

# LE MÉTAMORPHISME DANS L'ATLAS PÉTROGRAPHIQUE DE LA SAGA

« Un cas d'école », le métamorphisme régional du Bas Limousin

*Roland Mahéroult, membre de la Commission de volcanisme de la SAGA.*



*Figure 1. Le village d'Aubazine se situe à proximité des gorges de la Corrèze. La pierre de construction de son château est une roche métamorphique, la leptynite dite d'Aubazine, d'un beau rose saumon grâce à l'abondance d'un feldspath alcalin, le microcline. En bas à droite, coupe polie de l'échantillon de leptynite, très beau matériau de construction, utilisé à Aubazine et sa région jusqu'à Tulle.*

Depuis 2014, une équipe de la Commission de volcanisme, sous l'égide de Dominique Rossier, travaille à l'élaboration de *L'Atlas pétrographique*. Les lames minces étudiées ont été taillées dans les échantillons récoltés lors des préparations et des sorties annuelles de cette Commission.

Jusqu'à la fin 2021, *L'Atlas pétrographique* décrivait trois séries de lames minces consacrées au volcanisme (les mont Dore, Estérel et Chaîne des Puys) et une série consacrée au plutonisme, avec le pluton de Plou-

manac'h, en Trégor. En décembre 2021, il s'est enrichi d'un premier chapitre consacré aux roches métamorphiques.

La première partie de cet article, qui fait suite à la tribune libre de mars 2022, présente les diverses étapes qui ont abouti à cette mise en ligne, destinée bien sûr à tous les membres de la SAGA, mais également accessible à tous les publics :

[https://www.saga-geol.fr/Petrographie\\_frameset.html](https://www.saga-geol.fr/Petrographie_frameset.html).

## 2. Le métamorphisme entre dans *L'Atlas pétrographique de la SAGA*

Le métamorphisme est en général considéré comme une discipline austère, peu souvent abordée à la SAGA. Pourtant, il est présent dans une très large part de nos régions anciennes, celles datées jusqu'à la fin du Paléozoïque, et toujours étroitement associé à la tectonique (voir figure 5).

C'est pourquoi, en 2006, Alain Guillon laisse carte blanche à Dominique Rossier pour conduire pendant deux semestres les « *Entretiens sur le métamorphisme* ». Grâce à cette impulsion, la rédaction des *Entretiens* commence. Avec l'aide de Philippe Berger-Sabatel et le soutien de notre président Richard Tremblier, la publication aboutit en 2010 (Rossier, 2010). Depuis, l'enseignement du métamorphisme n'a jamais quitté les séminaires de pétrographie, parallèlement à l'enseignement du magmatisme.

En même temps, du 28 septembre au 1<sup>er</sup> octobre 2007, la SAGA effectuait un voyage d'étude dans le Bas Limousin, et Yves Grimault faisait le compte rendu des sites visités (Grimault, 2009). Les échantillons récoltés lors de ce voyage et ceux récoltés par D. Rossier lors d'un long séjour qu'il a vécu dans la région de Brive, dans les années 80, lui ont permis de préparer les lames minces correspondant aux 27 dossiers de *L'Atlas*.

Pendant ces deux dernières années, et malgré le confinement qui a contraint à des échanges par Internet, l'équipe de *L'Atlas pétrographique* (D. Piaud, H. Quéré et moi-même, sous l'égide de D. Rossier) a rédigé les 27 dossiers correspondant à chaque lame. Chaque membre de l'équipe possède son propre microscope et peut donc, par un examen direct des lames, effectuer les vérifications pour d'éventuelles mises au point.

### 2. Qu'est-ce que le métamorphisme?

Le métamorphisme peut se définir comme l'ensemble des modifications intervenant, à l'état solide, dans la composition minérale et dans la structure d'une roche soumise à des conditions de température et de pression (P/T) différentes de celles de cette roche d'origine qu'on appelle le **protolithe**.

Cet article n'est pas un cours sur le métamorphisme. Pour en savoir plus, il y a bien sûr les « *Entretiens sur le métamorphisme* », la notice de ce chapitre de *L'Atlas*, les 27 « dossiers » et un cours de D. Obert donné sur ce sujet en décembre 2012 (Obert, 2012). Il est cependant nécessaire d'introduire un peu de vocabulaire indispensable quand on aborde cette discipline.

