

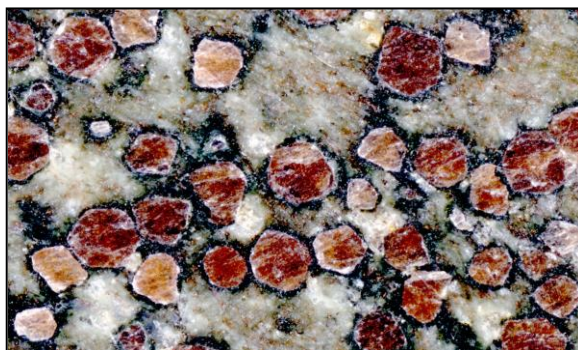
Entretien sur le métamorphisme n° V

oooooooooooo

Géodynamique et métamorphisme de hautes pressions

SOMMAIRE

1. Introduction	
<i>Rappel des Entretiens précédents</i>	page 3
2. Modèles géodynamiques	
2.1. Le modèle appliqué au métamorphisme régional de moyennes pressions : le gradient <i>dalradien</i>	page 4
2.2. Le gradient <i>franciscain</i> . Rétromorphisme	page 5
3. Le cas des metabasites du Bas Limousin : <i>éclogites, métaéclogites</i>	page 8
4. Le cas de l'île de Groix : glaucophanites et éclogites	page 18
5. Conclusion	
Petit lexique des termes et bibliographie	page 24
6. Annexe	
« <i>Petit atlas de paragenèses des éclogites du Bas Limousin</i> »	pages 26 à 36



*Textes, clichés et dessins de Dominique Rossier,
membre de la Commission de volcanisme de la SAGA.*

Entretien sur le métamorphisme n° V

Résumé

Géodynamique et métamorphisme de hautes pressions

L'Entretien précédant n° IV a fait place à la notion centrale de faciès métamorphique, dans l'espace pression/température. Le présent Entretien n° V est consacré à deux types très particuliers et plutôt rares de faciès : ceux qui n'apparaissent qu'à hautes et très hautes pressions. Ce sont les faciès des *glaucophanites* pour les températures inférieures à 400 °C et des pressions supérieures à environ 6 kbar, et des *éclogites* dans une large gamme de température au-dessus de 400 °C, et pour des pressions supérieures à 8 kbar.

La formation prograde des *éclogites* dans des conditions de hautes pressions et de hautes températures a une conséquence importante. Les minéraux des paragenèses obtenues en phase prograde sont dans un état métastable. Cela veut dire que lors du retour à des conditions normales de pression et de température, leur structure cristallographique devrait subir une série de changements de phase, par métamorphisme rétrograde. Un des principaux sujets de cet Entretien est de montrer que ce n'est pas toujours le cas et d'expliquer pourquoi !

Ces roches se présentent souvent comme des anomalies dans leur environnement. Aussi cet Entretien présente d'abord les conditions de leur formation, selon l'un des trois grands types « standards » de gradient : le gradient franciscain. Le modèle géodynamique exposé permet d'expliquer leur présence surprenante, en imbrication dans les roches métamorphiques banales du gradient dalradien. Ce modèle est complexe, car il fait appel à plusieurs phases successives, chacune faisant appel à des mécanismes distincts de la tectonique des plaques !

On se transporte ensuite sur le terrain pour observer ces roches. Tout d'abord en Bas Limousin, où les *éclogites* sont relativement abondantes. Cette région est favorable pour recueillir et identifier tous les états successifs de la rétro-morphose, c'est-à-dire du retour, plus ou moins hors d'équilibre, vers les conditions à la surface de la Terre. L'observation des lames minces au microscope polarisant est bien adaptée à la mise en évidence et à l'interprétation des mécanismes subtils de déstabilisation des assemblages initiaux.

Puis, sur l'île de Groix, où un heureux hasard a ménagé la coexistence de séries illustrant bien les deux faciès traversés par le gradient franciscain : les *glaucophanites* et les *éclogites* de la « pointe des Chats ».

Un petit lexique et une bibliographie sont fournis en fin d'Entretien, ainsi qu'un « *Petit atlas de paragenèses des éclogites du Bas Limousin* ». Ce dernier permet de se familiariser avec les minéraux et les textures caractéristiques des *éclogites* à divers stades de la rétro-morphose.

Dominique Rossier

1. Introduction

Rappel des Entretiens précédents

L'Entretien n° IV nous a permis de passer en revue l'évolution des conceptions sur le métamorphisme, en partant des notions de minéraux index de Barrow, ainsi que de la notion de *faciès* d'Eskola. Finalement, nous avons abouti à la conception élaborée par Miyashiro.

Ce dernier met en évidence, dans l'espace pression/température, l'existence de trois principaux types de métamorphisme, chacun caractérisé par son gradient (**planche 1**). La conception de Miyashiro reprend la notion de *faciès*, qu'il développe pour chacun des trois types de gradient.

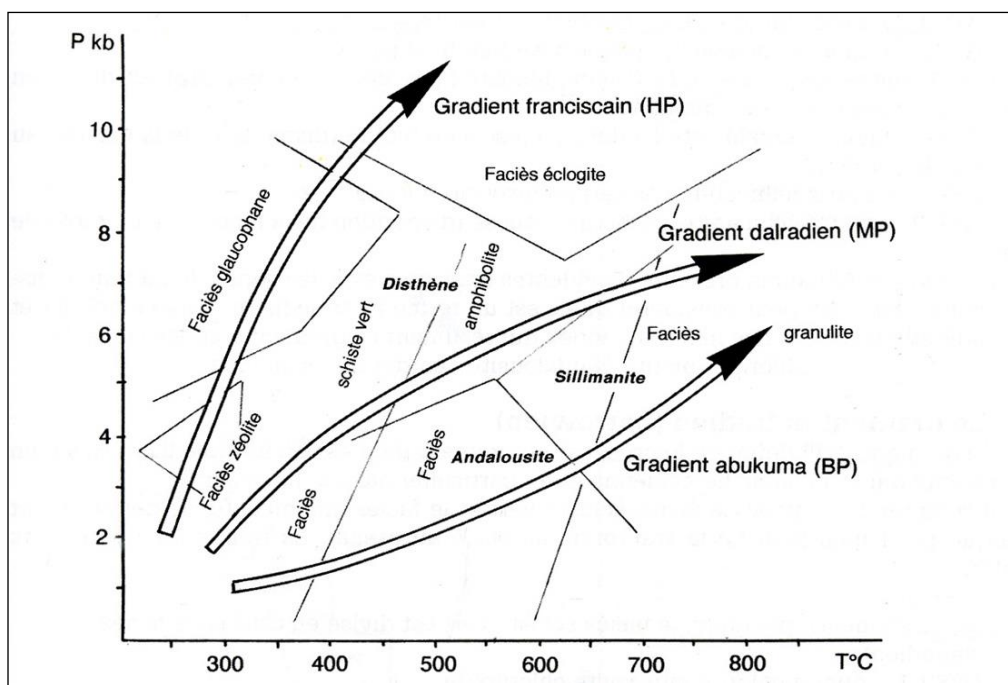


Planche 1. Les trois types de gradient du métamorphisme général : le gradient Abukuma à andalousite–sillimanite, le gradient dalradien à cyanite–sillimanite et le gradient franciscain à glaucophane–jadéite. Cette planche est tirée de « *Minéraux et roches métamorphiques* », par J.-Cl. Pons (voir bibliographie), et établie d'après Miyashiro. Ordonnée : pression exprimée en kilobars ; abscisse : température en degrés Celsius.

L'Entretien n° V va utiliser cette conception pour introduire le métamorphisme de hautes pressions, en abrégé « métamorphisme HP ». Mais, avant de montrer des exemples sur le terrain (Bas Limousin et île de Groix), il s'avère nécessaire de compléter notre compréhension intime du métamorphisme HP et des roches particulières qui lui sont associées, en l'éclairant à la lumière des modèles récents de géodynamique. Ces modèles font tous appel aux mécanismes tectoniques de base de la dérive des continents, auxquels s'ajoute le mécanisme dit « de l'équilibrage isostatique ». En effet, ce dernier demeure indispensable pour expliquer l'exhumation des roches métamorphiques, et nous le présenterons d'abord (§ 2.1), dans le cadre général du métamorphisme de moyennes pressions MP, dit dalradien. C'est aussi pendant cette exhumation que se produisent les transformations rétrogrades (rétromorphisme) qui rendent possible les paragenèses et textures des roches du métamorphisme HP (§ 2.2).

2. Modèles géodynamiques

2.1. Le modèle appliqué au métamorphisme régional MP de moyennes pressions : le gradient *dalradien*

Les conditions conduisant à ce type de métamorphisme, noté « MP » sur la **planche 1**, sont largement représentées en Europe hercynienne, de l'Écosse jusqu'au Massif central. Il est traité en détail dans l'Entretien n° VII consacré au métamorphisme régional du Bas Limousin.

La **planche 2** montre, dans l'espace Pression/Température (dit encore « espace P/T »), les différentes trajectoires suivies par les roches enfouies à des profondeurs croissantes, tout au long d'un cycle orogénique comme le cycle hercynien. Ce cycle résulte de la collision entre deux plaques continentales. Les trajectoires des roches dans l'espace P/T suivent la progression des géothermes (ou encore gradients thermiques), qui décrivent la variation de la température avec la profondeur d'enfouissement. La pression est directement liée à la profondeur.

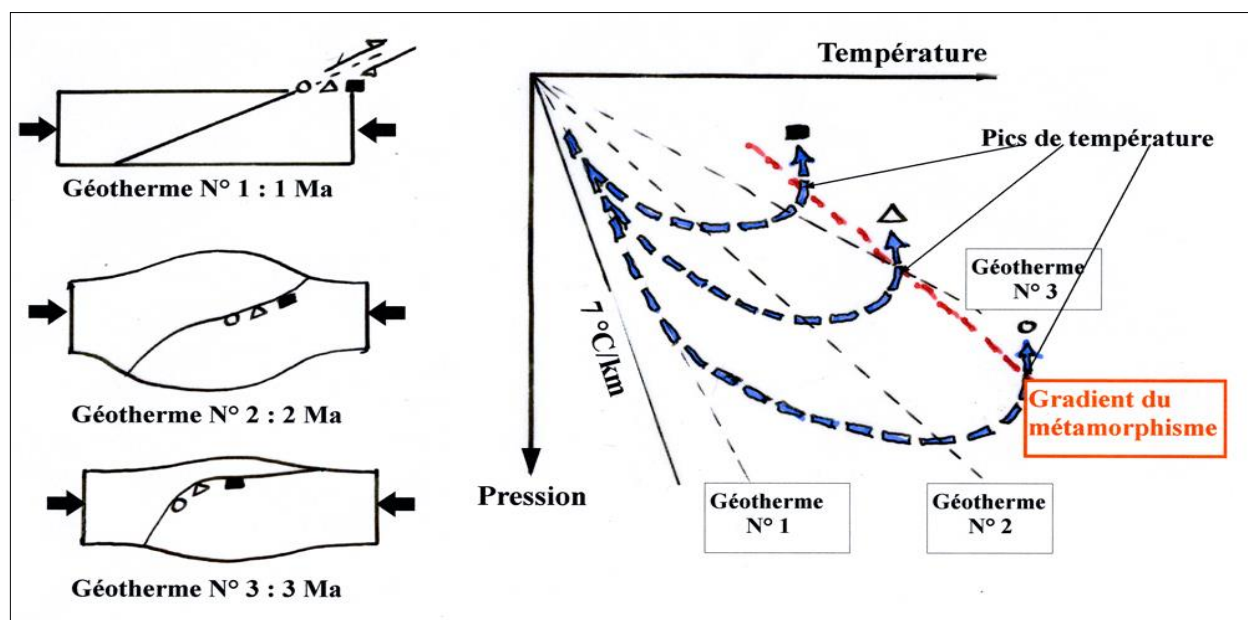


Planche 2. Métamorphisme de moyenne pression, dit « dalradien ». Il accompagne une orogénèse par collision de deux plaques continentales. **Ma** = million d'années.

Géothermes N° 1 et N° 2 : enfouissement avec évolution prograde.

Géotherme N° 3 : rééquilibrage isostatique et exhumation, avec évolution rétrograde.

Dans cette représentation de l'espace P/T, inverse de celle de la **planche 1**, l'axe des pressions est dirigé vers le bas (comme l'enfouissement !) et cette convention est conservée dans les Entretiens. Les petits signes (un carré, un triangle et un rond) symbolisent des roches enfouies à des profondeurs croissantes, au cours de l'orogénèse.

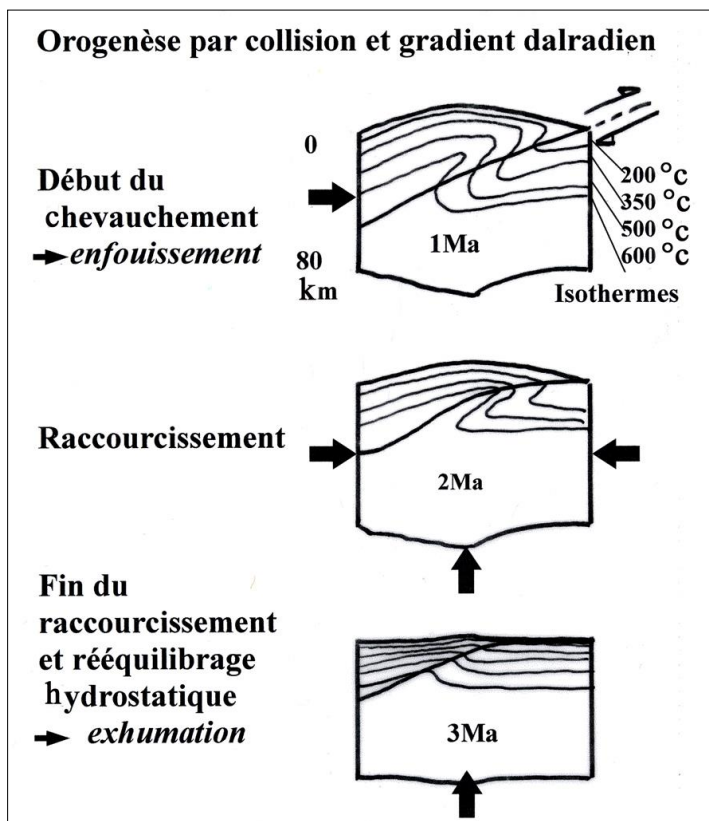
La **planche 3** (chevauchement par raccourcissement) montre comment les isothermes se déforment au cours des différentes phases de l'orogénèse. Les mécanismes de chevauchement lors d'un raccourcissement, puis d'équilibre isostatique, permettent d'expliquer des valeurs et l'allure de la courbe du gradient métamorphique MP, de moyennes pressions, dit dalradien.

La courbe d'un gradient MP passe d'abord par le faciès des *schistes verts*, puis par celui des *amphibolites* (**planche 1**), quelle que soit la séquence de la roche d'origine : pélites, grauweekes, tufs volcaniques ou même granitoïdes... De plus, cette courbe passe au voisinage du point triple des isomorphes des *silicates d'alumine*, parfois abondants dans les paragenèses de ces roches.

Sur la **planche 2**, la courbe du gradient métamorphique MP (en rouge) est associée aux pics de température atteints par les roches à profondeur croissante. Cette courbe est proche du géotherme du début de la partie rétrograde des trajectoires P/T suivies par les roches à différentes profondeurs.

Planche 3.

Déformation des isothermes par chevauchement, raccourcissement et rééquilibrage isostatique. Tiré de : *Métamorphisme et roches métamorphiques, signification géodynamique*. (J. Kornprobst, Dunod éd.).



L'anomalie de l'imbrication des roches métamorphiques HP dans les roches MP

Comme le montre la **planche 1**, ce type de gradient MP, très répandu, ne permet pas la mise à jour des roches typiques des hautes pressions que sont les roches à *glaucophane* et les *éclogites*. Pourtant, nous allons les trouver imbriquées à l'intérieur de régions occupées par les faciès des *schistes verts* et des *amphibolites*, aussi bien en Bas Limousin que sur l'île de Groix (**planche 5**). Avant d'aborder l'anomalie (ce sera fait à la fin du chapitre 3), mettons en place le scénario géodynamique conduisant à des conditions de hautes pressions.

2.2. Gradient franciscain. Rétromorphisme

La **planche 5** illustre le mécanisme tectonique qui conduit à cette situation extrême : c'est la subduction d'une croûte océanique sous une croûte continentale. Elle est caractérisée par une déformation des isothermes plus violente que celle représentée sur la **planche 3** (métamorphisme MP). Les isothermes sont « entraînés » par la plaque plongeant sous la croûte continentale, plus dense. L'équilibre thermique, par conduction dans les roches, n'a pas le temps de s'établir et la pression augmente avec la profondeur, au-delà de 10 kbar, alors que la plaque enfouie reste « froide » ! Les metabasites passent dans le faciès *schistes bleus*, à *glaucophane*.

Si l'enfouissement continue, la pression augmente encore, et la température finit aussi par atteindre le seuil du faciès des *éclogites*.

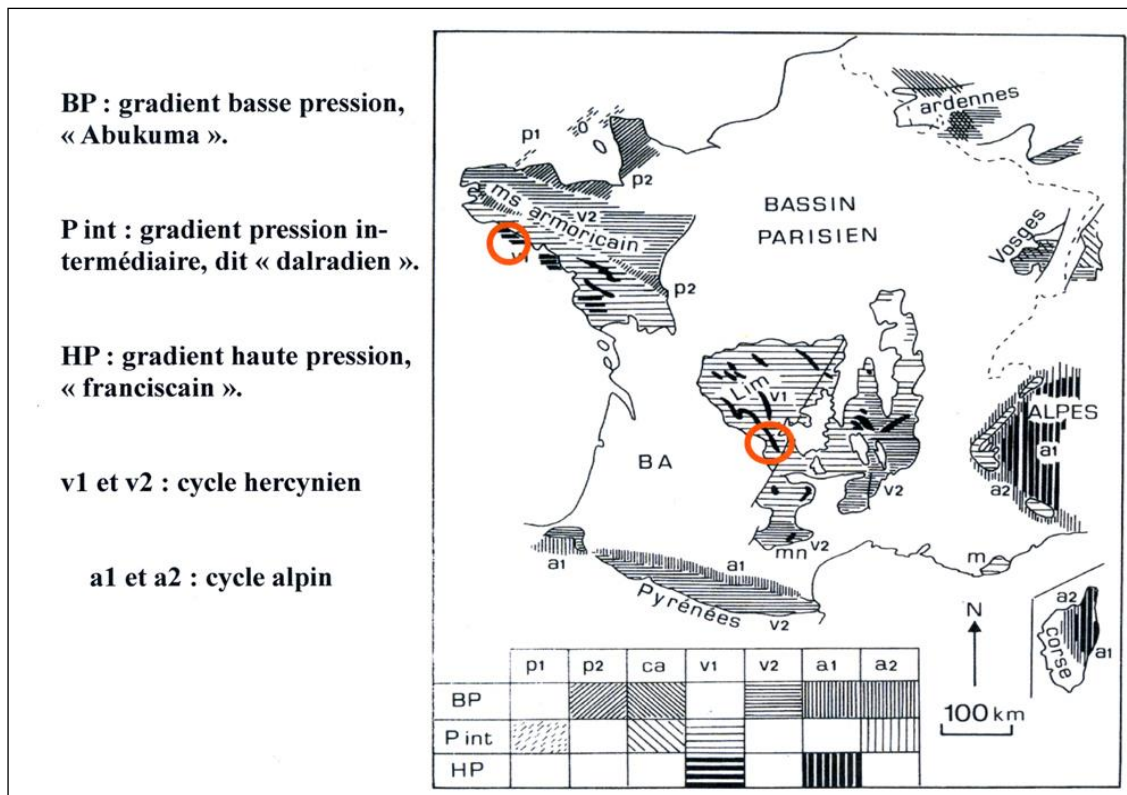


Planche 4. Répartition des séries métamorphiques sur le territoire français, en fonction de l'âge et du type de gradient, d'après Kornprobst (ouvrage cité). Les taches noires allongées représentent les essaims de roches métamorphiques de haute pression (éclogites et granulites), en reliques dans les roches de métamorphisme *dalradien*.

