dégradé de couleur de la figure 4.

L'analyse chimique globale des grenats de l'île de Groix donne des valeurs d'environ 72% en almandin (Fe), 8% en spessartine (Mn), 4% en pyrope (Mg) et 16% en grossulaire (Ca).

Des roches très similaires à celles de Groix ont été retrouvées en Vendée, à Bois-de-Cené. On souhaite savoir si leurs grenats présentent la même composition que ceux de l'île de Groix.

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	TiO ₂	MnO
Masses molaires	60,09	101,96	71,85	40,30	56,07	79,87	70,94
% massiques	38,3	21,45	34,60	0,91	3,53	0,12	3,75

Figure 9. L'analyse de la composition de grenats de Bois-de-Cené.

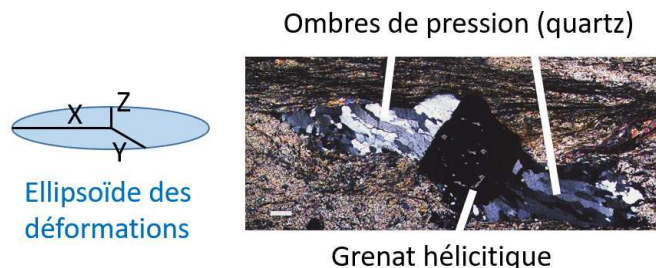
12. Convertissez les pourcentages massiques des oxydes des grenats de Bois-de-Cené en millimoles d'oxydes et en millimoles d'oxygène (pour une masse de 100 g de grenat).

13. Sachant que la formule structurale des grenats s'exprime sur une base de 12 atomes d'oxygène, déterminez la formule structurale de ce grenat.

14. Exprimez la formule structurale de ces grenats en pourcentages de pôles purs puis concluez quant à la parenté de ces grenats avec ceux de l'île de Groix.

Le métamorphisme de l'île de Groix : corrigé

1. Le protolithe majoritaire des roches de l'île de Groix est un **sédiment cambrien/ordovicien**, qui est métamorphisé dans le faciès des **schistes bleus**. On observe un **chevauchement** entre la zone concernant l'île de Groix [*les pointes de flèche du figuré sont dirigées vers l'île*]. Cette île constitue l'unité chevauchante (allochtone), et la zone de Ploemeur est l'unité chevauchée (autochtone). L'île de Groix forme une sorte de **klippe**.
2. La ligne d'apparition (ou de disparition) d'un minéral est une **isograde**. L'isograde du grenat suit le trait de séparation entre les zones II et III de la figure 1B, celle du clinopyroxène se trouve entre les zones I et II.
3. Les metabasites et métagabbros en faciès éclogites présentent très souvent du grenat : il faudrait donc échantillonner dans les zones I ou II où ce minéral est bien présent.
4. La roche de la figure 2A présente une structure en feuillets aplatis : elle est schisteuse. Elle renferme de la phengite, un mica blanc, et des grenats, reconnaissables à leur couleur rouge et à leur forme hexagonale : il s'agit donc d'un **micaschiste à grenat**.
5. Comme la roche ne présente pas de cassure, celle-ci a donc subi une déformation ductile (continue). On peut tracer un ellipsoïde des déformations, allongé dans le sens des plans de schistosité de la roche. Sur la microphotographie en LPA de la figure 2B, on observe une « hélice » au cœur du **grenat** : il s'agit d'un grenat hélicitique, dont l'apparition est **contemporaine** de la déformation de la roche : on qualifie ce grenat de minéral syn-cinématique et il confirme la nature ductile (continue) de la déformation. Sur microphotographie en LPA de la figure 2C, on observe deux **ombres de pression** de part et d'autre d'un grenat : celles-ci étant déformées, et le grenat étant hélicitique, cela indique que la déformation de la roche est **non coaxiale**. Elle présente une **composante rotationnelle = cisaillement simple** [*ce qui empêche de retrouver l'ellipsoïde des contraintes*].