### 2.1. « Métamorphose/métamorphisme »

Établir un parallèle entre métamorphisme et métamorphose (figure 2) peut paraître un raccourci un peu hâtif. Pourtant, on assiste dans les deux cas à des transformations avec acquisition de nouvelles structures ou de nouvelles formes.

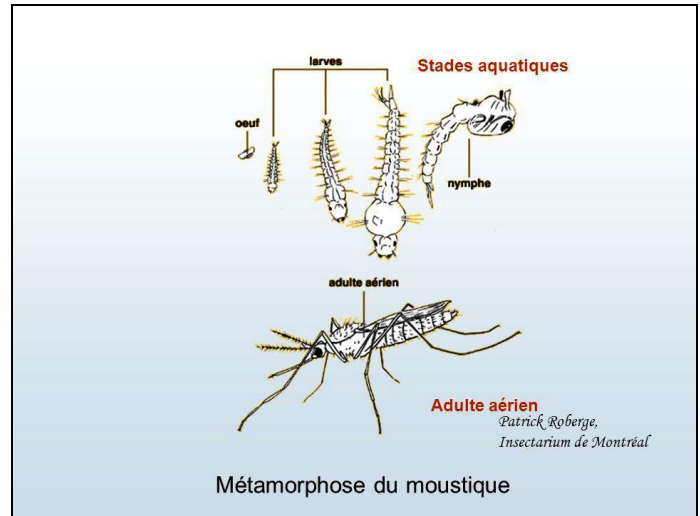


Figure 2. Métamorphose du moustique en quatre étapes : œuf, larves, nymphe et moustique. Si tout se passe bien, pas de surprise, les quatre étapes auront lieu et donneront un moustique.

#### Qu'en est-il pour une roche ?

D'abord, une distinction importante entre composition chimique et composition minéralogique. Par exemple, le granite a pour composition chimique les oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , etc.) et comme composition minéralogique les minéraux (quartz, feldspath, biotite, etc.).

#### Quels sont les paramètres qui président à la « métamorphose » d'une roche ?

**Le protolithe** : c'est la roche d'origine, sédimentaire, magmatique ou même métamorphique, de compositions chimique et minérale très variées. Mais, point important, lors du métamorphisme, la composition chimique d'un protolithe donné ne change pas (hors départ ou apport de fluides comme  $\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{CO}_2$ ). On dit que le métamorphisme est isochimique.

**La pression** (par exemple, près de 3 kbars à une profondeur de 10 km) : c'est la pression lithostatique exercée sur le protolithe lors de son enfouissement. Elle est isotrope c'est-à-dire homogène dans toutes les directions et n'engendre donc pas de déformation. Mais, dans les zones d'orogénèse, la pression est orientée (contraintes anisotropes) et la roche se

déforme de manière ductile (schistosité, fluage, linéation, microplis à toutes les échelles).

**La température** : liée à la constitution interne de la terre, elle augmente avec la profondeur mais, suivant les contextes tectoniques, elle est très variable. On décrit cette élévation de la température avec la profondeur par une représentation graphique dans l'espace pression/température : c'est ce qu'on appelle le **géotherme** (figures 3 et 4) et, pour en savoir plus, voir « *La géothermie aujourd'hui* », par Audubert et Mahéroult (2016).

**Le temps** : c'est un paramètre important car il faut que les conditions physico-chimiques soient modifiées durablement pour que les transformations minéralogiques et structurales aient le temps de se produire.

Lors de l'enfouissement, les minéraux du protolithe, en réponse aux nouvelles conditions de pression et/ou de température (géotherme), deviennent instables, se déstructurent. Les composants chimiques se réorganisent pour former des nouveaux minéraux, alors stables dans ces nouvelles conditions et constituant de nouvelles associations minéralogiques appelées paragenèses. Lors de l'exhumation, la pression diminue, mais compte tenu de la faible conductivité de la chaleur dans les roches, la température continue un temps à augmenter avant de décroître à son tour (voir plus loin figure 23).

## 2.2. Diagrammes « pression /température »

Vers 1915, le Finlandais Eskola introduit le concept de « faciès métamorphiques ». Ceux-ci regroupent les roches qui, quelle que soit leur composition chimique, ont subi le métamorphisme dans des conditions thermodynamiques similaires. On les retrouve sur le diagramme P/T de la figure 3.