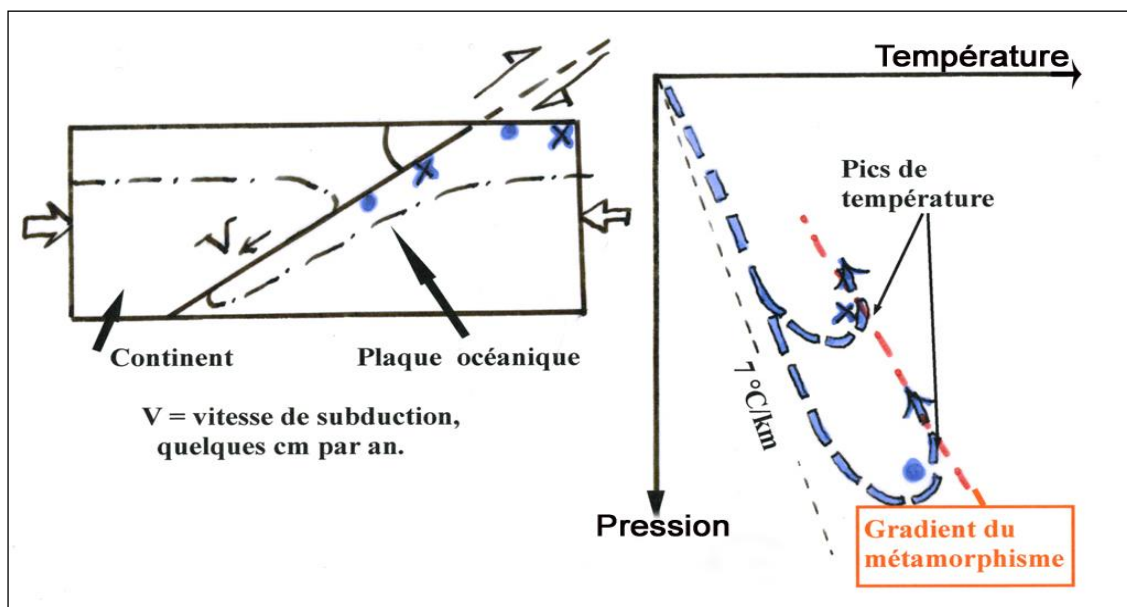
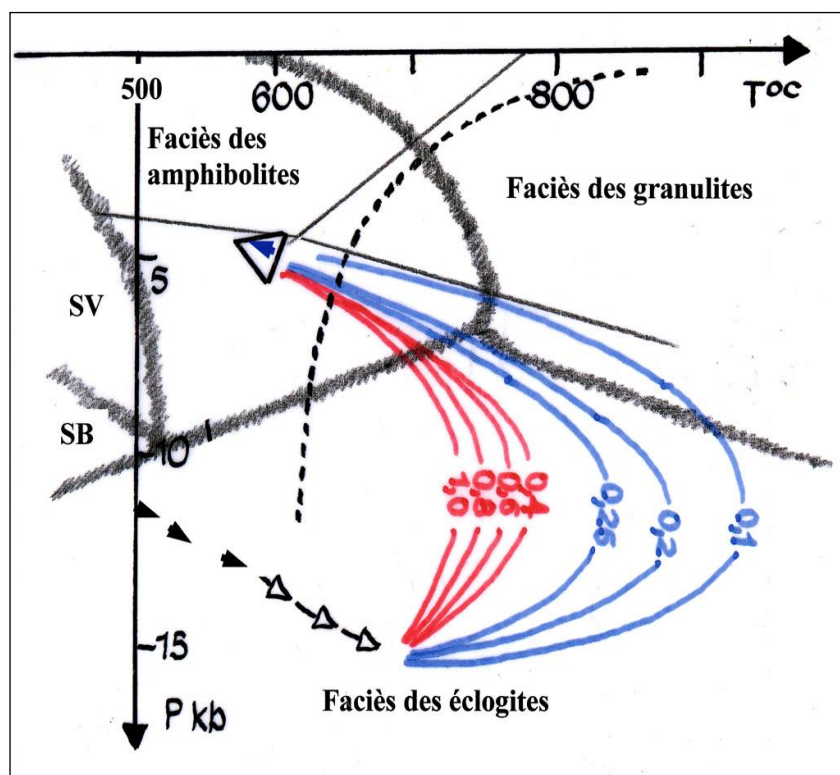


Planche 5. Métamorphisme de gradient haute pression, dit *franciscain*. Il accompagne la subduction d'une plaque océanique sous un continent, avec enfouissement rapide des roches de la plaque et déformation prononcée des isothermes (en traits interrompus). Toutefois, le faciès *schistes bleus* n'apparaît dans les metabasaltes que si l'exhumation qui suit l'enfouissement est très rapide !

Cependant, pour qu'il y ait une chance de faire apparaître à la surface (« exhumer ») les faciès à *glaucofane* et *éclogitique*, il faut qu'un événement tectonique relativement brutal et rapide interrompe l'enfouissement et détache une éaille de la plaque pour l'intercaler dans des terrains de la croûte continentale en cours d'exhumation (illustré par la **planche 24**, placée en conclusion du chapitre 3, page 17).

Les paragenèses observées seront donc celles apparues après décompression, diminution de la pression et dépassement du point de température maximum : ce sont des conditions de gradient rétrograde. On voit que d'importantes perturbations dynamothermiques sont nécessaires pour qu'une trajectoire dans l'espace P/T/t (pression/température/temps) aboutisse à un gradient franciscain.

Planche 6.
Gradient rétrograde
et vitesse de remontée d'une
unité crustale, en mm/an.
En bleu : association par
équilibre isostatique seul.
En rouge : exhumation
tectonique.
SV désigne le faciès des
schistes verts, SB celui
des schistes bleus.
Les traits hachurés épais
sont les séparations entre
les différents faciès.
(D'après Kornprobst,
ouvrage cité).



Nous allons maintenant examiner sur le terrain (chapitre 3) comment se présentent les roches métamorphiques issues de ce gradient. La carte de la **planche 4** donne la répartition en France des affleurements d'*éclogites* (faciès HP et HT) et de *schistes bleus* (faciès HP et BT). Pour la raison invoquée plus haut, illustrée par le modèle d'enfouissement par subduction de plaques océaniques fossiles, les séries métamorphiques attachées au gradient franciscain sont constituées de *métabasites*, qui apparaissent plutôt comme des anomalies au milieu de régions métamorphiques plus classiques. L'anomalie sera expliquée à la fin du chapitre 3.

Dans la suite de cet Entretien n° V, deux cas sont présentés :

- 1 - le cas des *éclogites* des flancs est et nord-est de l'anticlinal de Tulle, en Bas Limousin, anomalies dans un contexte régional dalradien ;
- 2 - le cas des *glaucophanites* de l'île de Groix, intercalées dans les schistes et les gneiss du sud de la Bretagne.

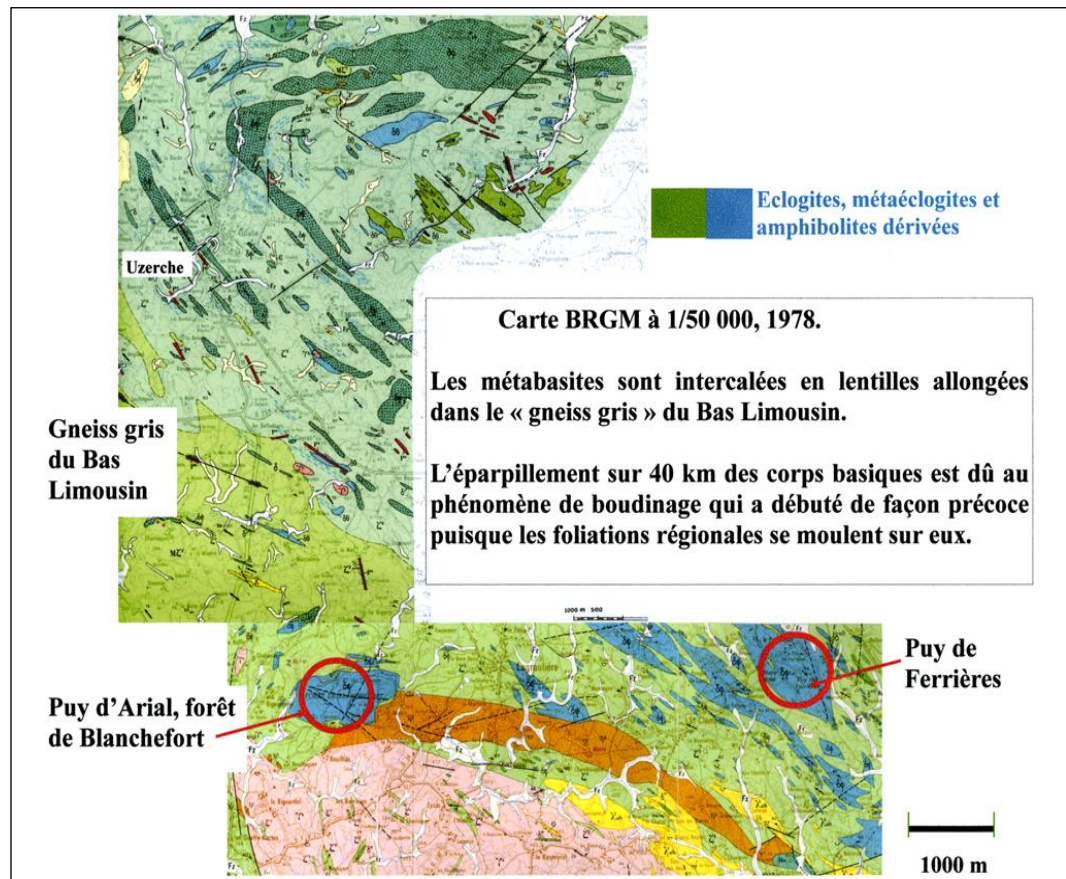
En cas de difficulté de compréhension d'un terme, consulter le petit lexique du chapitre 5.

3. Le cas des metabasites du Bas Limousin : *éclogites et métaéclogites*

Les formations métamorphiques de la feuille de Tulle sont impliquées dans une histoire tectonique relevant de plusieurs phases de déformation : cette histoire est reconstituée dans l'Entretien n° VII, sur le métamorphisme régional. Dans le cadre du présent Entretien sur le métamorphisme de hautes pressions, nous allons nous intéresser à des formations toutes localisées dans les parties est et nord-est de l'anticlinal de Tulle. Elles sont remarquables par leurs paragenèses particulières : ce sont des *éclogites* formées dans des conditions anhydres de hautes pressions et hautes températures, et surtout des *métaéclogites*, dérivées de ces *éclogites*.

Les *métaéclogites* de la région de Tulle et d'Uzerche occupent de très nombreux petits massifs, souvent étirés, et dispersés sur plus de 40 km suivant un axe sud-est/nord-ouest, comme on peut le voir sur la **planche 7**. Elles correspondent à un stade précoce de haute pression, précédant le stade principal de métamorphisme dalradien de l'âge dévonien, lequel a complètement façonné les roches métamorphiques du Bas Limousin.

Planche 7.



La paragenèse *éclogitique* initiale (*éclogites* saines) a été observée en de rares endroits, et seulement sur la feuille d'Uzerche. Elle est constituée de l'assemblage, visible sur la **planche 8** :

omphacite + grenat ferromagnésien.

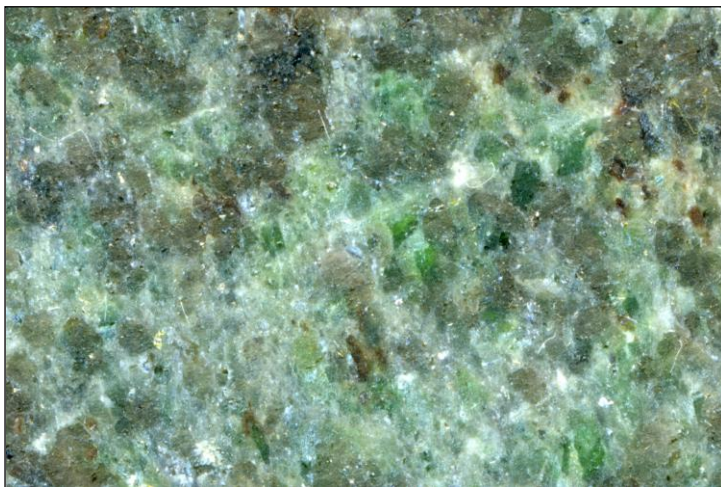
Arrêtons-nous un instant sur cette paragenèse exceptionnelle. En effet, alors que les *amphiboles* sont très bien représentées dans les roches métamorphiques, les *pyroxènes*, et plus précisément l'*omphacite*, sont plus rares. Les températures relativement moyennes qui règnent durant le métamorphisme, et la présence d'eau, ne favorisent pas la genèse de minéraux anhydres et de haute

température. La **planche 10** décrit la famille des *pyroxènes* du métamorphisme. La texture présentée par une *éclogite* saine est illustrée par la coupe polie de la **planche 8**.

Elle est massive et constituée d'un pavage biminéral de grenats et de *clinopyroxènes* d'abondance et de taille comparables (jusqu'à 1 mm). Les fissures dans les gros cristaux sont toutes orientées dans une direction oblique par rapport au rubanement de l'affleurement. Ce rubanement se traduit par un alignement et un léger étirement des deux types de cristaux. Les grenats sont brun rosé. Les pyroxènes sont verts et certains sont d'un beau vert vif, qui rappelle le diopside coloré par le chrome de certaines roches basiques.

Planche 8.

Coupe polie dans un échantillon prélevé sur l'affleurement de La Vergne, près de Benayes, à proximité de Masseret (Corrèze). Cet affleurement remarquable a été présenté à l'auteur par MM. J. Céron et G. Chantepie, du GAGN.



La détermination des *clinopyroxènes* se fait sur lames minces. Il s'agit d'*omphacite*, déterminée par les couleurs en LPA (lumière polarisée analysée) et par l'angle d'extinction. Ce dernier est mesuré entre la direction des petites stries de clivage et celle de l'extinction. Il n'y a qu'une direction de clivage visible. Les détails sont donnés dans le « **Petit atlas de paragenèses des éclogites du Bas Limousin** » de l'annexe du chapitre 6. Bien que relativement « fraîche », l'*éclogite* de ce site présente un début de déstabilisation, qui se traduit par des cordons de *kélyphite*, comme on le voit sur les deux clichés de la **planche 9**.

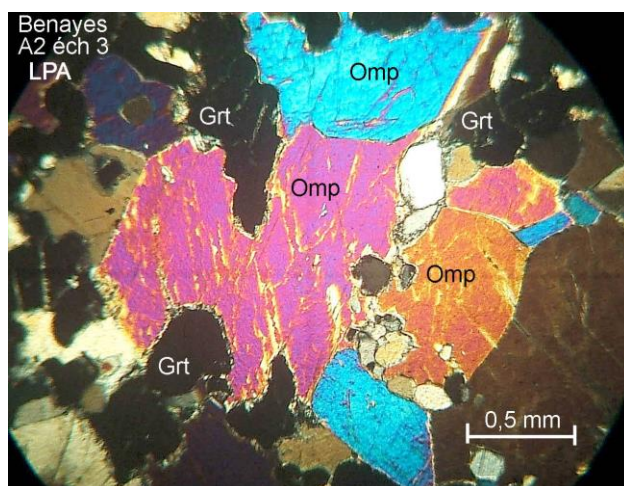
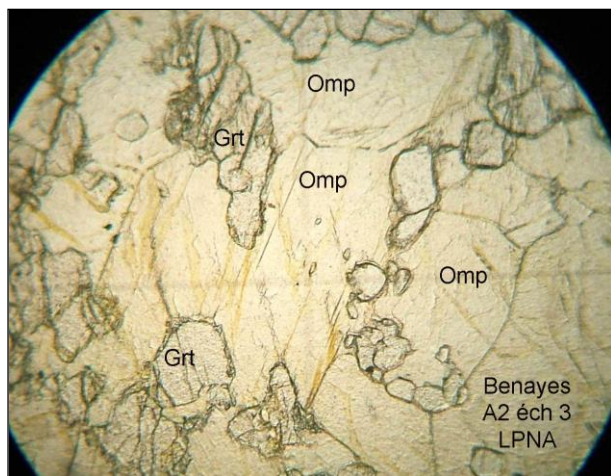


Planche 9. En LPNA (à gauche), les cristaux de *clinopyroxène* sont incolores. Les couleurs en LPA (à droite) sont très vives et vont jusqu'au bleu du début du 2^e ordre, soit une biréfringence de 0,022 à 0,023, qui correspond à la biréfringence moyenne pour les *omphacites*. Presque toutes les interfaces entre *pyroxènes* sont marquées par un mince cordon réactionnel de *kélyphite* inférieur à 0,1 mm d'épaisseur.

L'omphacite est un véritable indicateur des hautes pressions

En effet, c'est une solution solide anhydre de deux ou trois termes ne pouvant cohabiter que sous haute pression :

- le **diopside**, *clinopyroxène* calcomagnésien, $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$;
- la **jadéite**, *clinopyroxène* aluminosodique, $\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$;
- l'**aégyrine**, *clinopyroxène* sodoferrique, $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$.

Il s'agit donc d'un composé métastable (voir le lexique au chapitre 5).

Enfin, une *éclogite* non rétrotransformée est complètement dépourvue de *plagioclase*, et ce caractère négatif est même essentiel pour sa définition. La **planche 10** rappelle quelques données de base sur les *clinopyroxènes* du métamorphisme.

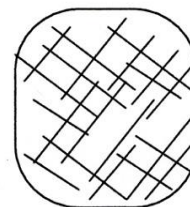
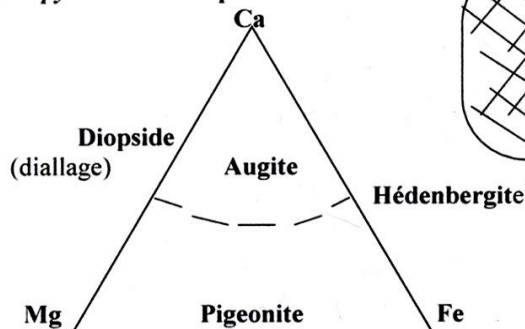
Planche 10.
Les *omphacites*
(ou encore *omphazites*)
sont intermédiaires entre le *diopside*
(*clinopyroxène* calcique) et la *jadéite*
(*clinopyroxène* sodique).
Elles sont souvent chromifères,
ce qui explique leur couleur
vert émeraude.
L'*omphacite* est
totalement
anhydre.

**La famille des *pyroxènes* du métamorphisme :
clinopyroxènes ferromagnésiens calciques
et *clinopyroxènes* alcalins**

Pyroxène, du grec *puros* = feu, et *xenos* = étranger.

Ce sont des inosilicates en chaîne simple, monocliniques.
Prismes à section rectangulaire, à angles tronqués,
montrant en général deux clivages presque orthogonaux.

***Clinopyroxènes* calciques**



Le diopside est commun dans les cornéennes .

***Clinopyroxènes* alcalins**

Aégyrine : $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$

Jadéite : $\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$

Paradoxalement, il est possible d'observer tous les degrés de déstabilisation, même dans un cas aussi exceptionnel que celui de l'affleurement d'*éclogite* « saine » de la **planche 9**. En effet, ces phénomènes se produisent très localement dans la roche au voisinage d'une fissure, celle-ci laissant s'introduire les fluides à hautes températures nécessaires à l'évolution rétrograde.

Les observations sont reportées dans le « **Petit atlas de paragenèses des éclogites** » de l'annexe (chapitre 6).

Cependant, la paragenèse la plus répandue sur l'ensemble des corps de metabasites est celle des *éclogites* dites rétrotransformées. Elle correspond au début de l'hydratation des *éclogites*, lors de la décompression rapide qui a précédé les déformations responsables de la première phase du métamorphisme dalradien du Bas Limousin. De nombreux échantillons ont été prélevés au puy de Ferrières et au puy d'Ariel (forêt de Blanchefort), de façon à disposer d'une certaine variété d'aspects, correspondant à des états de rétrotransforme de plus en plus poussés.