6. On observe à l'île de Groix des roches basiques en faciès schistes bleus (roche de la figure 3) et éclogites (roche de la figure 4), caractéristiques du **métamorphisme de haute pression et basse température** que l'on rencontre dans les **subductions**. Il s'agirait des reliques d'une ancienne lithosphère océanique subduite.
7. La loi de décroissance radioactive permet d'écrire que : $Rb^{87}(t) = Rb^{87}_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$$\text{Donc : } Rb^{87}_0 = Rb^{87}(t) \cdot e^{\lambda t}$$

Par ailleurs, le Strontium 87 trouvé dans une roche a deux origines possibles : soit il était présent au moment de la fermeture du système, soit il a été produit depuis la fermeture par désintégration du Rubidium 87. On peut donc écrire :

$$Sr^{87}(t) = Sr^{87}_0 + (Rb^{87}_0 - Rb^{87}(t))$$

En combinant les deux expressions précédentes, on obtient :

$$Sr^{87}(t) = Sr^{87}_0 + Rb^{87}(t) \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

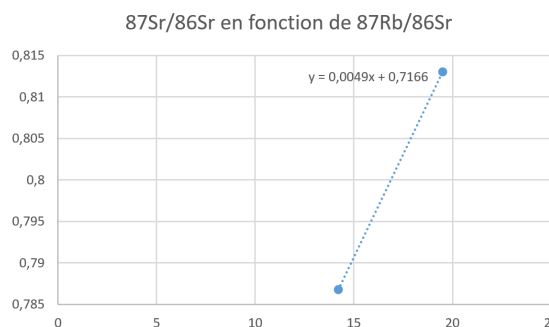
Comme l'âge de la roche est forcément très inférieur au temps de demi-vie, on a un λt proche de zéro, donc on peut faire l'approximation $e^{\lambda t} - 1 \approx \lambda t$ ce qui nous donne :

$$Sr^{87}(t) = Sr^{87}_0 + Rb^{87}(t) \cdot \lambda t.$$

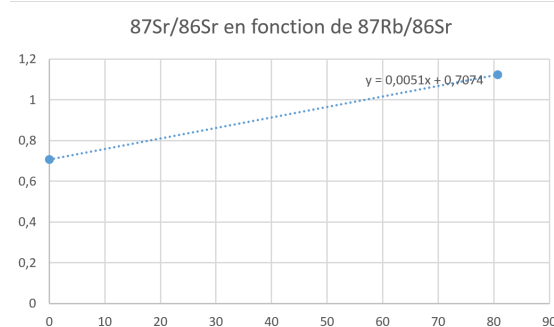
En normalisant par Sr^{86} , on obtient l'équation de la droite d'intérêt, appelée droite isochrone :

$$Sr^{87}(t)/Sr^{86} = Sr^{87}_0/Sr^{86} + Rb^{87}(t) \cdot \lambda t / Sr^{86}$$

8. En traçant les droites, on obtient un âge de 358 MA pour les schistes bleus et de 344 MA pour les schistes verts.



Faciès schistes verts

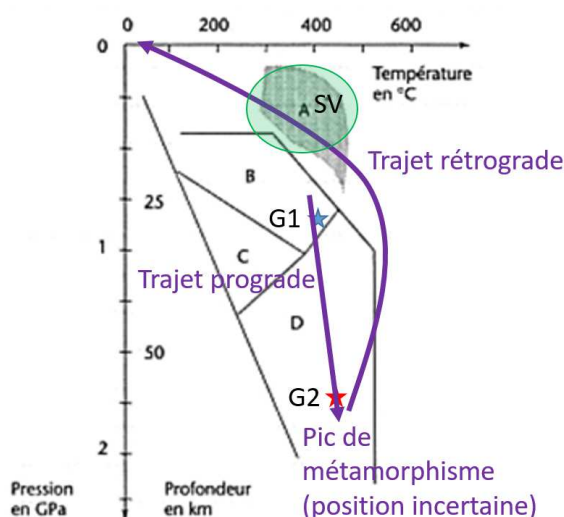


Faciès schistes bleus

Le faciès schistes verts étant plus récent que le faciès schistes bleus, on en déduit qu'il s'est formé lors du chemin **rétrograde**, c'est-à-dire lors de l'exhumation de la roche.