Les trois segments concourants délimitent les champs de stabilité des trois polymorphes de silicate d'alumine,  $Al_2SiO_5$  : andalousite, cyanite et sillimanite.

Les flèches représentent la trajectoire suivie par la roche lors de son enfouissement dans le diagramme « pression/température ». On distingue ainsi trois grandes familles de trajectoires, dites encore « gradients » :

- gradient Abukuma de basses pressions à andalousite et sillimanite ;
- gradient dalradien ou barrowien de moyennes pressions à cyanite et sillimanite ;
- gradient franciscain de hautes pressions.

Les faciès sont limités par des traits fins : pour le Bas Limousin, nous aurons les faciès schistes verts et amphibolites (gradient barrowien, courbe continue de la figure 4) et faciès écolites (gradient franciscain, courbe pointillée discontinue de la figure 4).

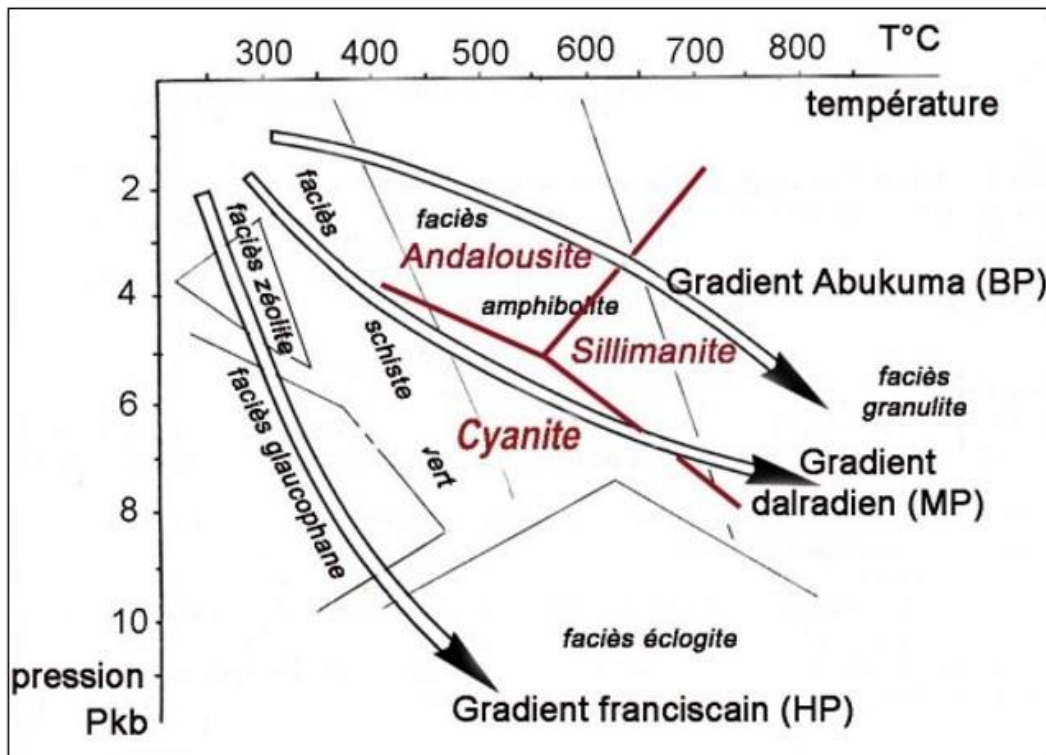


Figure 3. Gradients d'enfouissement et faciès métamorphiques. Schéma tiré et adapté de l'ouvrage de J.-C. Pons (2001).