Examinons la **planche 11** et le dessin interprétatif sur la **planche 11 bis** : la photo est prise en lumière normale et en réflexion sur une surface polie. Les *grenats* ferromagnésiens, souvent parfaitement automorphes, sont de dimension millimétrique à plurimillimétrique, et disposés assez uniformément et densément dans une matrice blanc à gris nacré, de texture fine. Ils sont de couleur rose à rouge vif, avec une frange claire très mince à la périphérie (*amphibole* magnésienne incolore) : cette frange les sépare de leur couronne réactionnelle vert sombre qui est la signature la plus spectaculaire de la rétrotransforme.

Dans le cas présent, il s'agit d'un début de transformation rétrograde rapide et hors d'équilibre, qui ne parvient pas à son terme. La texture de cette couronne, dite « symplectique », sera étudiée plus loin à partir de lames minces. Les analyses à la microsonde électronique ont établi que ces grenats *pyrope* sont zonés et enrichis progressivement vers le cœur en *almandin*.

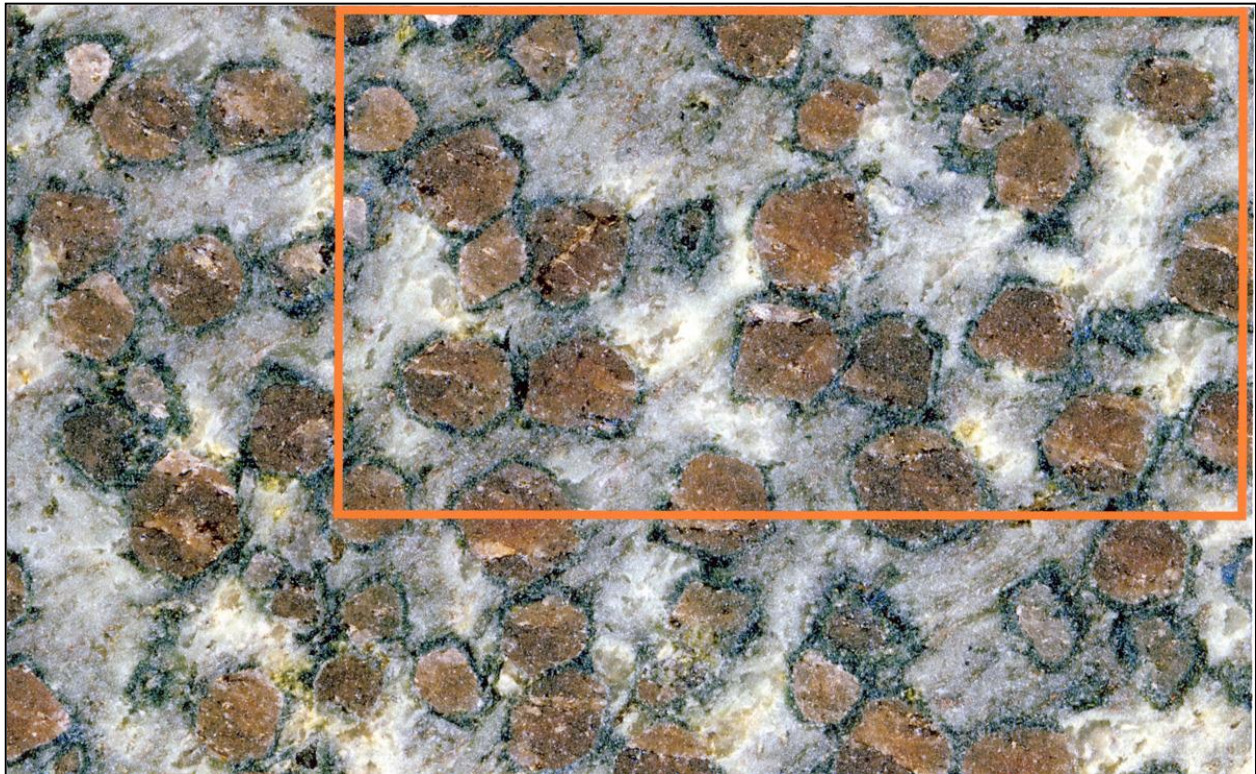


Planche 11. Métaéclogite à un stade précoce de kélyphitisation. Coupe polie.
(Voir la signification de kélyphite dans le lexique du chapitre 5).

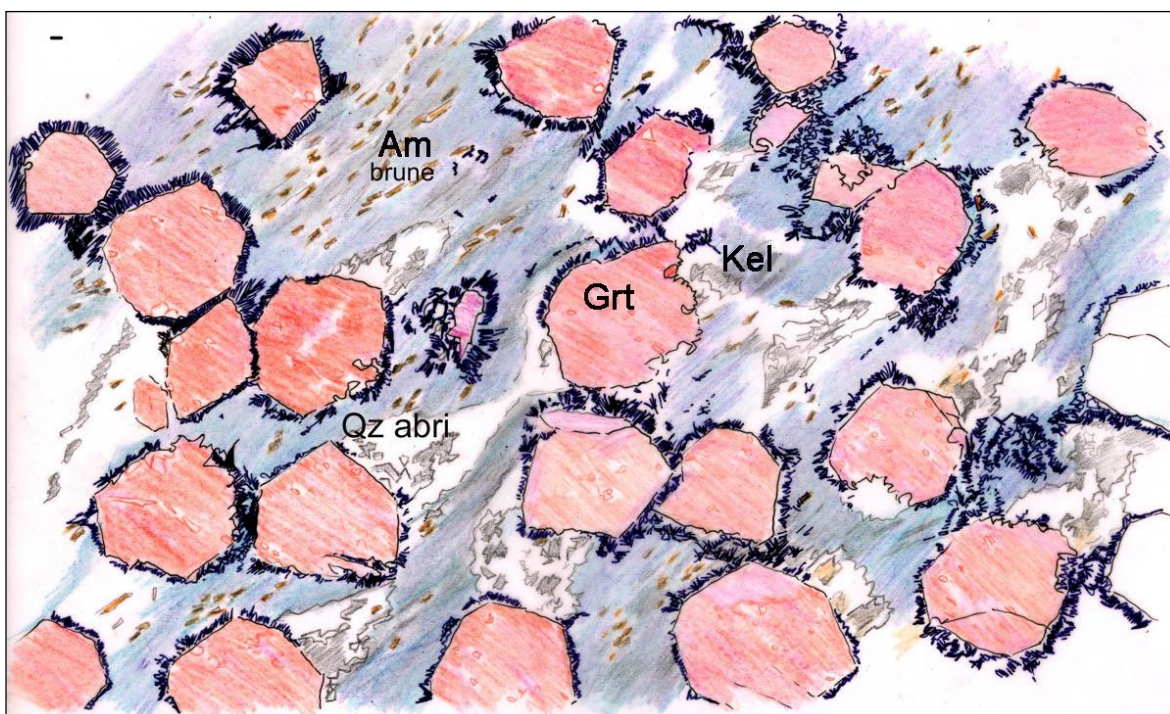


Planche 11 bis. (Dessin d'interprétation de la **planche 11**).

Les *pyropes* **Grt** sont entourés d'une trame fine de kélyphite **Kel**.

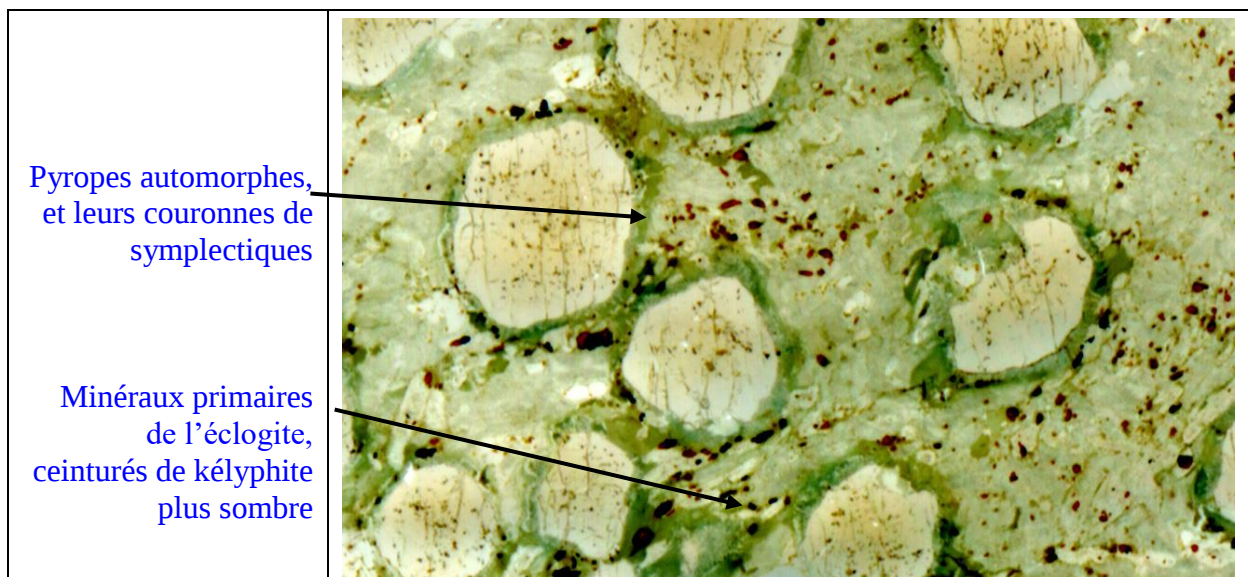
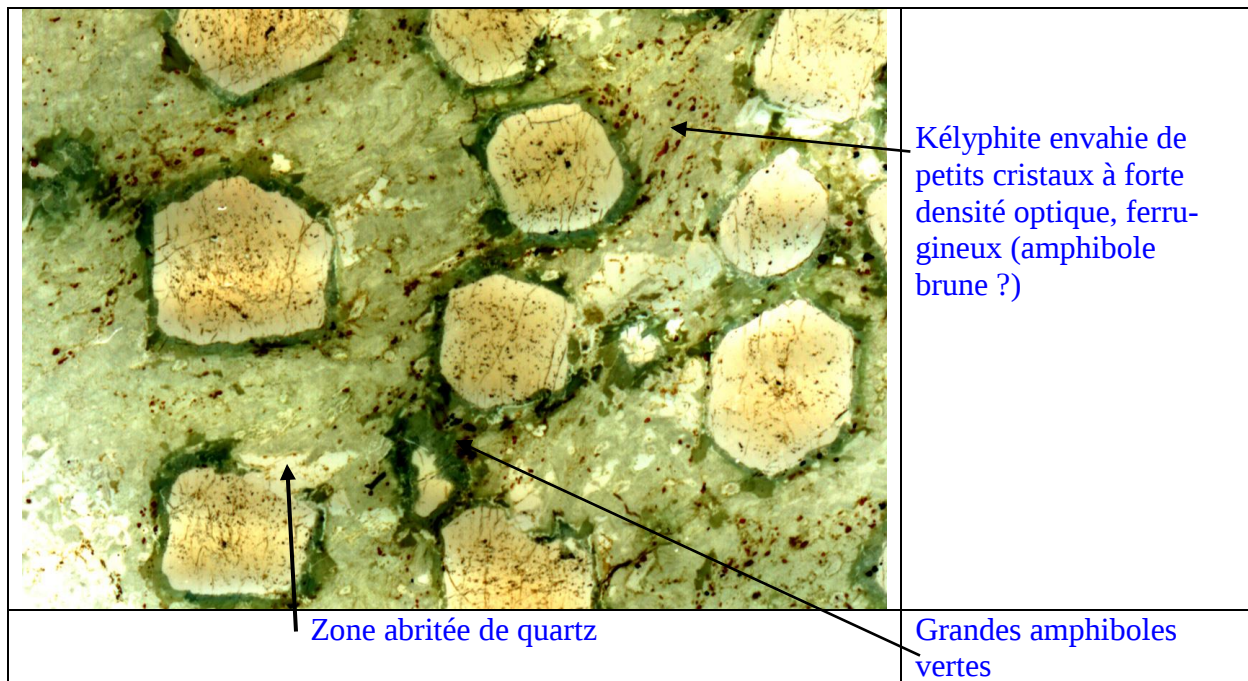
La linéation d'entraînement, liée au boudinage des corps éclogitiques, est soulignée par la disposition des *amphiboles* brunes : **Am brune**. L'orientation de la déformation est aussi visible sur les « zones abritées » des *grenats*, de forme triangulaire typique, où le quartz cristallise : **Qz abri**.

L'interprétation fine se fait sur la lame mince taillée sur le même échantillon d'*éclogite* (**planches 12 et 13**). On observe nettement l'étroite couronne vert foncé qui ceinture tous les *pyropes* ; certains présentent de petits golfes de corrosion. La trame de la matrice est très fine et difficilement résolue : il s'agit d'une *kélyphite*, qui se substitue à l'*omphacite* rendue instable.

C'est une association digitée complexe des produits de recristallisation que sont l'amphibole verte et le plagioclase. La présence d'*amphibole* néoformée apporte bien la preuve de l'introduction d'eau dans la roche rétro-morphosée. La kélyphite est organisée en cellules globuleuses ou allongées, de largeur de l'ordre de 0,1 mm, disposées parallèlement les unes aux autres pour former un rubanement orienté dans la même direction. Quelques-uns des minéraux primaires (*cyanite*, *zoïsité*) de l'*éclogite* subsistent à l'état de reliques et sont finement ceinturés d'un liseré de kélyphite plus sombre ; ces reliques sont très allongées dans le sens du rubanement. Les termes de kélyphite et de symplectique sont définis dans le lexique (chapitre 5).

La matrice de kélyphite est ponctuée d'amphiboles brunes en prismes courts, qui parfois s'alignent suivant les lignes de flux du rubanement.

Des planches détaillées sur lames minces, montrant à plusieurs grossissements la structure des couronnes *symplectites* et de la trame de kélyphite, sont présentées dans le « **Petit atlas de paragenèses des éclogites** » de l'annexe (chapitre 6).



Planches 12 et 13.

Lames minces taillées sur des éclogites dans un stade avancé de rétro-morphose.
Lumière naturelle.

Sur le terrain, on observe toute la gamme des transformations de l'éclogite primitive, d'abord par kélyphitisation, puis amphibolitisation de plus en plus poussée. La **planche 14** est prise sur une lame mince taillée dans une *éclogite* où l'amphibolitisation a commencé à la périphérie de la couronne symplectique. Cette dernière est bien développée et l'interdigitisation des microcristaux concentriques de *plagioclase* avec ceux d'*amphibole* est visible et renforcée sur les dessins d'interprétation associés (**planches 15 et 16**).

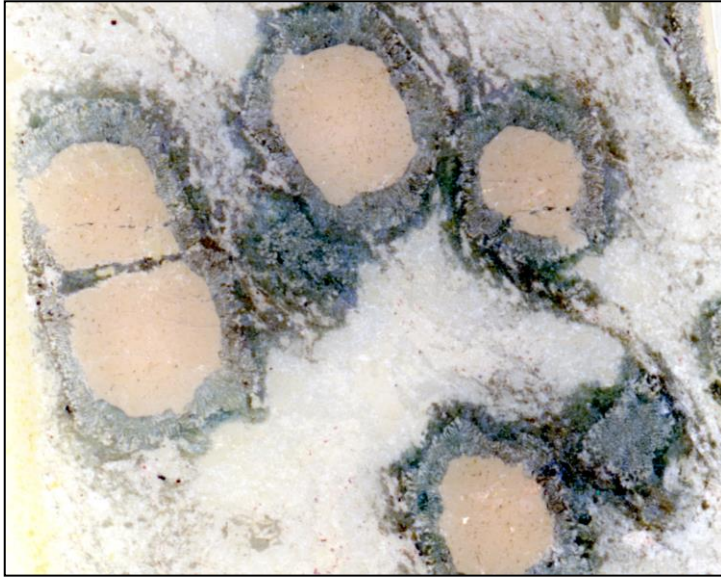
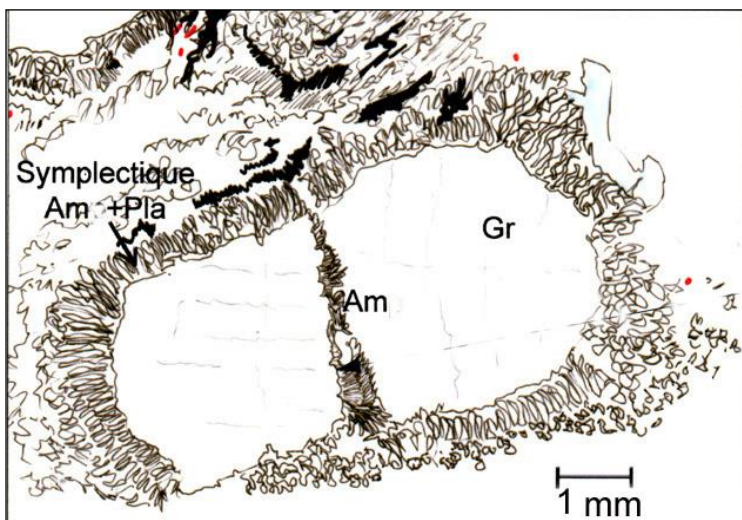
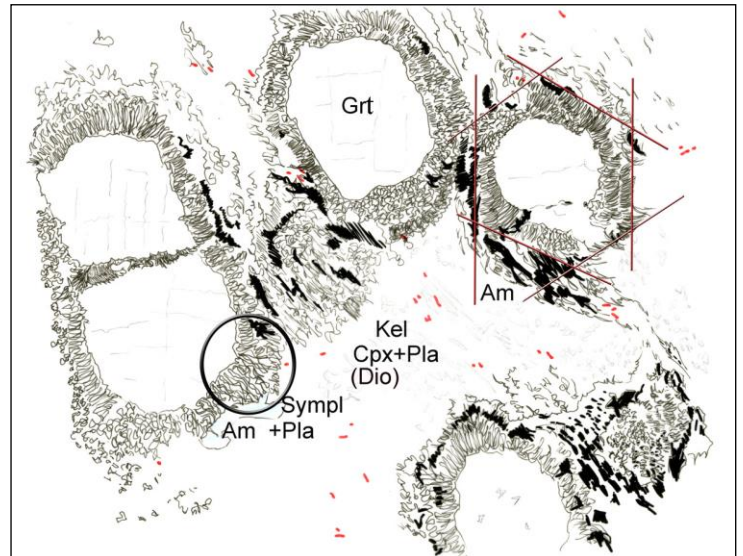


Planche 14.

Les *pyropes* sont entourés de deux couronnes, la première étant un symplectite, la seconde de grandes *amphiboles* vert sombre, entraînées dans le rubanement.

L'*omphacite* est déstabilisée en kélyphite composée de très fins cristaux de *diopside* et de *plagioclase* entremêlés. Observation en lumière naturelle.

Planches 15 et 16.
Dessins d'interprétation de la photo de la **planche 14**.
Les traits rouges soulignent les contours géométriques du *pyrope* primitif, avant rétromorphose.



La zone étroite entre les deux *pyropes*, sur le dessin de détail ci-contre, est exclusivement constituée d'*amphibole*, la réaction avec l'*omphacite* éloignée ne pouvant pas se faire. (Dessins D. Rossier).

Le stade ultime d'amphibolitisation est observé dans un autre corps de *méta-éclogite* : le puy d'Arial, dans la forêt de Blanchefort, localisée sur la **planche 7**. Avec le développement de l'amphibole verte, la *méta-éclogite* devient sombre, les grenats de plus en plus petits, et une couronne plagioclasique blanche (*andésite*) apparaît, qui finit par les envahir complètement (**planche 17**). Le *diopside* disparaît entièrement au profit de la *hornblende*. La texture devient granulaire mais, en même temps, le rubanement se développe par étirement, comme on peut l'observer sur la **planche 19**, obtenue par photographie de la surface polie d'un échantillon du puy d'Arial, dessiné sur la **planche 18**. Il s'agit d'une *amphibolite*, quasi banale, à nodules plagioclasiques de grande taille, qui retiennent encore la forme géométrique de gros grenats complètement transformés.