9. L'épidote forme une **couronne réactionnelle** autour du grenat. Par principe d'inclusion, le grenat est antérieur à l'apparition de l'épidote. Or, le grenat s'est formé en faciès éclogites : l'épidote (faciès schistes verts) s'est mise en place postérieurement, donc au cours de l'exhumation de la roche, ce qui confirme les déductions établies d'après les données radiochronologiques exploitées dans la question 8. *[Comme la couronne est petite, cela indique que la rétro-morphose est peu avancée, on peut donc supposer que l'exhumation a été rapide].*

10. Un chemin P,T=f(t) s'obtient en plaçant sur un diagramme PT différentes roches (ou associations minérales) rencontrées dans une même région et en les reliant entre elles.



11. Les réseaux cristallins ont tendance à rétrécir au fur et à mesure que la pression augmente, puisque la roche est compactée. On peut donc supposer que les grenats formés à profondeur modérée peuvent accueillir du calcium (grossulaire), alors que les grenats de grande profondeur vont accueillir de manière privilégiée le fer et le magnésium (almandin ou pyrope). La composition du grenat donne des informations sur la profondeur de formation : il s'agit donc d'un **géobaromètre**. Les couleurs rouges sur le figure 4 correspondent d'après la légende à des pressions, donc des profondeurs modérées et présenteront relativement plus de calcium au fer et au magnésium. Au contraire, les zones bleues ou violettes de la périphérie se sont formées à très fortes profondeurs et doivent contenir peu de calcium par rapport au fer et au magnésium.

12. SiO_2 représente 38,3% en masse du grenat, donc pour 100 g de grenat, on a 38,3 g de SiO_2 . Or, SiO_2 a pour masse molaire $60,09 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. On a donc $38,3/60,09 = 637 \text{ mmol}$ de SiO_2 . En appliquant le même raisonnement à tous les oxydes, on obtient :

Oxydes	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	CaO	TiO_2	MnO
Millimoles pour 100 g de grenat	637	210	482	22,6	63,0	1,5	53

Calculons la quantité d'oxygène pour une masse de 100 g de grenat :

$$2 \times 637 + 3 \times 210 + 482 + 22,6 + 63 + 2 \times 1,5 + 53 = 2528 \text{ mmol.}$$

13. L'énoncé précise que « la formule structurale des grenats s'exprime sur une base de 12 atomes d'oxygène ». Les 2528 mmol d'oxygène équivalent donc à 12 atomes.

En réalisant un simple produit en croix, on trouve que les 637 mmol de Si équivalent à $637 \times 12 / 2528 = 3$ atomes.

En appliquant le même raisonnement à tous les atomes, on trouve comme formule :



14. De la formule précédente, on extrait seulement les 4 atomes d'intérêt et on détermine leurs pourcentages respectifs. Le total est de $2,3 + 0,11 + 0,30 + 0,25 = 2,96$.

Pour Fe : $2,3/2,96 = 78\%$; pour Mg : 3,7% ; pour Ca : 10% ; pour Mn : 8,4%. On a donc des valeurs proches de celles des grenats de l'île de Groix. Il est probable que les deux types de grenats aient la même origine [d'autres données montrent que c'est bien le cas].

Sources

1 Bosse et al 2002, Journal of petrology, vol 43, Ductile Thrusting Recorded by the Garnet Isograd from Blueschist-Facies Metapelites of the Ile de Groix, Armorican Massif, France

2A <http://christian.nicollet.free.fr/page/Figures/glaucophane.html>

2B Yardley et al. 1990 Atlas of metamorphic rocks and their textures, Longmans

5 <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/glaucophanite-de-groix.xml>

3, 4 et 7 <http://svt-oehmichen.over-blog.fr/article-ds-terminale--geologie-type-iib-37994598.html>

6 <http://studylibfr.com/doc/2336973/les-grenats-de-l-ile-de-groix---tout-sur-les-grenats>