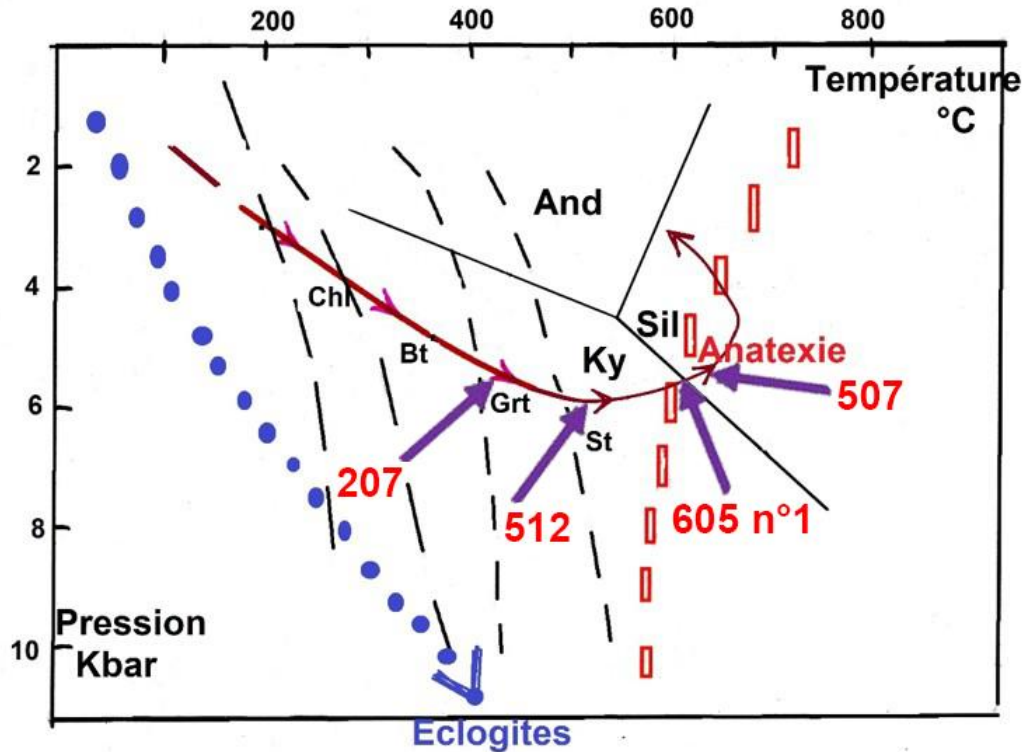


Figure 4. Diagramme illustrant le métamorphisme du Bas Limousin et la position des lames minces 207, 512, 605 n°1 et 507 citées dans cet article.

La courbe continue suit le trajet P/T « prograde », puis « rétrograde », du gradient de moyenne pression (barrowien).

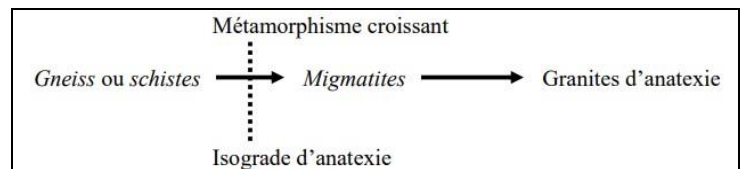
Pour un protolithe sédimentaire ou volcano-sédimentaire, les tiretés noirs situent l'apparition des isogrades<sup>1</sup> des minéraux marqueurs du métamorphisme (chlorite, biotite, grenat et staurolite). On les retrouve sur la carte géologique de la figure 6.

Jusqu'à 300 °C et une pression de 4 kbars, les paragenèses sont à chlorite puis biotite. Puis le grenat almandin apparaît, suivi par la staurolite.

À partir de 500 °C et 6 kbars, apparaît la cyanite (appelée « géobaromètre », parce que bon indicateur de la gamme de pression), puis la sillimanite (appelée « géothermomètre », parce que bon indicateur de la gamme de température) à 550 °C.

Les petits rectangles indiquent le début de la fusion partielle des roches en présence d'une pression partielle de vapeur d'eau (anatexie : encadré ci-contre).

La courbe pointillée discontinuée du gradient métamorphique des très hautes pressions (franciscain), liées à un géotherme de faible valeur entre 10 et 15 °C/km, est typique de l'enfouissement lors d'une subduction.



### 3. Le métamorphisme régional du Bas Limousin

Cette région du Bas Limousin présente un caractère exemplaire et pédagogique, même si le métamorphisme ainsi décrit est dit « régional », désigné par le terme de métamorphisme **barrowien**<sup>2</sup>, lié aux grandes orogénèses. Celui-ci se déploie entre 20 km de profondeur où la température atteint 400 °C (géotherme de 20 °C/km), jusque et au-delà de 35 km, avec une température qui dépasse 700 °C et atteint la zone où l'anatexie devient possible (zone de fusion partielle des roches, cf. encadré ci-dessus).

<sup>2</sup>Au début du siècle dernier, Barrow et Tilley remarquent l'apparition successive, dans une série alumineuse, de certains minéraux en fonction de l'intensité du métamorphisme : chlorite, biotite, staurolite, disthène, puis sillimanite. Ils les considèrent alors comme des minéraux repères dont l'apparition permet de définir une ligne d'égale intensité de métamorphisme ou isograde sur une carte (Barrow, 1893 et 1912 ; Tilley, 1925).