Le cœur des nodules est occupé par un granule, relique d'un minéral à fort relief non identifié, avec une zone concentrique formée d'une mosaïque équante de grains polygonaux de *plagioclase*. **Planches 20 à 23** : photos sur faces sciées et polies, et dessins d'interprétation.



Planche 17.
Métaéclogite
amphibolitisée,
du puy d'Arial,
à texture finement
granulaire.

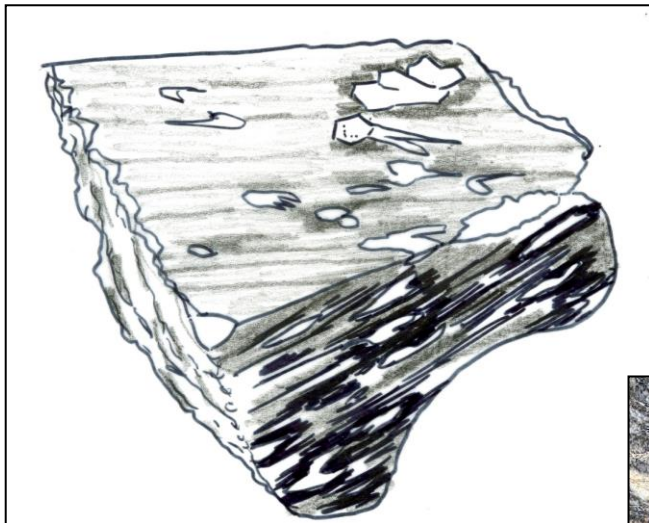


Planche 18.
Linéations d'étirement
sur un bloc de *méta-éclogite* amphibolitisée,
à nodules plagioclasiques.
(Dessin D. Roissier).



Planche 19.
Face polie parallèle au plan d'étirement de
l'*amphibolite* à nodules plagioclasiques.

Planches 20 à 23.
Méta-éclogite du puy d'Ariel,
 complètement transformée
 en amphibolite à nodules
 plagioclasiques. Texture
 granoblastique de recuit.

Planche 20.

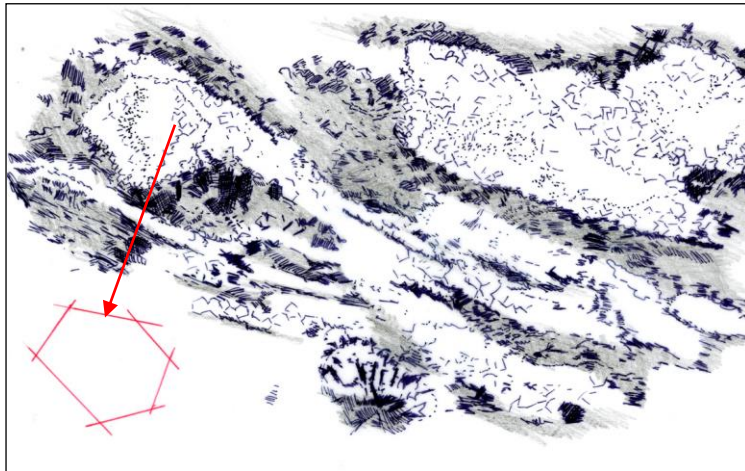
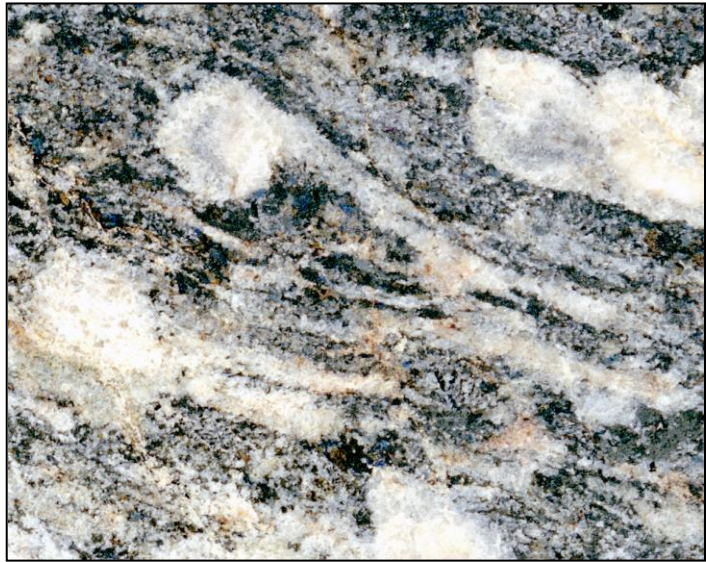
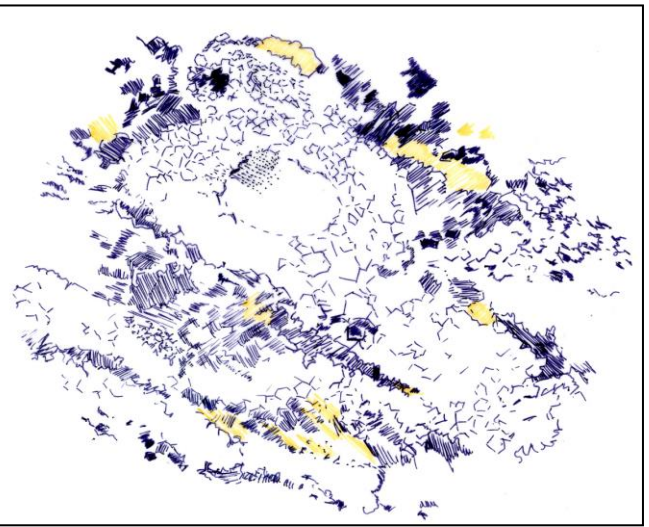


Planche 21 (dessinée).

Seule subsiste la forme du grenat fantôme, complètement transformé en plagioclase. Elle est reproduite sous la forme d'un polygone en traits rouges, en dessous du dessin.



Planches 22 et 23 (dessinée). Nodule en forme d'amande de *plagioclase* sur un fond rubané de *hornblende*, de feldspath et de quartz. L'amande est constituée d'un gros noyau monocristallin entouré d'une écorce formée d'une mosaïque équate de grains polygonaux, à joints à 120°.

***Nota sur les « amphiboles brunes »,
mentionnées plus haut à propos des planches 12 et 13.***

Au fur et à mesure que la rétro-morphose progresse, la fraction *aégyrine* $[\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2]$ de l'*omphacite* déstabilisée se sépare et réagit pour former des produits de réaction ferrugineux, qui opacifient en partie la kélyphite. Certains auteurs ont identifié, dans ces produits de réaction, ce qui est communément appelé *amphibole brune* et qui paraît fortement colorée, en lame mince examinée en lumière naturelle, avec pléochroïsme intense dans les brun et brun rouge.

Elle fait partie des *amphiboles* sodocalciques. On la trouve surtout dans les basaltes (*amphibole* basaltique) mais aussi dans les roches ultrabasiques, d'après l'ouvrage de Roubault et *al.* : « *Détermination des minéraux des roches* ». (Éditions Lamarre-Poinat).

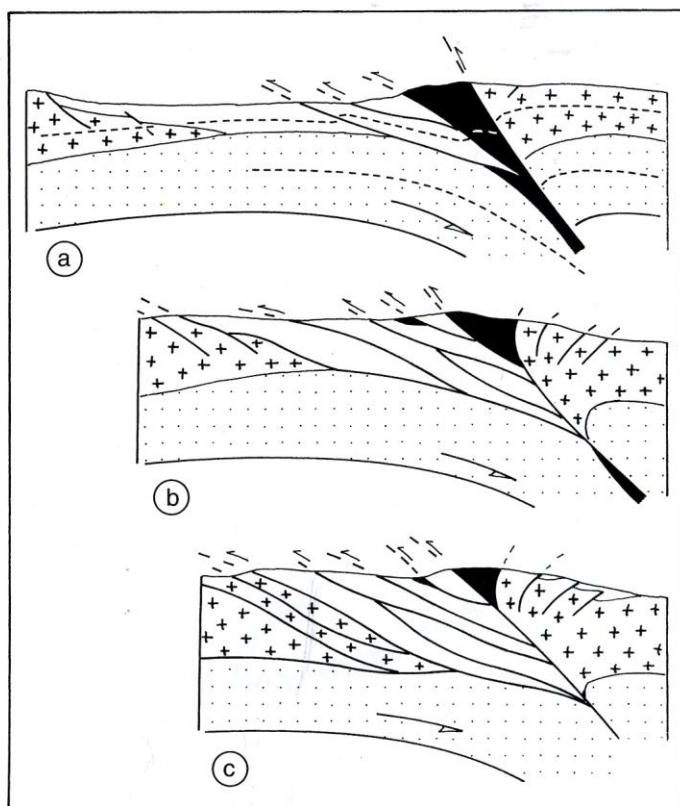
En conclusion

Rappelons l'anomalie de la présence de ces roches reliques de haute pression, étrangères à priori au contexte général de la région métamorphique du Bas Limousin !

Le paradoxe est levé en considérant que ces corps de méta-éclogites ne doivent pas être compris dans une logique stratigraphique, mais comme des écaillés d'un épisode précoce (Ordovicien-Silurien), reprises dans les semelles tectoniques au cours du cycle hercynien. Elles en sont donc séparées par des contacts anormaux (**planche 24**).

Planche 24.

- (a) : le biseau continental s'insère dans la subduction à la suite de la croûte océanique.
- (b) : le manteau lithosphérique poursuit son mouvement de subduction. Les écaillés du manteau continental s'empilent les unes sur les autres. C'est le sous-charriage.
- (c) : blocage de l'enfouissement. Les unités les plus hautes dans la structure ont subi les stades précoces d'enfouissement et une exhumation tectonique qui se traduit par des réactions rétrogrades. (D'après Kornprobst, ouvrage cité).



4. Le cas de l'île de Groix : *glaucophanites et éclogites*

L'île de Groix offre un second exemple remarquable de conservation de la mémoire des épisodes tectoniques, en quelque sorte gravée dans les roches métamorphiques.

Ce paragraphe ne prétend pas retracer l'ensemble complexe des données de zonation et de phasage du site, qui font l'objet d'une abondante littérature. Nous nous contenterons de présenter deux types de roches choisies dans la zone de métamorphisme d'intensité la plus forte : elle est désignée par le terme **zone I** dans la notice de la carte géologique à 1/25 000 du BRGM, et elle est localisée entre le port de Locmaria et la pointe des Chats (voir la carte géologique reproduite sur la **planche 25**).

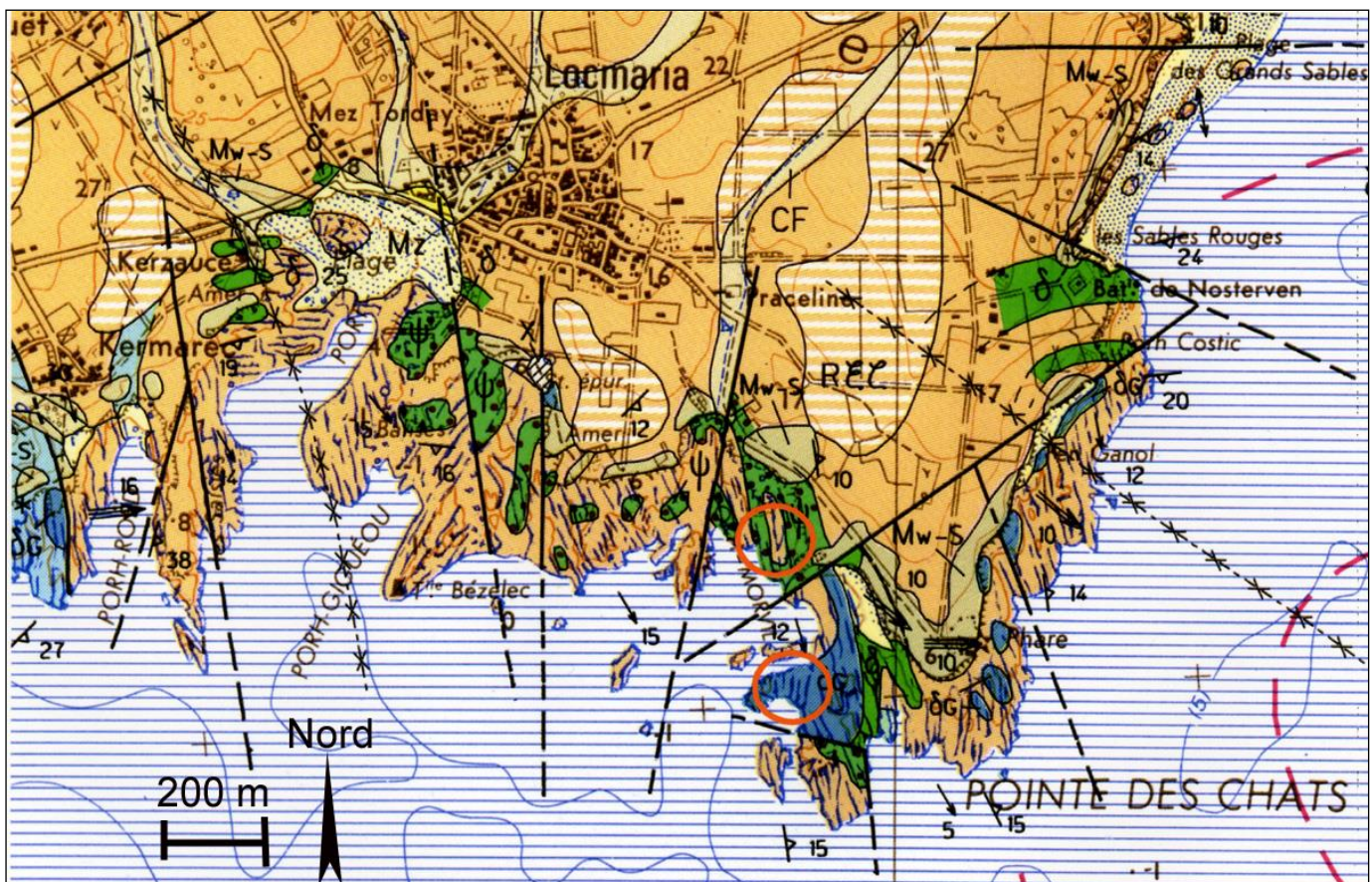
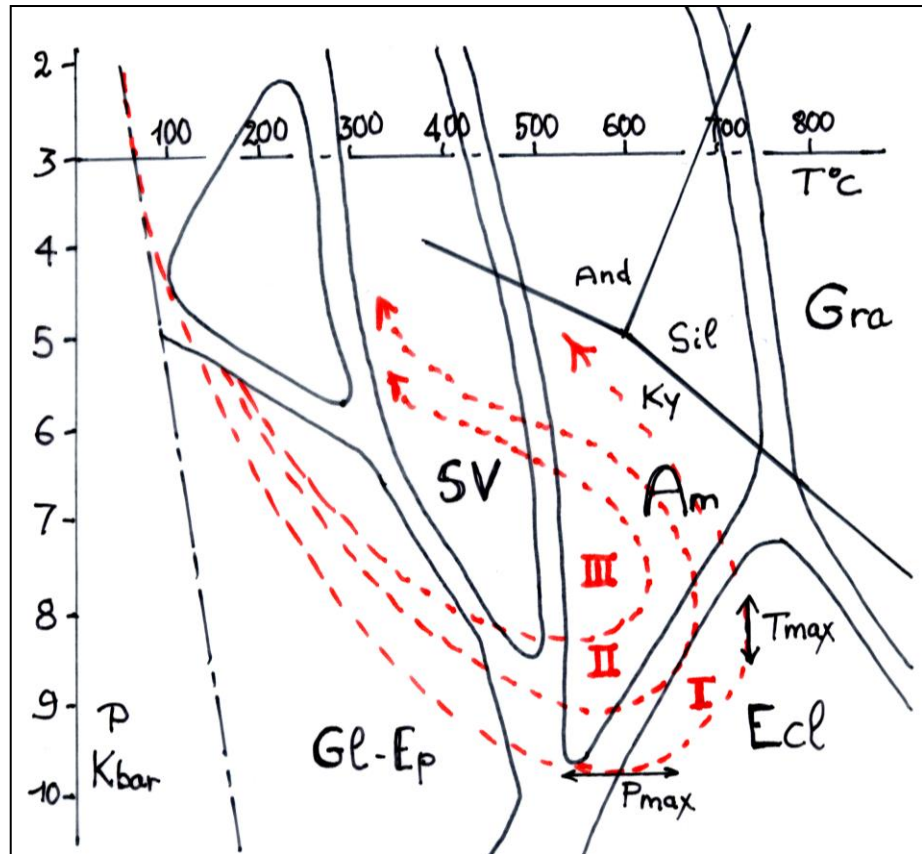


Planche 25. Secteur de l'île de Groix où sont localisées les roches métamorphiques formées dans les conditions de pression maximale, dénommée **zone I**.

δG (bleu foncé) désigne les *glaucophanites* à *amphibole* bleue et *épidote*, **Ψ** (vert foncé) désigne les *éclogites*. Les cercles rouges indiquent les lieux d'origine des échantillons qui ont été examinés en lame mince.

Dans cette zone, le pic de métamorphisme se place à la limite des *éclogites* et des *amphibolites* dans le diagramme P/T (voir **planche 26**). Les roches sont de composition « basique », issues de roches magmatiques ou de tufs volcaniques, remaniées et profondément métamorphosées par les hautes pressions liées à une subduction, puis rétrotransformées.

Planche 26.
 Trajectoire dans
 le plan P/T des roches
 de la **zone I**.
 La phase prograde
 culmine à une pression
 voisine de 10 kbar, ce
 qui fait entrer la roche
 dans le faciès des
éclogites.
 Le retour se produit
 dans le faciès des *am-*
phibolites, avec un pic
 de métamorphisme
 voisin de 700 °C.
SV : schistes verts,
Gl-Ep : *glaucophanites*
 à *épidote*,
Am : *amphibolites*,
Ecl : *éclogites*,
Gra : *granulites*.
 (D'après notice
 de la carte BRGM).



**1^{er} type : glaucophanites
 de l'ouest de la pointe des Chats**
 (voir carte page précédente)

La **planche 27** montre une coupe polie faisant bien apparaître la schistosité intense due à la première phase de plissement et de cisaillement. L'*amphibole* sodique bleue, ou *glaucophane*, domine et constitue des lits épais, millimétriques à centimétriques, alternant avec des lits également épais d'*épidote* jaune vert.

Les gros grenats sont fréquents, et leur taille peut atteindre le centimètre. Ils sont parfois disposés en lits denses, avec un faciès rappelant celui d'une *éclogite*. Le mica blanc est très abondant et se présente en feuillets facilitant le clivage de la roche.

L'examen de lames minces permet de préciser la paragenèse. La **planche 28** montre une lame mince taillée dans une plage présentant un grenat circulaire de 5 mm de diamètre. Le grenat donne l'échelle.

En lumière naturelle, on observe le pléochroïsme caractéristique du *glaucophane*, qui va du bleu outremer violacé au bleu lavande. La plupart des cristaux de glaucophane sont zonés à leurs extrémités, avec une mince auréole d'amphibole sombre ou vert foncé. L'*amphibole* verte coexiste en cristaux séparés, peu nombreux. Le mica blanc est fréquent : il s'agit de la *phengite*, dont la composition est proche de la *muscovite*. Bien qu'incolore et limpide, la phengite s'identifie facilement à l'œil nu par ses légers reflets moirés comme de la nacre.