<sup>1</sup> Un isograde est la frontière de la zone d'apparition d'un minéral marqueur du métamorphisme (par exemple Bt, pour biotite, sur la figure 4).

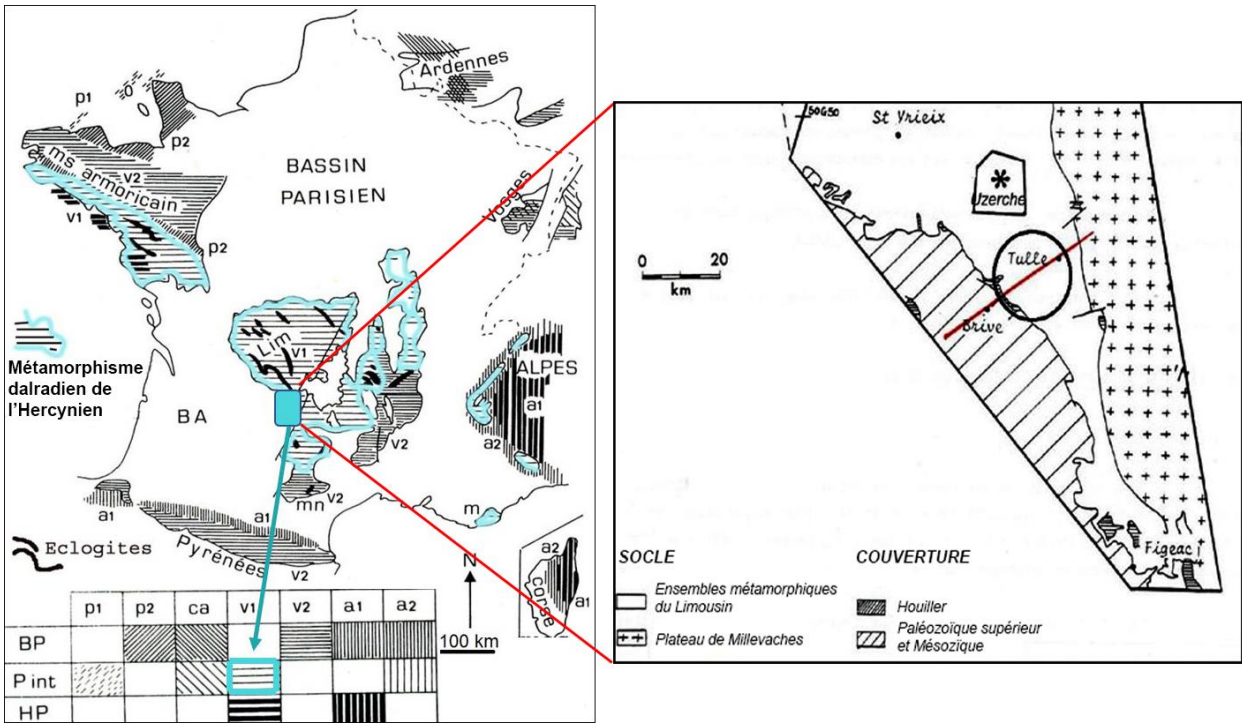


Figure 5. Carte de répartition des séries métamorphiques sur le territoire français, en fonction de l'âge et du type de **gradient métamorphique**. D'après Kornprobst (2007), modifiée D. Rossier.

Bas Limousin, cycle hercynien ou varisque (v1) et gradient intermédiaire « **P int** » dit « barrowien » et « **HP** » dit « franciscain » [les boudins noirs représentent les reliques de roche de **HP** (éclogites, métaéclogites) dans les séries barrowiennes]. Les échantillons dans lesquels ont été taillées les 27 lames minces de L'Atlas ont été prélevés le long ou à proximité de la vallée de la Corrèze, entre Brive et Tulle (partie droite de la figure, dans le cercle noir) et près d'Uzerche (polygone ; voir aussi figure 18).