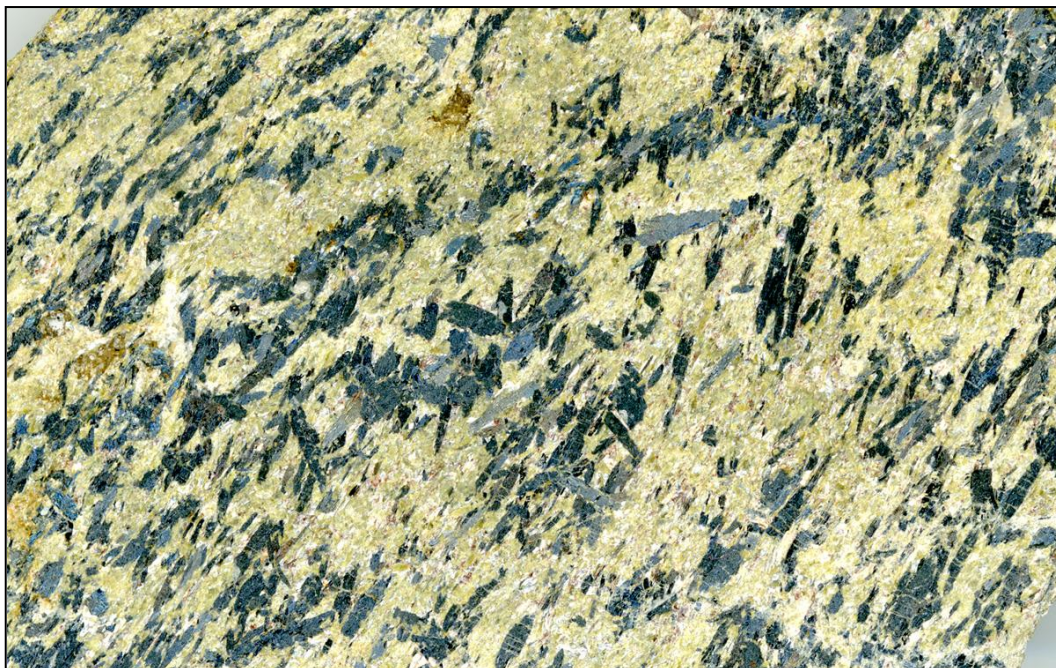


Planche 27. Coupe polie d'une *glaucophanite à epidote* de la pointe des Chats (au sud-est de l'île de Groix).

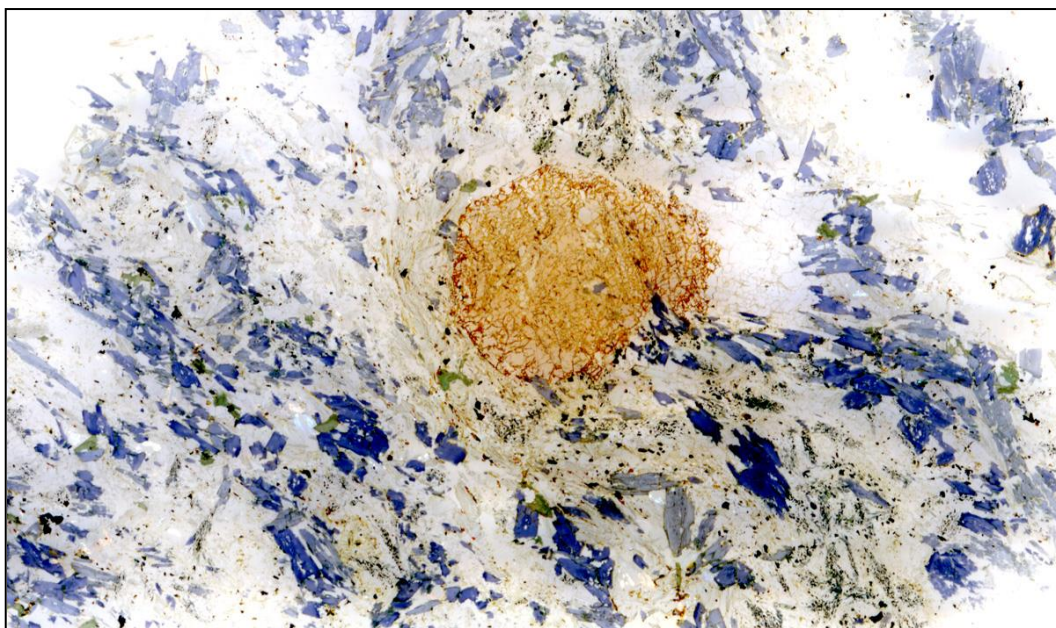


Planche 28. lame mince, observée en lumière naturelle, d'une *glaucophanite à epidote* de la pointe des Chats. L'échelle est donnée par le grenat de 5 mm de diamètre. La paragenèse comprend : *glaucophane + clinozoïsite + phengite + quartz + amphibole verte*.

Un dessin d'interprétation est présenté sur la **planche 29**, pour montrer la disposition des cristaux d'épidote, venant s'enrouler autour d'un côté du *grenat*. Il s'agit de *clinozoïsité*, en prismes allongés bien formés et marqués d'un clivage parallèle au grand axe des cristaux.

La *clinozoïsité* se reconnaît à son relief fort, dû à sa forte réfringence, et au fait qu'elle est incolore. Toutefois, certains individus sont jaunâtres et pourraient être de la *pistachite*, c'est-à-dire une *zoïsité* où une partie de l'aluminium serait substitué par du fer. On observera de nombreuses plages en forme de prisme allongé, constellées de petits cristaux vert foncé, en particulier dans l'angle en bas à gauche : il peut s'agir des vestiges des *clinopyroxènes*, qui normalement devraient être présents, compte tenu de la position du pic de métamorphisme dans le plan P/T, comme le fait apparaître la **planche 26**.

On rappelle que la phase *pyroxène* des éclogites non rétro-morphosées est constituée d'*omphacite*, c'est-à-dire d'une solution solide métastable de *diopside*, de *jadéite* et d'*aégyrine*.

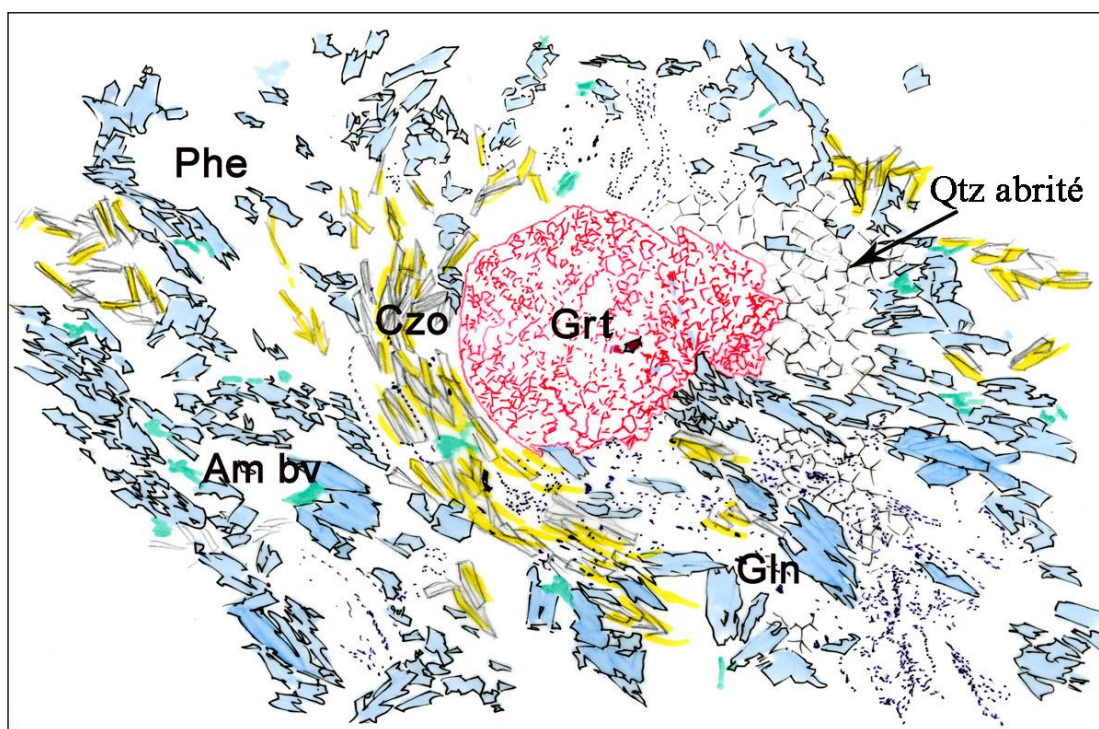


Planche 29. Interprétation de la lame mince en lumière naturelle de la **planche 28** (Dessin D. Rossier).

En bleu lavande, les grandes aiguilles de *glaucophane Gln* ressortent sur les plages limpides de *phengite*. Elles sont accompagnées de rares cristaux verts d'*amphibole bleu-vert Am bv*.

Les prismes incolores de la *clinozoïsité Czo* sont bordés de jaune (*pistachite* ?) et à clivage parallèle unique. Le quartz abrité, limpide, se reconnaît à ses polygones à joints à 120°.

La **planche 30** dessinée ci-après est un schéma simplifié du dessin interprétatif, montrant les microstructures de schistosité et de linéation qui orientent les amphiboles, mais aussi traversent en interne le grenat. Elles sont utiles pour déterminer le sens du couple de cisaillement. On notera que le quartz apparaît en zone abritée par le grenat, sous la forme d'une mosaïque de polygones à joints à 120°.

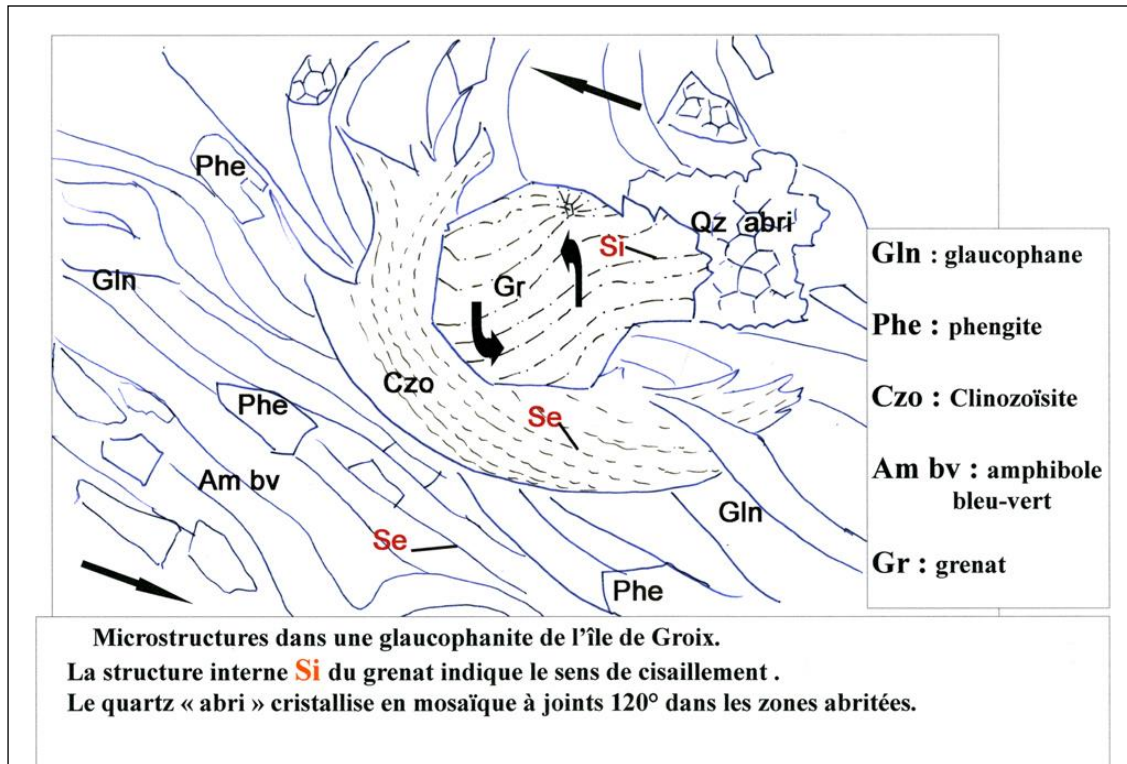


Planche 30. Pour traduire la paragenèse et la texture de cette *glaucophanite*, typique de l'île de Groix, en termes de trajet P/T/t, nous nous reportons à la notice de la carte BRGM citée plus haut. Elle nous a permis de représenter, dans le plan P/T des faciès, les trajectoires pour les trois zones de l'île, classées par ordre décroissant de degré du métamorphisme (**planche 30**).

On s'attendrait donc à trouver l'*omphacite* dans les roches de la **zone I**, puisque celle-ci est la phase *pyroxène* des hautes pressions, comme on l'a vu dans le cas des écloïtes du Bas Limousin. Or, on sait que l'*omphacite* est déstabilisée lors de la décompression.

Dans le cas présent de l'échantillon examiné, le début de la phase rétrograde a été suffisamment lent pour transformer le *pyroxène*, par un phénomène analogue à l'ouraltisation. C'est donc la rétomorphose vers le faciès *amphibolite* qui produit le déchiquetage des prismes en une multitude de petites aiguilles d'amphibole vert foncé.

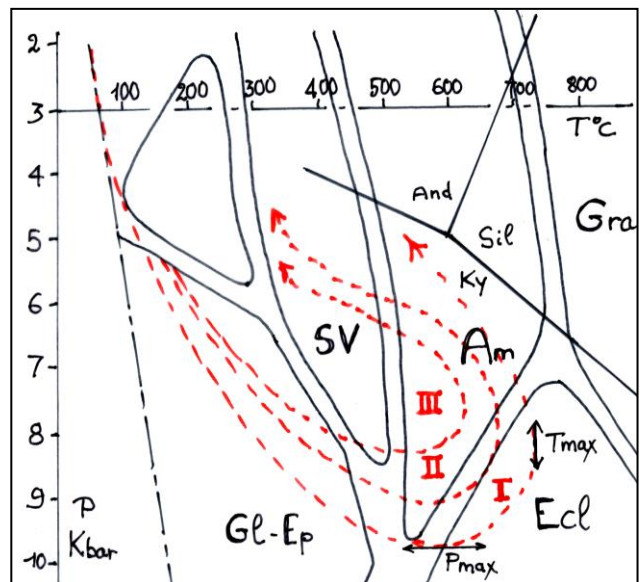
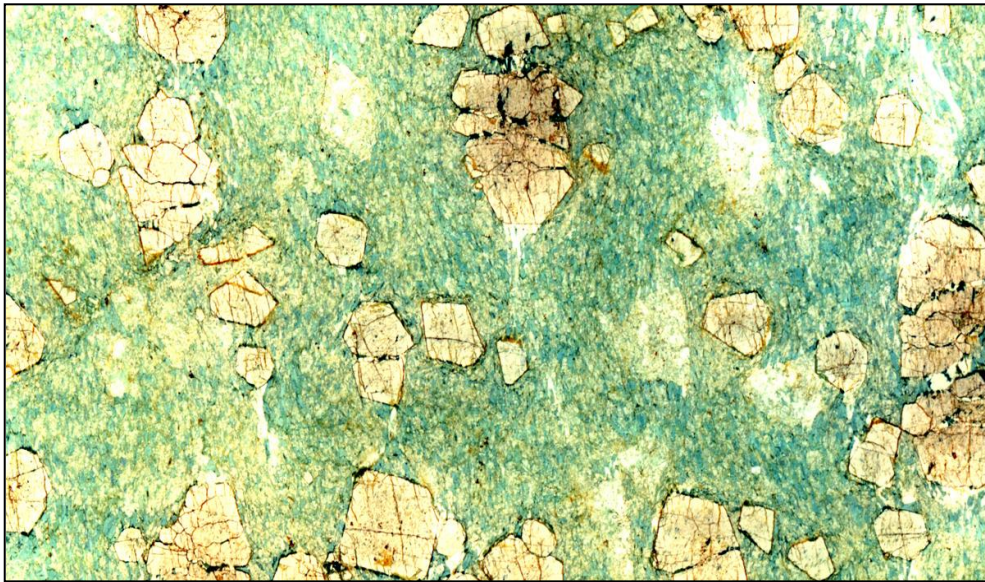


Planche 31. Dans la **zone I**, certaines *métabasites*, du faciès *glaucophanites à épidote*, sont passées au faciès *écloïtes* et l'ont conservé (voir le paragraphe « 2^e type »). D'autres sont totalement ou partiellement *rétroréformées*.

2^e type : éclo­gites de la baie, entre Locmaria et la pointe des Chats (planche 24)

Les éclo­gites sont des roches plus massives que leurs voisines, les *glaucophanites*, sans foliation appa­rente. Les grenats plurimillimétriques se détachent nombreux sur un fond gris-bleu uni­forme. En lame mince examinée en lumière naturelle (**planches 32 et 33**), les contours géométriques des grenats se découpent nettement, sans couronne symplectique, mais souvent frangés d'un liseré de réaction avec l'*omphacite*, donnant une *amphibole* bleu très foncé.

La matrice de l'*éclogite* est constituée d'une trame homogène serrée, linéairement orientée, dans laquelle on distingue les petits cristaux bleu-vert clair d'*amphibole*, qui expriment le passage à des conditions de décompression et de métamorphisme rétrograde en présence de fluides chauds. On distingue moins bien ce qui peut rester du *clinopyroxène* à *jadéite*, ainsi que l'*épidote* qui apporte la composante jaune clair de la trame ; cette dernière peut aussi être apportée par la chloritisation partielle de l'*omphacite*. Certains grenats présentent une zone abritée : *phengite* ? On observera un cristal bien formé de *titanite* sur la **planche 33**.

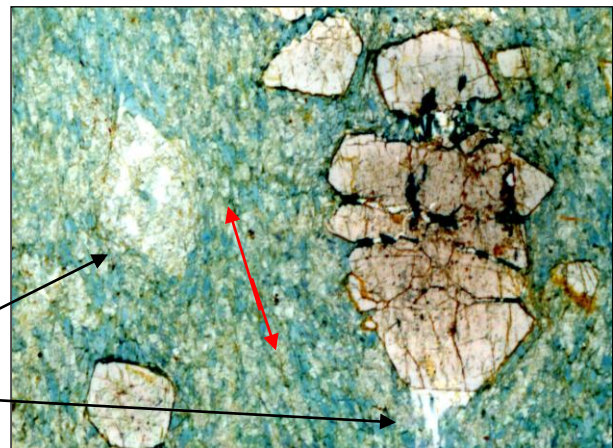


Planches 32 et 33. Éclo­gite de la baie de Locmaria (détail ci-contre).

Trame finement imbriquée de *glaucophane*, d'*épidote* et d'*omphacite* chloritisée.
La flèche rouge double indique la direction de la linéation.

Cristal losangique de *titanite*.

Zone abritée par le grenat : *phengite* ?



5. Conclusion.

Petit lexique et bibliographie

La présence de roches métamorphiques, typiques d'un régime de haute pression, dans des régions somme toute banales de métamorphisme régional dalradien, constitue une anomalie riche d'enseignements. Grâce à une cinétique exceptionnellement favorable, ces roches formées à grande profondeur, dans le plan de subduction, sont exhumées avec des paragenèses progrades et rétrogrades variées, et originales. Celles-ci renseignent sur les conditions thermodynamiques et tectoniques de leur exhumation.

Petit lexique *des termes utilisés dans l'Entretien n° V*

Cinétique : vitesse d'évolution des conditions de température et de pression au cours d'un épisode métamorphique. Une cinétique rapide est nécessaire pour permettre l'exhumation d'une *éclogite* saine, ou simplement rétro-morphosée. Il faut pour cela qu'un événement tectonique relativement brutal et rapide interrompe l'enfouissement et donc que d'importantes perturbations dynamothermiques se produisent (voir équilibre isostatique).

Clinopyroxène : *pyroxène* cristallisant dans le système monoclinique.

Éclogite : roche métamorphique formée à hautes pressions, de même composition chimique globale que les basaltes, et composée d'un *pyroxène* et d'un *grenat*. Les *éclogites* non rétro-morphosées sont toujours dépourvues de *plagioclase*.

Équante : texture ne présentant aucune orientation préférentielle.

Équilibre isostatique : lors d'une collision suivie d'une orogénèse, l'épaississement crustal suivi d'une érosion rapide a pour conséquence une décompression qui permet l'exhumation tectonique. Celle-ci se traduit par une remontée vers la surface des unités enfouies.

Géotherme : c'est la représentation d'un gradient géothermique dans le diagramme température/profondeur.

Glaucophane : variété de *hornblende* alcaline où le sodium se substitue presque complètement au calcium. Elle se développe dans des conditions de hautes pressions et de températures moyennes.

Isotherme : ensemble des points de la lithosphère qui sont à la même température.

Kélyphite : du grec *kelyphos*, écorce. Agrégat de petits cristaux apparaissant dans les auréoles réactionnelles – ou couronnes – autour des minéraux de la paragenèse initiale (*éclogite* saine). La kélyphite est en général un binôme de cristaux imbriqués, et elle finit par envahir la totalité du minéral primaire.

Métabasite : se dit de la transformation par métamorphisme d'une roche à caractère basique.

Métastable : état d'un minéral formé dans des conditions extrêmes de température et/ou de pression, et pour lequel le refroidissement et le retour à la pression normale se sont faits suffisamment rapidement pour bloquer les réactions chimiques entre les constituants.

Pléochroïsme : variation de la couleur d'un minéral en lumière polarisée, en fonction de l'orientation de la polarisation de la lumière par rapport à celle du cristal.

Rétromorphose : métamorphisme rétrograde.

Symplectique : du grec *syn*, ensemble, et *plektos*, tresser. C'est la texture à intercroissances réactionnelles de *clinopyroxène* et de *plagioclase* qui remplace la trame d'*omphacite* dans une éclogite. « [...] la texture symplectitique (ou symplectique) est caractérisée par l'abondance des arrangements réactionnels dans lesquels les cristaux néoformés sont restés sous la forme de vermicules très fins imbriqués les uns dans les autres [...]. L'évolution symplectitique, ou « coronitisation », caractérise les évolutions thermobariques rapides au cours desquelles les assemblages n'atteignent ni l'équilibre thermodynamique, ni l'équilibre textural. Les températures sont trop faibles en fin d'évolution pour permettre la minimisation de l'énergie de surface et le recuit des symplectites. »

Cette définition est tirée de l'ouvrage cité de J. Kornprobst.

Bibliographie

HERVÉ F. (1968) – *Étude pétrographique des gneiss, amphibolites et éclogites des environs d'Uzerche*. Thèse 3^e cycle, Paris.

KORNPORST J. (2001) – *Métamorphisme et roches métamorphiques, signification géodynamique*. 3^e édition. Dunod éd.

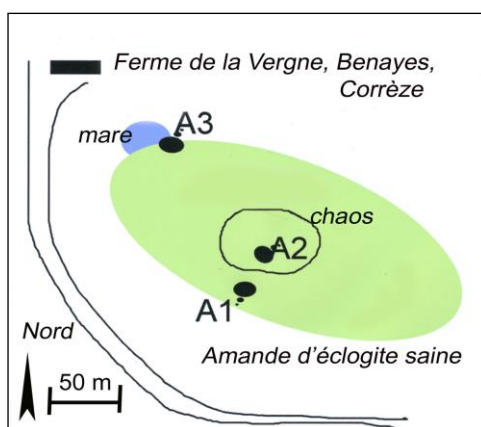
LAMOUILLE B. (1979) – *Géologie structurale et pétrologie de la région d'Uzerche*. BRGM éd.

PONS J.-Cl. (2001) – *La pétro sans peine 2. Minéraux et roches métamorphiques*. C.R.D.P. de l'académie de Grenoble.

ROUBAULT et al. (1982) – *Détermination des minéraux des roches*. Éditions Lamarre-Poinat.

SANTALLIER D. (1976) – Bull. BRGM, 2^e s. sect. 1, n° 3, p. 153-156, et C. R. Acad. Sc. de Paris, T. 283, p. 737-740.

Notice de la carte géologique à 1/50 000 de Tulle, n° XXI-34.



*Il n'existe dans la région d'Uzerche que quelques rares affleurements où il est donné d'observer l'éclogite dans un état de fraîcheur satisfaisant, c'est-à-dire peu affecté par la rétomorphose. Le petit schéma ci-dessus indique les positions des prélèvements mentionnés dans le « **Petit atlas** » qui suit en annexe. Cet affleurement remarquable a été présenté à l'auteur par MM. J. Céron et G. Chantepie, du GAGN.*

6. Annexe

Petit atlas de paragenèses des éclogites du Bas Limousin

Ce petit atlas est conçu sur le même principe que celui qui nous a guidés pour le « *Petit atlas photographique des paragenèses rencontrées dans le métamorphisme régional du Bas Limousin* », en complément aux Entretiens n° III et n° VII. Nous avons rassemblé ici quelques clichés pris sur des lames minces représentatives des différents états de rétro-morphose des éclogites que nous avons récoltées dans le Bas Limousin. L'atlas a pour vocation de susciter l'intérêt du pétrographe amateur et de l'aider dans l'interprétation des lames minces, et dans l'identification des minéraux des éclogites.

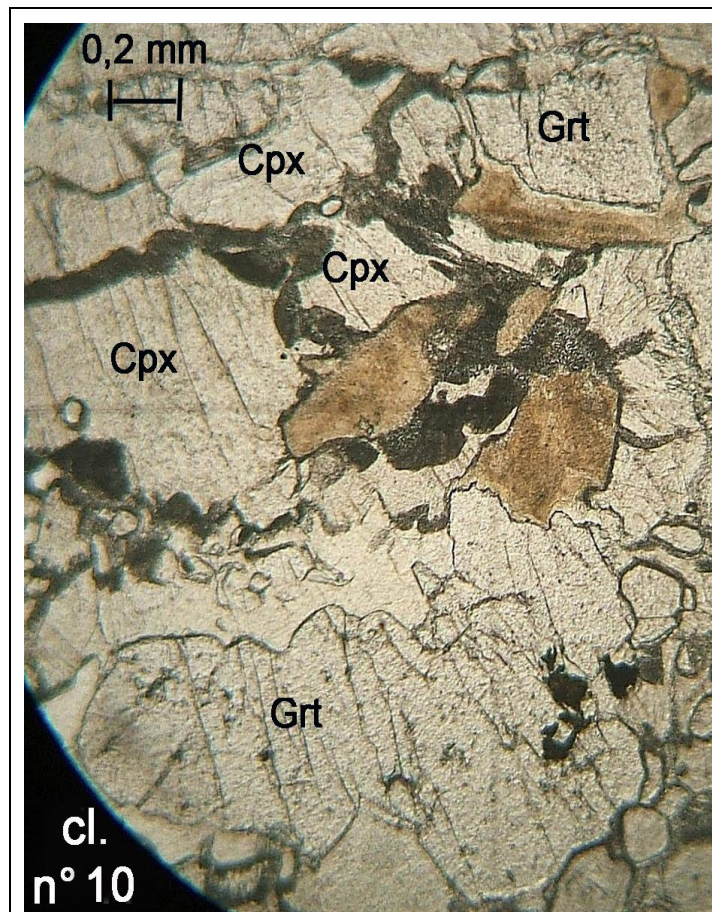
Les conditions d'observation à l'aide d'un microscope « rustique » sont celles que nous avons décrites dans le § 3.2 de l'Entretien n° III.

Les échantillons ont été prélevés sur des affleurements repérés sur les cartes IGN 2134 E et IGN 2134 O à 1/25 000. Le **n° de code L.M.** de la lame mince est donné avec la désignation du type de roche, suivant la notice de la carte géologique à 1/50 000 du BRGM, feuille n° 761 de Tulle, ainsi que la localisation, le repère de l'échantillon et le **n° des clichés**. Les clichés sont pris soit en lumière polarisée non analysée (LPNA), soit en lumière analysée (LPA). Les grossissements sont de X 7 et de X 60.

Avertissement : certains assemblages de cristaux sont si serrés qu'il est très difficile d'identifier ceux-ci par le simple examen en lame mince : c'est le cas de la kélyphite et de certains assemblages symplectiques. Les commentaires des clichés utilisent alors les données de la bibliographie de la fin du § 5 ci-dessus, en particulier les articles de D. Santallier.

<i>Désignation</i>	<i>Code lame mince</i>	<i>Localisation et repère de l'échantillon</i>	<i>N° cliché</i>
		1. Benayes (Corrèze) au lieu dit La Vergne	
<i>Éclogite saine</i>	L.M. 1	Centre de l'amas de gros blocs sur la butte boisée. A2, éch. 1	Cl. n° 10, 11, 12 et 13
<i>Éclogite saine</i>	L.M. 3	Idem. A2, éch. 3	Cl. n° 20 et 21
<i>Éclogite saine, ou à rétro-morphose non aboutie</i>	L.M. 4	Blocs à l'orée du bois, en bordure de l'affleurement. A1, éch.1	Cl. n° 30, 31, 32, 33, 34 et 35
<i>Éclogite saine, ou à rétro-morphose non aboutie</i>	L.M. 6	Amas au bord de la mare de la ferme. A3, éch. 1	Cl. n° 36
		2. Puy de Ferrières (Corrèze)	
<i>Éclogite rétro-morphosée</i>	L.M. 515	Petit route montant au relais hertzien du puy de Ferrières	Cl. n° 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 et 47

**Amas de Benayes, lieu-dit « La Vergne » (Corrèze).
Éclogites saines**



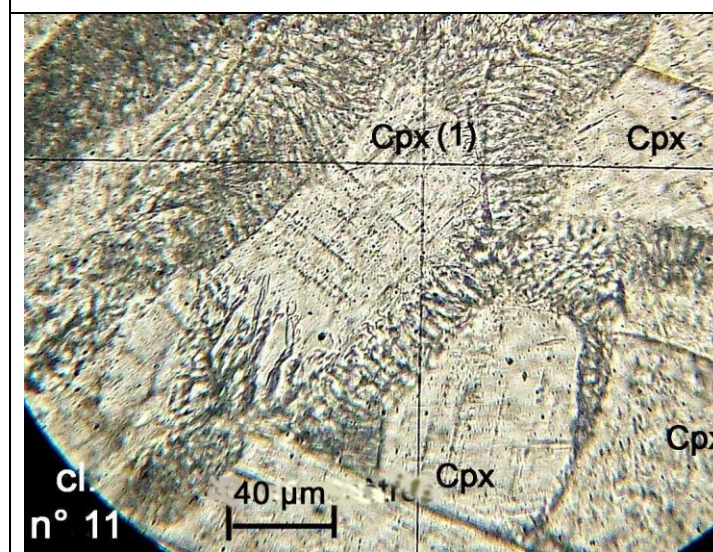
Cliché n° 10. Benayes.

Lame 1, A2, éch. 1. LPNA, X 7.

(Centre de l'amas). Paragenèse de cristaux millimétriques jointifs de *grenat* et de *clinopyroxène*, en quantités à peu près égales. En LPNA, les cristaux de *clinopyroxène* (symbole **Cpx**) sont incolores.

Les contacts entre *pyroxènes* sont marqués par un cordon réactionnel sombre de kélyphite, à fort contraste, épais d'environ 0,1 mm. Les cordons réactionnels aux contacts avec les *grenats* beaucoup plus fins, de l'ordre de quelques microns.

Les *grenats* ne présentent pas de zonation. Les cristaux au centre du cliché, colorés en brun clair en LPNA, présentent un léger pléochroïsme, et des teintes anormales du 1^{er} ordre en LPA. Ce ne sont pas des *amphiboles*. Les craquelures dans les deux types de cristaux sont orientées dans la même direction oblique par rapport au rubanement de l'affleurement ; celui-ci se traduit par un alignement et un étirement des deux types de cristaux (voir la coupe polie de la **figure 9**).



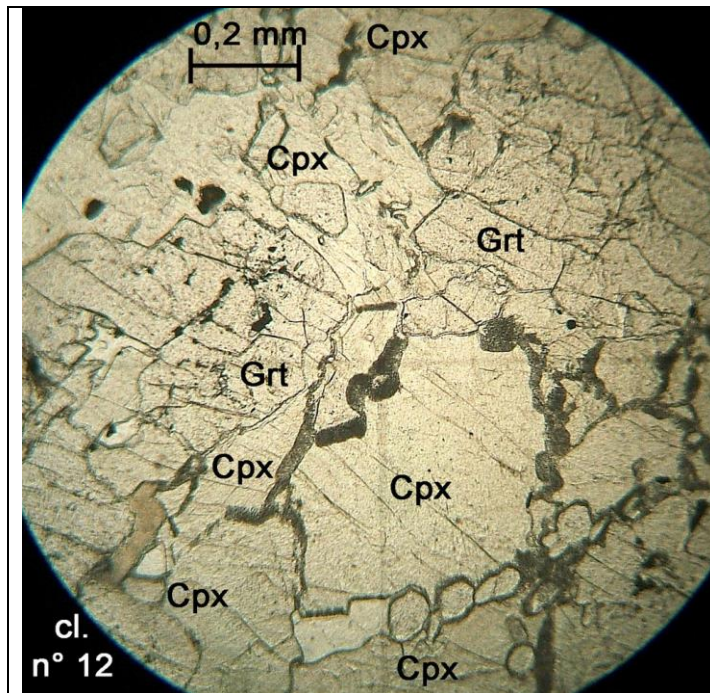
Cliché n° 11. Benayes.

Lame 1, A2, éch. 1. LPNA, X 60.

Le cliché montre la structure digitée des cordons réactionnels de kélyphite, entre les cristaux de *clinopyroxène* à *omphacite*.

À ce stade, la structure finement vermiculée de la kélyphite ne permet pas d'identifier les minéraux qui la composent.

Noter les fins clivages [angle de 87° mesuré sur **Cpx (1)**] sur les cristaux de *clinopyroxène* : l'orientation par rapport à celle de l'extinction permet la mesure de la biréfringence et l'identification de l'*omphacite*.



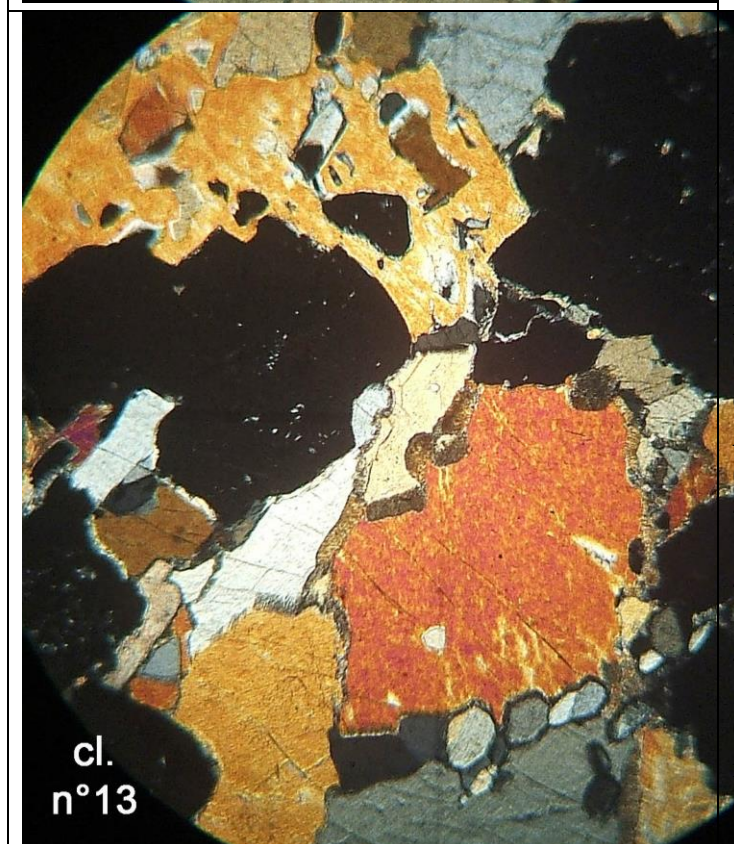
Cliché n° 12. Benayes.

Lame 1, A2, éch. 1. LPNA, X 7.

Centre de l'amas.

On note les cordons sombres, à fort relief, de kélyphite, comme sur le **cliché 10**. La déstabilisation n'a atteint que les bords des cristaux d'*omphacite* ; elle a été stoppée et la rétomorphose n'a pas abouti.

Le **cliché 13** ci-dessous montre le même emplacement de la lame, mais photographié en LPA.



Cliché n° 13. Benayes.

Lame 1, A2, éch. 1. LPA, X 7.

Dans cette lame, la couleur va du blanc et du gris clair jusqu'au pourpre violacé.

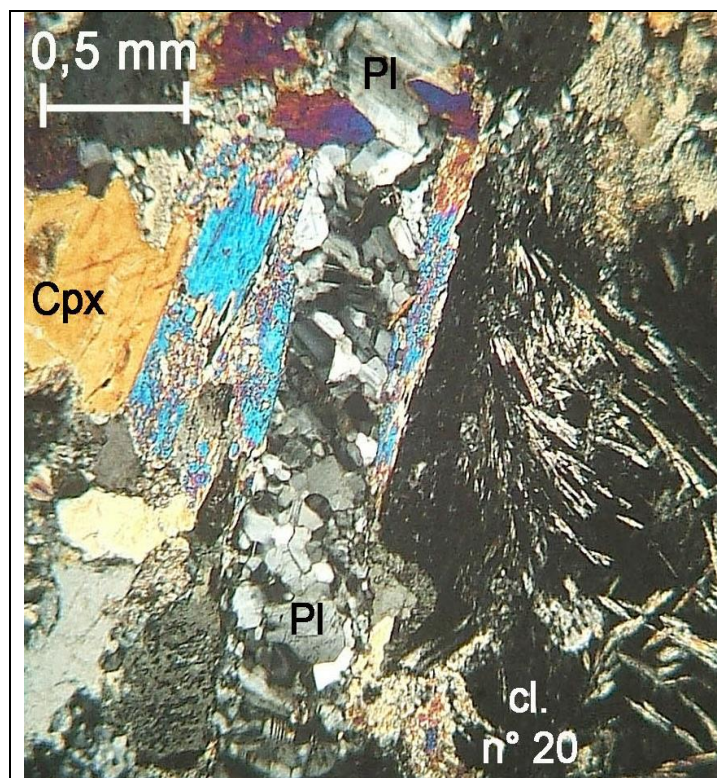
Les cristaux d'*omphacite* présentent souvent deux teintes superposées : la teinte d'ordre le plus élevé (la dominante) contient quelques lamelles de teinte d'ordre moins élevé.

Celle-ci est souvent localisée sur des défauts comme des fissures et sur les bords.

Ainsi, pour toutes les lames minces observées (voir aussi **planche 10**) :

- teinte dominante bleue « superposée » à un pourpre ;
- teinte dominante pourpre « superposée » à un orange ;
- teinte dominante brune orangée « superposée » à un orange clair.

Cela s'interprète par l'existence, au sein du même cristal d'*omphacite*, de deux variétés de clinopyroxènes.

**Cliché n° 20.** Benayes.

Même emplacement que précédemment.

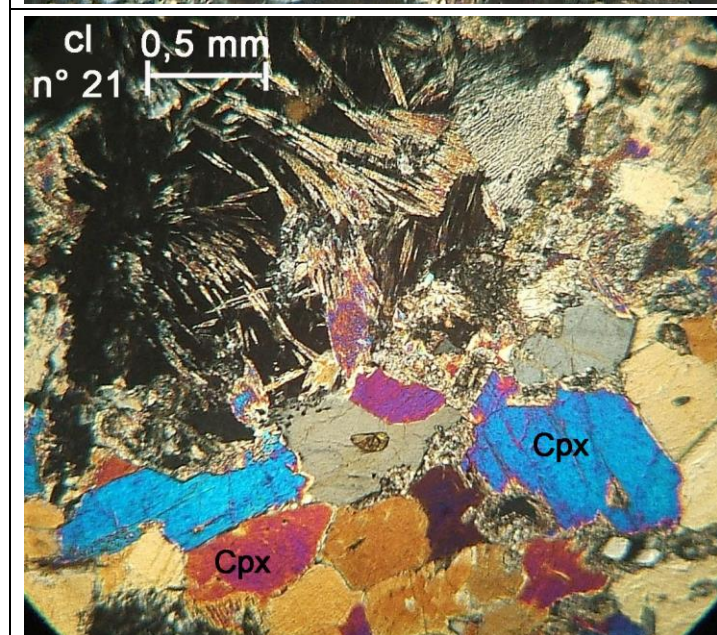
Lame 3, A2, éch. 3. LPA, X 7.

Teintes vives jusqu'au bleu du début du 2^e ordre. Biréfringence de 0,22 à 0,23.

La déstabilisation d'une grande *omphacite* est illustrée sur les deux clichés. En LPNA, elle apparaît presque complètement *kélyphitisée*, noire en LPA. Elle est parcourue de grandes gerbes claires et colorées, qui prennent naissance sur une des faces du grand cristal.

En réalité, la *kélyphitisation* a été si rapide qu'elle s'est propagée en gerbes, ne laissant subsister l'*omphacite* qu'entre les empreintes des gerbes de *kélyphite*.

Une fissure remplie de *plagioclases* en texture équante, traverse le cristal au voisinage de la face du cristal de *pyroxène*.

**Cliché n° 21.** Benayes.

Lame 3, A2, éch. 3. LPA, X 7.

Prolongement du **cliché 20**.

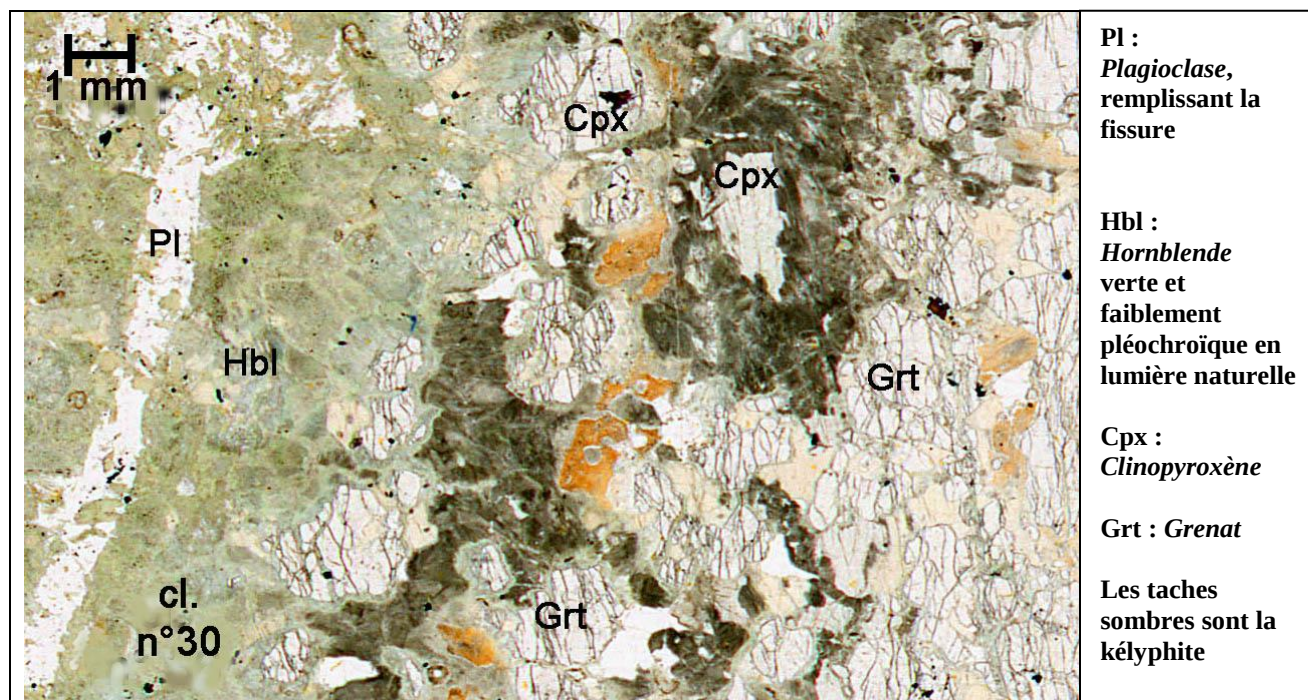
La *kélyphitisation* a été stoppée net, puisque les cristaux de *pyroxène* du bas du cliché sont intacts et quasi jointifs.

La déstabilisation est peut-être d'origine mécanique et associée aux contraintes exercées au niveau de la fissure.

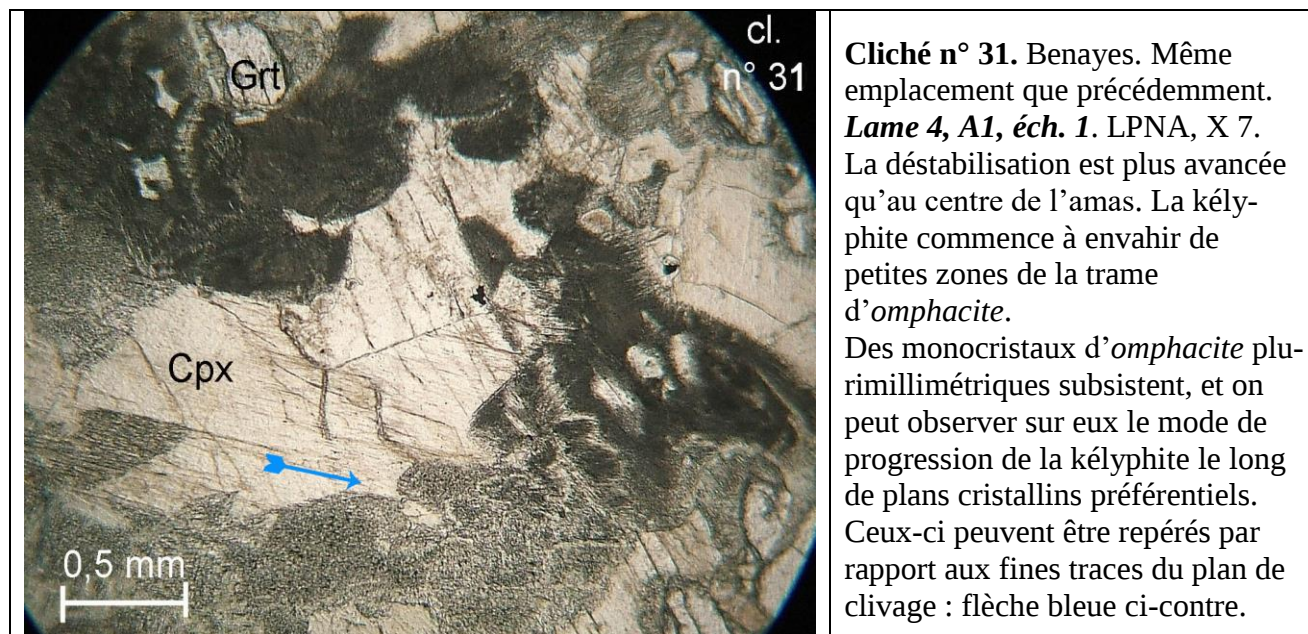
Les teintes de Newton, du gris du premier ordre au bleu intense du second ordre, sont conformes à la biréfringence attendue pour l'*omphacite* ; l'épaisseur de la lame est correcte, proche de l'épaisseur standard de 30 micromètres.

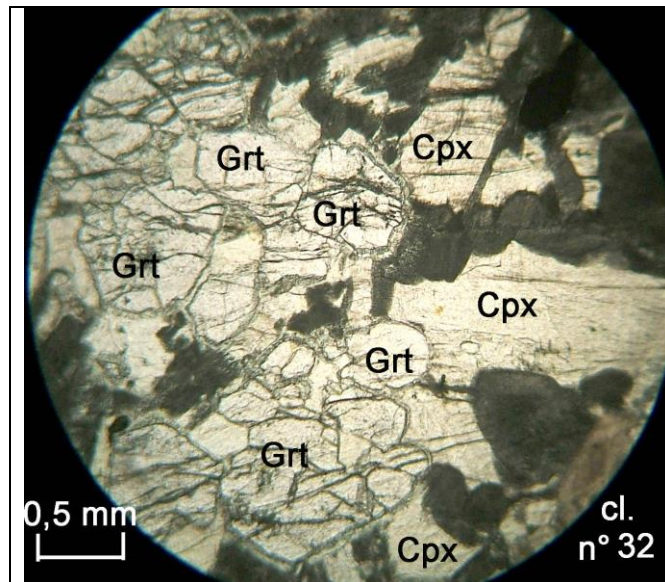
La déstabilisation de l'*omphacite* est illustrée sur les deux clichés ci-dessus. En LPNA, le quart supérieur gauche du **cliché 21** apparaît presque complètement *kélyphitisé*, et noir en LPA.

En réalité, la *kélyphitisation* a été si rapide qu'elle s'est propagée en grandes gerbes colorées qui prennent naissance sur un des bords de la fissure. Celle-ci, remplie de *plagioclases* en texture équante, traverse le **cliché 20**.

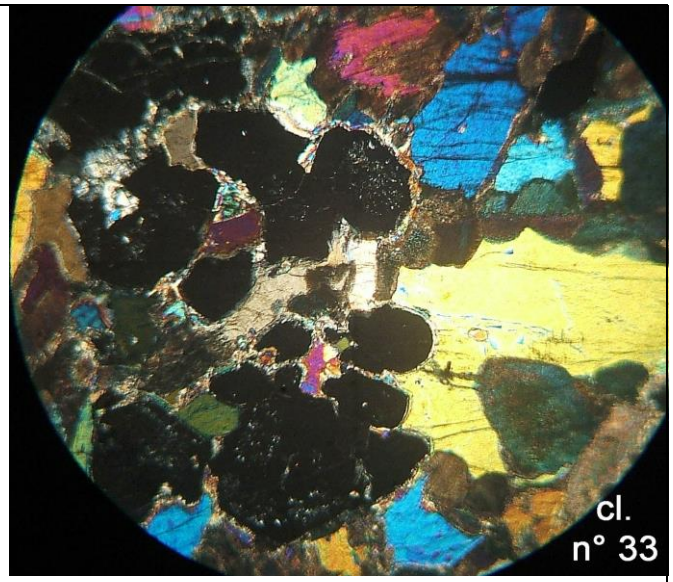


Cliché n° 30. Benayes. Échantillon prélevé en bordure de l’affleurement lenticulaire d’éclogite. **Lame 4, A1, éch. 1.** X 1, LPNA. Cliché obtenu par scan en lumière naturelle. La fissure, à l’extrémité gauche sur le cliché, est responsable de la déstabilisation et de l’amphibolitisation complète (notée **Hbl**, pour *hornblende*) dans une zone de 4 mm de part et d’autre. Cette zone est suivie d’une zone de même largeur de kélyphite sombre, avec des vestiges de *grenats* coronitisés et d’*omphacite*. Cette seconde zone a agi comme écran, et la rétro-morphose n’a pas abouti dans le reste de la roche, la laissant à l’état d’éclogite saine (partie droite du cliché). Détails sur les **clichés 31 à 35**.



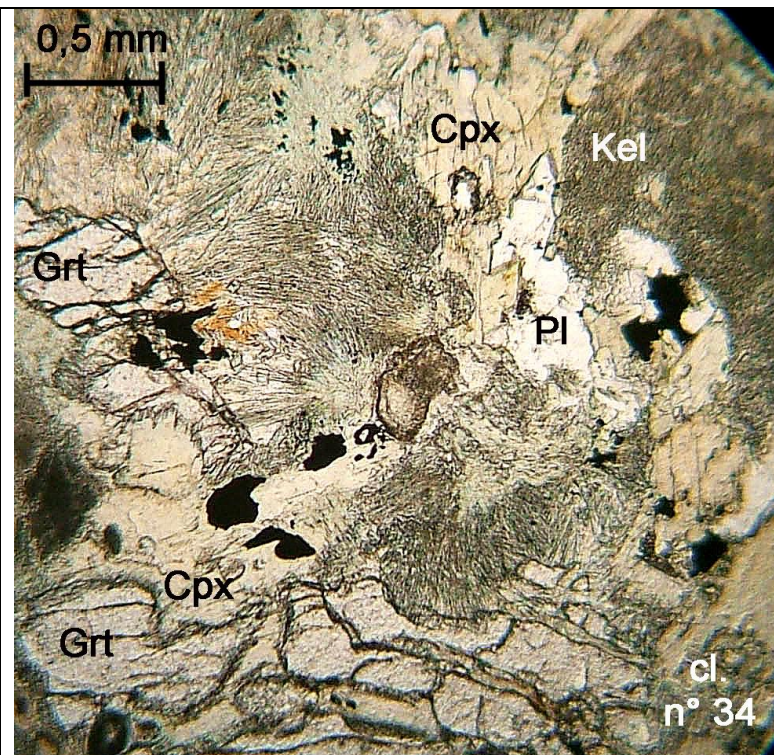
**Cliché n° 32.** Benayes.**Lame 4, A1, éch. 1,** suite. LPNA, X 7.

Les *grenats* millimétriques et submillimétriques, à fort contraste, sont densément groupés en amas. La déstabilisation qui commence à les affecter se traduit par la naissance d'une « couronne réactionnelle » entre grains, trop mince pour permettre de résoudre sa texture symplectique sur ces clichés.

**Cliché n° 33.** Benayes.**Lame 4, A1, éch. 1.** LPA, X 7.

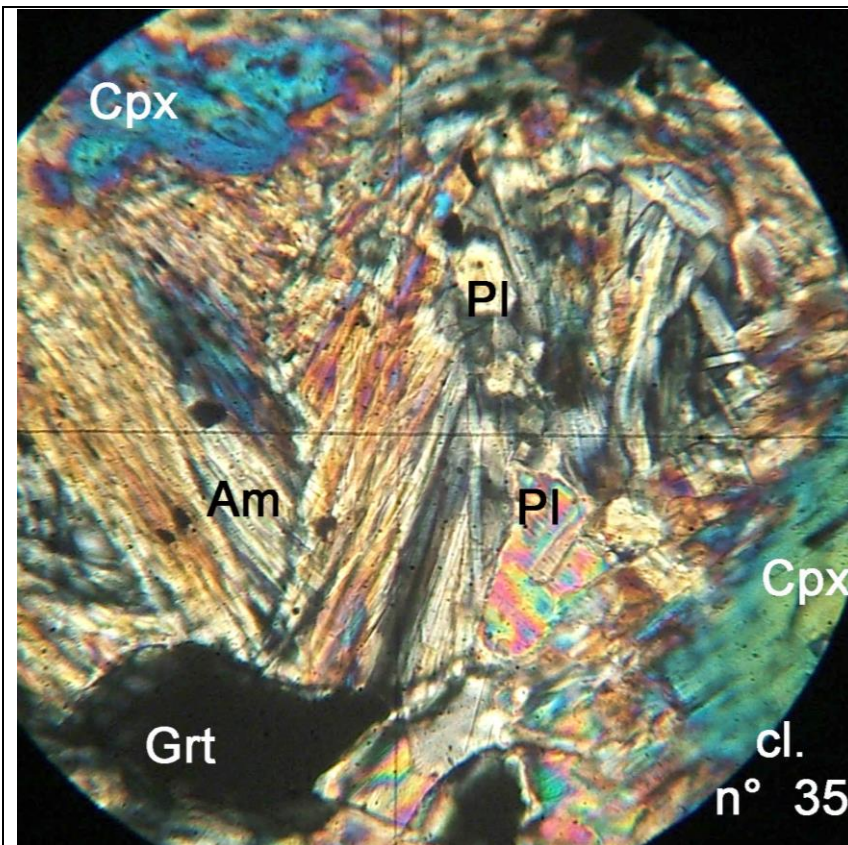
Même position sur la lame qu'au **cliché 32**, mais photographiée en LPA. Le grand cristal de *clinopyroxène* présente le jaune du 1^{er} ordre, avec de petites lamelles présentant le bleu du 1^{er} ordre. Il est largement entamé par le processus de kelyphitisation.

Noter les fines traces du plan de clivage.

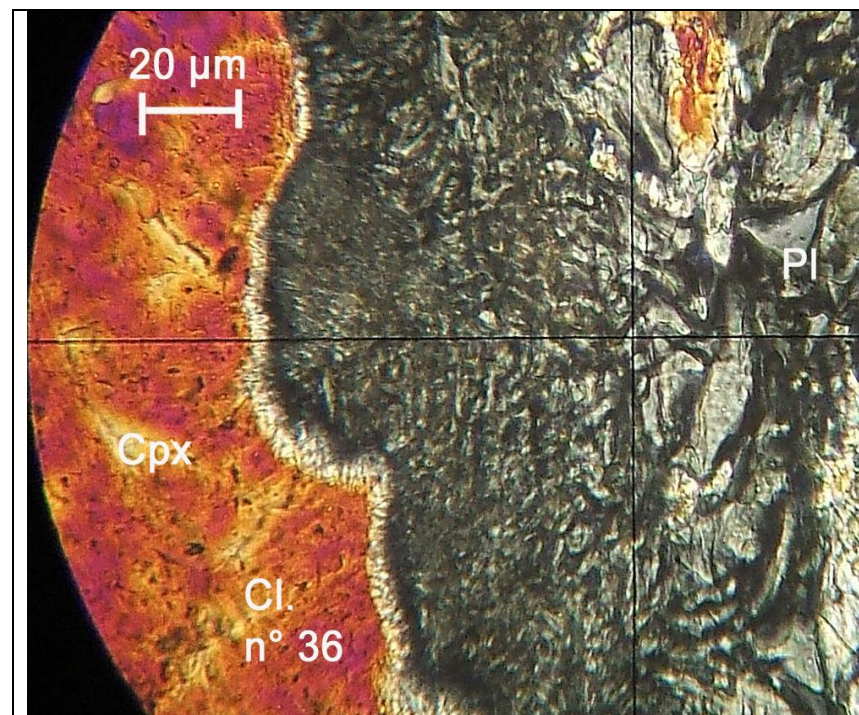
**Cliché n° 34.** Benayes.**Lame 4, A1, éch. 1,** suite. LPNA, X 7.

À droite, la plage de kelyphite forme une masse sombre de microcristaux vermiculés indistincts : c'est la texture symplectique (voir le lexique). La large zone de kelyphite, au centre, a atteint un équilibre textural plus avancé, et a commencé à recrystalliser en *plagioclases* et en fines aiguilles d'*amphibole*. Les premières sont organisées en cristaux déjà de bonne taille. Les aiguilles d'*amphibole* sont vert clair en LPNA, et légèrement pléochroïques.

Kel : kelyphite. **Pl** : plagioclase
Cpx : clinopyroxène. **Grt** : grenat



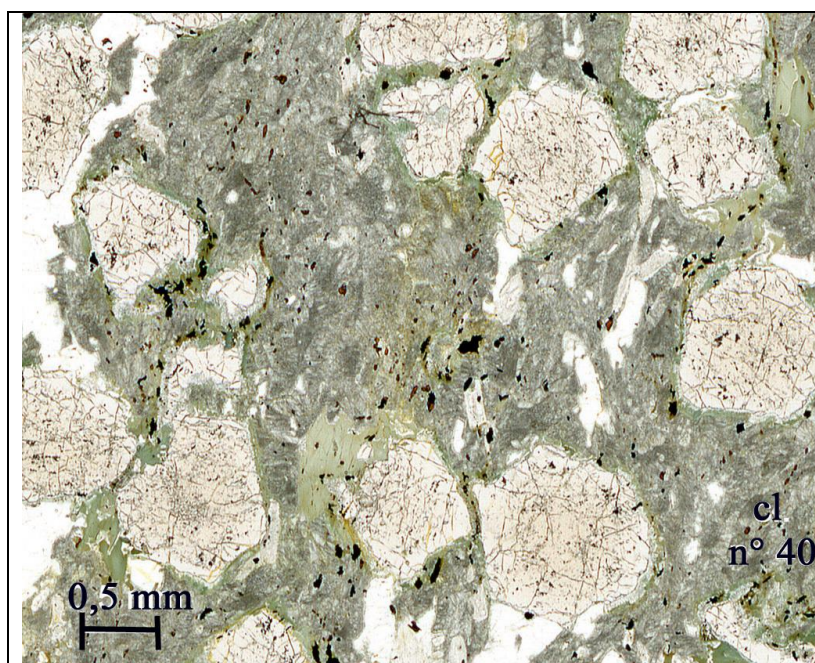
Cliché n° 35. Benayes.
Lame 4, A1, éch. 1, suite.
 LPA, X 60. Échelle donnée
 par le cercle de 0,4 mm.
 Détail du **cliché 34**, mais à
 fort grossissement et en LPA.
 À l'origine, il y a déstabilisa-
 tion et apparition d'une tex-
 ture symplectique, à inter-
 croissances réactionnelles en
 vermicules de *pyroxène* et de
plagioclase. Puis, il y a eu
 évolution par recuit vers la
 croissance de baguettes d'*am-*
phibole se développant en
 éventail à la place de l'*om-*
phacite et entremêlées de
 cristaux de *plagioclases* blanc
 ou gris du 1^{er} ordre.
 Dimensions des baguettes :
 . longueur 0,1 mm,
 . épaisseur 5 μm .



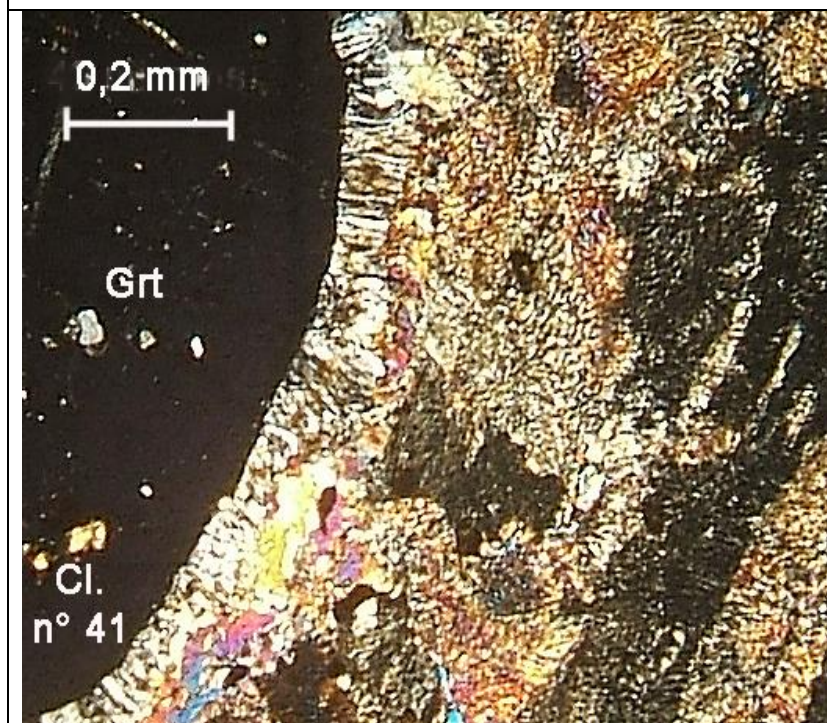
Cliché n° 36. Benayes.
 Amas au bord de la mare de
 la ferme. **Lame 6, A3, éch. 1.**
 LPA, X 60.
 Progression de la kélyphitisa-
 tion à partir du *pyroxène* sain,
 à gauche du cliché. Elle
 débute par une frange claire
 étroite d'environ 2 μm , puis
 une frange noire, également
 de 2 μm , suivie d'une zone
 d'intercroissances sympléti-
 ques, d'abord très fines, puis
 de plus en plus distinctes,
 jusqu'à ce que les premiers
 cristaux de *plagioclase*
 apparaissent.

Puy de Ferrières (Corrèze)

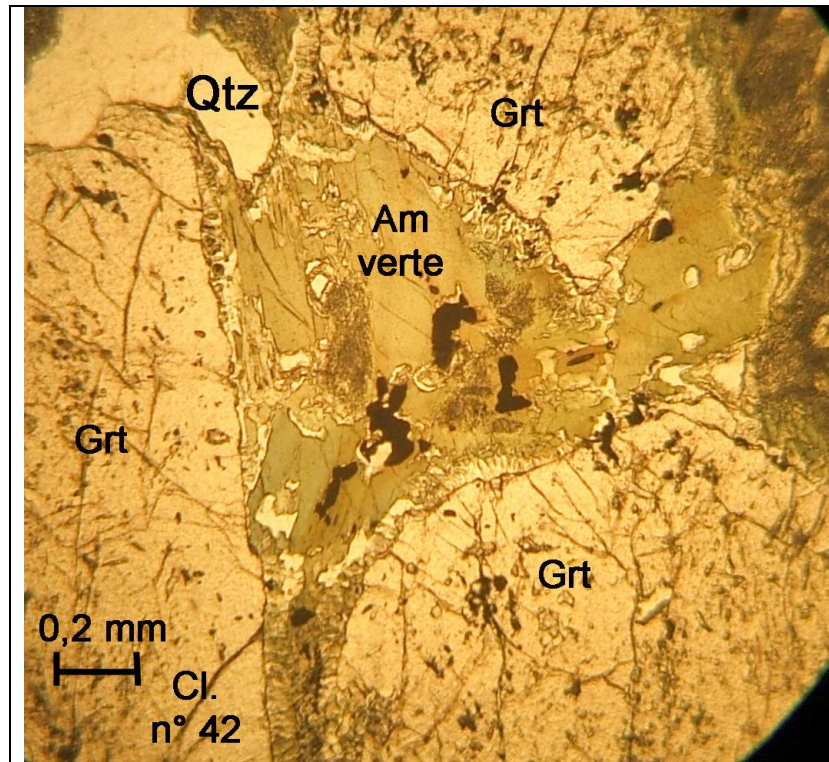
Sur les affleurements de la feuille de Tulle, les éclogites apparaissent toujours rétro-morphosées, à des degrés divers. Le faciès le plus représentatif est celui du puy de Ferrières, illustré au § 3 et ci-dessous.



Cliché n° 40. Puy de Ferrières.
Lame 515. Cliché obtenu par scan en lumière naturelle. X 7.
Les *grenats* rosés sont zonés à la périphérie et entourés d'une fine couronne réactionnelle, alors que la trame d'*omphacite* est complètement transformée en kélyphite grise. Elle laisse place, dans les interstices entre les *grenats*, à de grandes *amphiboles* vert pâle, ponctuées de chapelets de minéraux opaques. Deux types de *quartz* apparaissent : les *quartz* en ombre de pression et ceux en plaquettes.



Cliché n° 41.
Puy de Ferrières.
Lame 515. LPA, X 60.
Alors que la trame des *pyroxènes* a été complètement déstabilisée, les *grenats* n'ont subi qu'un début de coronitisation. La couronne est structurée en baguettes d'*amphibole* magnésienne, d'une vingtaine de micromètres, rayonnant dans un arrangement régulier, et séparées de la kélyphite par des cristaux d'*amphibole* aux couleurs vives (1^{er} ordre et début du 2^e ordre), qui jouent le rôle de ralentisseur, voire de blindage, à la déstabilisation des *grenats*.

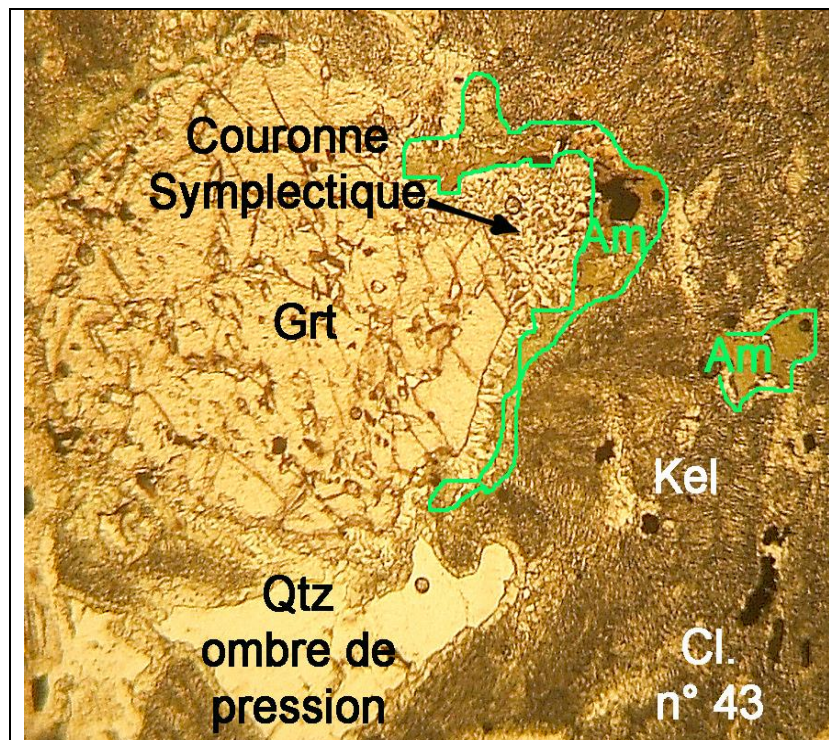
**Cliché n° 42.**

Puy de Ferrières.

Lame 515. LPNA, X 7.

À ce degré de rétromorphose, l'espace entre les cristaux de *grenats* jointifs se remplit de grandes *amphiboles* vert pâle, ponctuées de minéraux opaques. Les minces couronnes réactionnelles subsistent autour des *grenats*.

La couleur vert pâle et le faible pléochroïsme indiquent une *hornblende* magnésienne, à faible pourcentage de fer.

Am : amphibole**Qtz** : quartz.**Cliché n° 43.**

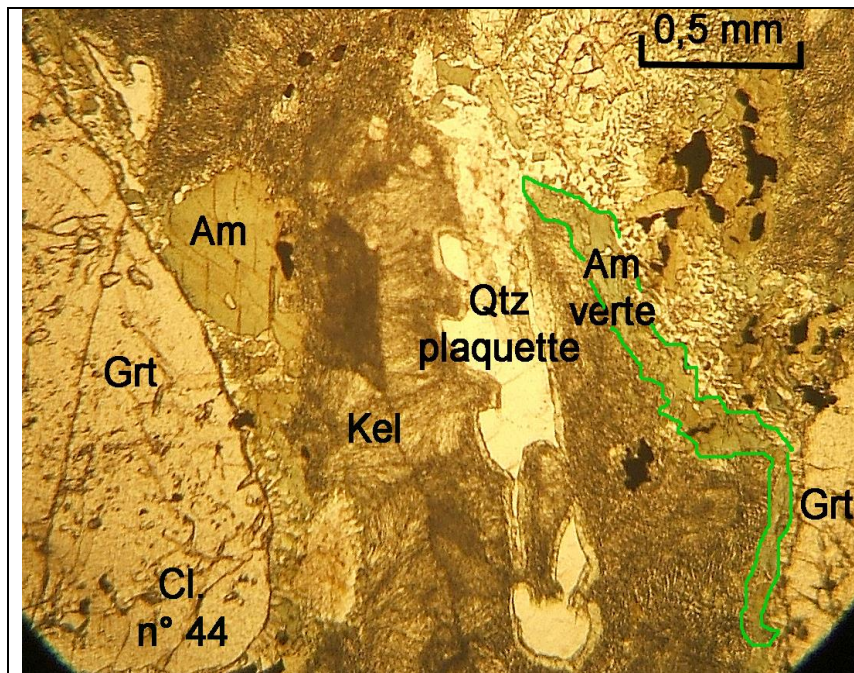
Puy de Ferrières.

Lame 515. LPNA, X 7.

La couronne de ce grand *grenat* montre d'abord un mince liseré de cristaux rayonnants et une excroissance symplectique de microcristaux vermiculaires. Le tout est bordé par une bande d'*amphibole*, que nous avons entourée de vert, déjà notée sur les **clichés 41** et **42**.

Le *quartz* triangulaire, en abri du grand *grenat*, s'est formé en ombre de pression lors du rubanement des *éclogites*.

Am : amphibole**Kel** : kelyphite

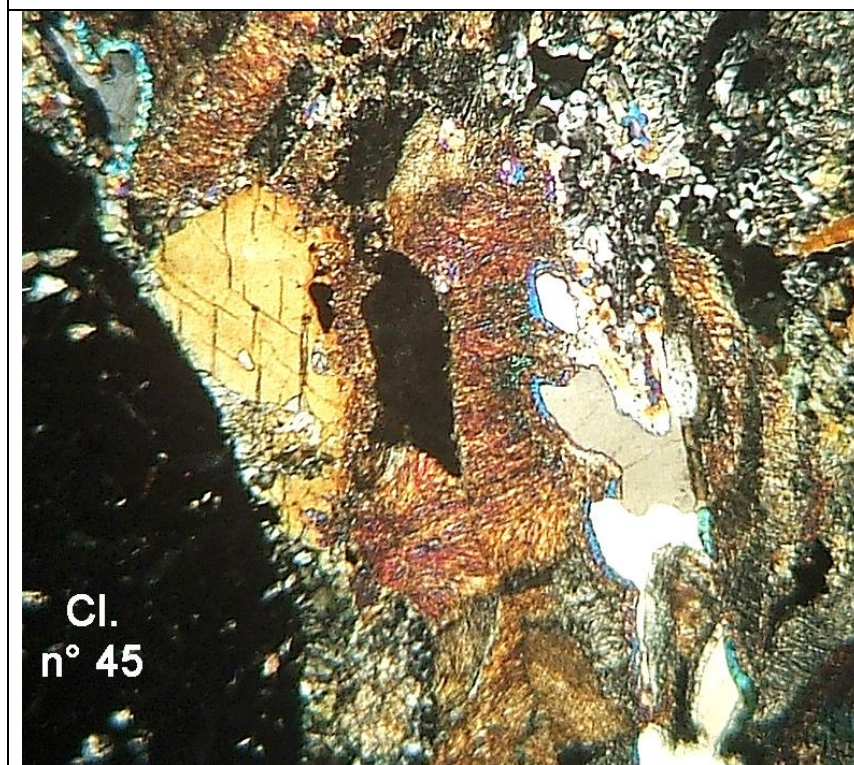
**Cliché n° 44.**

Puy de Ferrières.

Lame 515. LPNA, X 7.

Même paragenèse que sur le **cliché 43**, mais avec un *quartz* primaire en plaquette, formée par étirement lors du rubanement avec boudinage des écaïlles éclogitiques.

Noter sur les **clichés 44** et **45**, au contact avec le *grenat*, le cristal bien formé d'*amphibole* sur lequel on peut mesurer l'écart angulaire de 58° entre les traces des plans de clivage.

**Cliché n° 45.**

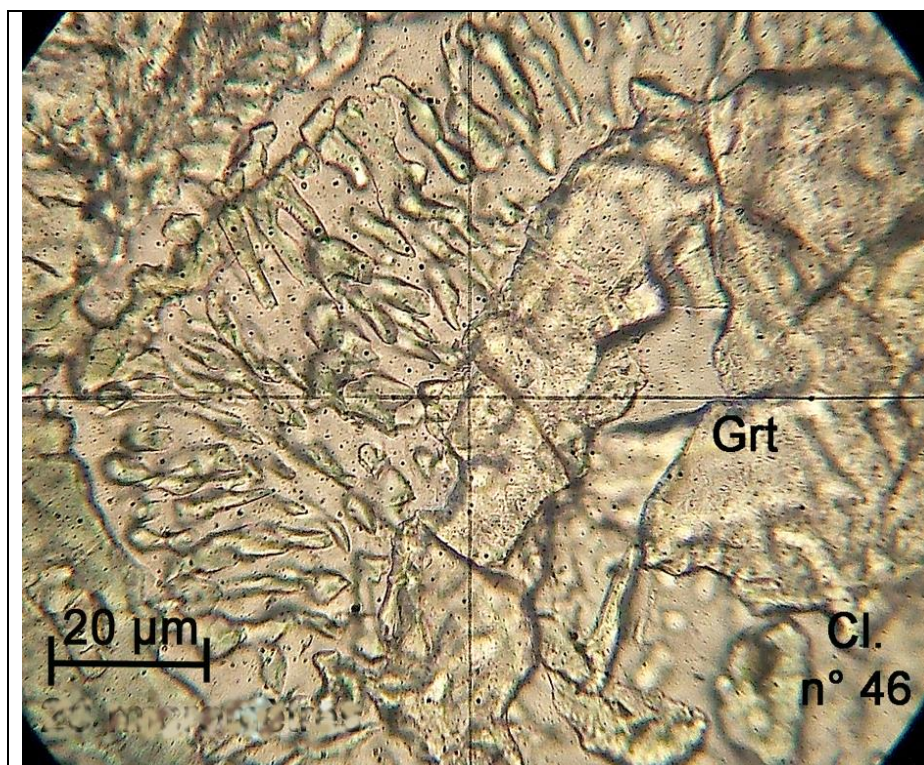
Puy de Ferrières.

Lame 515. LPA, X 7.

Même position sur la lame que le n° 44, mais en LPA.

La couronne autour des *grenats* est encore un mince liseré. Le *quartz* est également ceinturé d'une mince couronne réactionnelle de *diopside*, bleu vif du début du second ordre, et à fort contraste en LPNA.

La zone de *kélyphite* entre l'*amphibole* et le *quartz* en plaquette a évolué vers un assemblage serré de baguettes d'*amphibole* et d'*oligoclase*. À gauche et en haut, la *kélyphite* à texture symplectique subsiste.

**Cliché n° 46.**

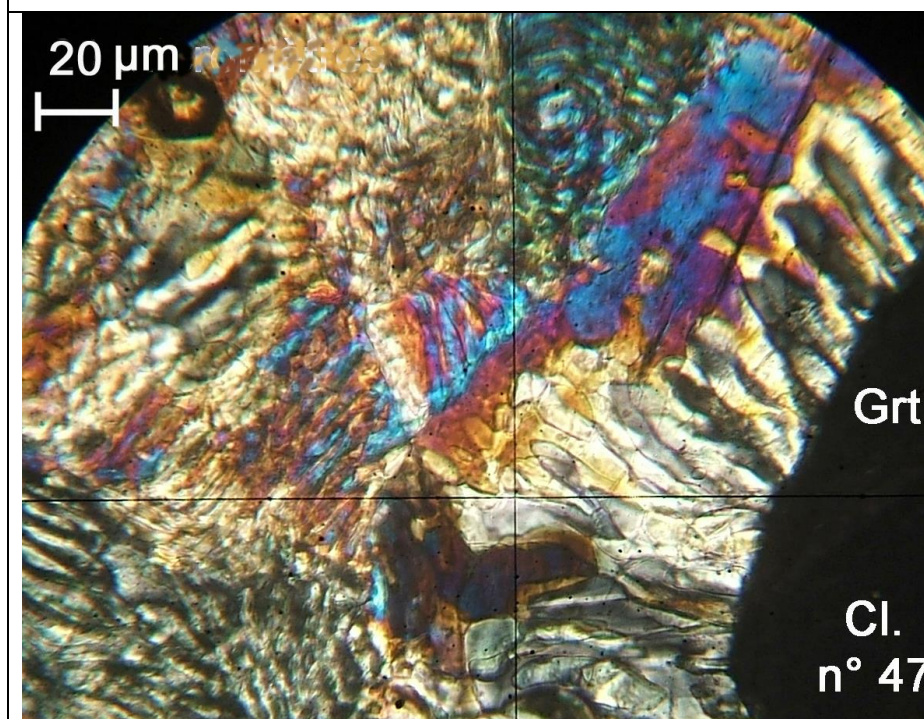
Puy de Ferrières.

Lame 515. LPNA, X 7.

Détail de la texture digitée dans le liseré de la couronne réactionnelle, à la surface d'un *grenat*.

Les baguettes sont de deux types :

- *amphiboles* de couleur vert pâle ;
- *plagioclases* transparents, particulièrement nets sur le cliché 47 en LPA.

**Cliché n° 47.**

Puy de Ferrières.

Lame 515. LPA, X 7.

Le liseré coronitique du grand *grenat* de droite est en contact avec les assemblages symplectiques de la kélyphite voisine, assemblages orientés dans tous les sens. Les couleurs vives du début du second ordre peuvent appartenir à des *amphiboles*, mais aussi à des *pyroxènes* : il est souvent bien difficile de les distinguer.