### 3.1. La carte géologique simplifiée et modifiée (D. Rossier)

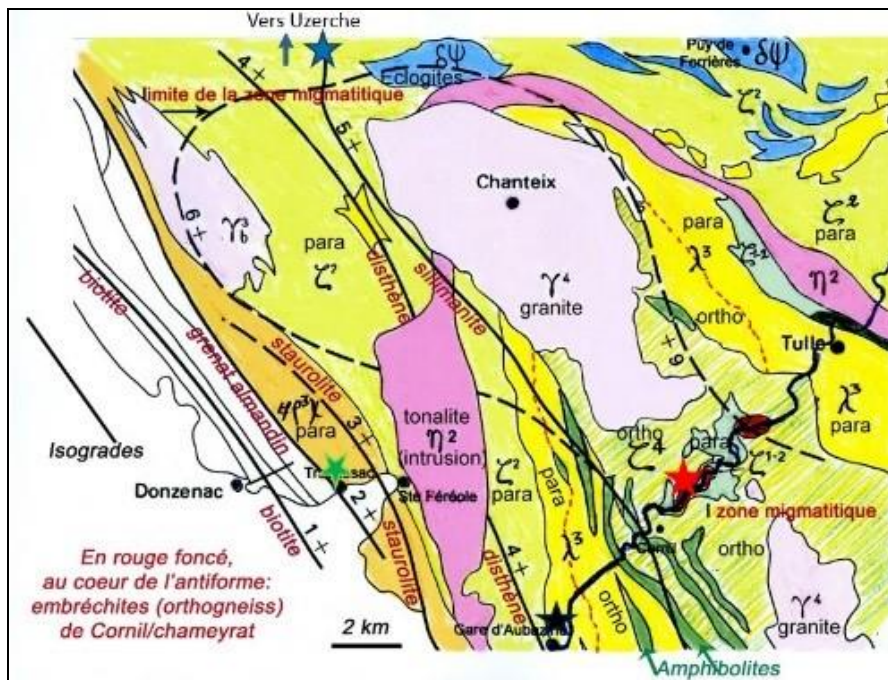


Figure 6. D'ouest en est, se succèdent les terrains métamorphiques disposés de part et d'autre d'une zone centrale d'axe NNO-SSE, axe de l'anticlinal de Tulle dont la mise en place est bien postérieure à l'épisode métamorphique. Les étoiles situent les lieux de prélèvement des échantillons des lames minces de la figure 8.

La carte géologique (figure 6) illustre parfaitement, d'ouest en est, l'intensité croissante du métamorphisme régional du Bas Limousin. On y retrouve les lignes noires isogrades des marqueurs du métamorphisme du diagramme de la figure 4, affectées du signe + indiquant leur apparition, la limite de la zone migmatitique en pointillé noir étant notée 6+.

Depuis les schistes ardoisiers de Travassac (étoile verte), se succèdent :

- les quartzites et les micaschistes ( $tf\rho^3\chi$ ), roches dites « paradérivées », donc issues d'un protolithe sédimentaire ou volcano-sédimentaire (para sur la carte) ;

- les gneiss gris du Bas Limousin ( $\zeta^2$ ,  $\zeta^{1-2}$  para) parsemés d'un vaste essaim d'éclogites fraîches (peu nombreuses), de métaéclogites et d'amphibolites dérivées, en lentilles allongées, surtout vers Uzerche ( $\delta\Psi$ ) ;

- les leypinites d'Aubazine et de Tulle ( $\lambda^3$  para), mais aussi « orthodérivées » quand le protolithe est d'origine magmatique ou plutonique (ortho sur la carte) ;

- les roches magmatiques intrusives, tonalite ( $\eta^2$ ) et granite de Cornil de la zone d'anatexie ( $\gamma$ ) ont, bien plus tard, modifié l'ordonnement des roches

métamorphiques en place. Le bloc-diagramme de la figure 7 montre ces intrusions tardives, suivies de la formation de l'anticlinal de Tulle.

### 3.2. Les 27 dossiers de lames minces de L'Atlas du Bas Limousin

Sur les 27 lames minces, 22 appartiennent au gradient barrowien (8 paradérivées et 14 orthodérivées), 5 au gradient franciscain.

#### 3.2.1 Les tableaux des minéraux du gradient barrowien

Tous les dossiers présentent, en première page, le tableau récapitulatif des minéraux présents et observés au microscope polarisant (figure 8). On y trouve aussi, parfois, un cliché de l'échantillon ou de la roche en place et l'indication du lieu de prélèvement.

Voici les tableaux de six lames minces représentant les trois types de roche : volcanique, plutonique et métamorphique.

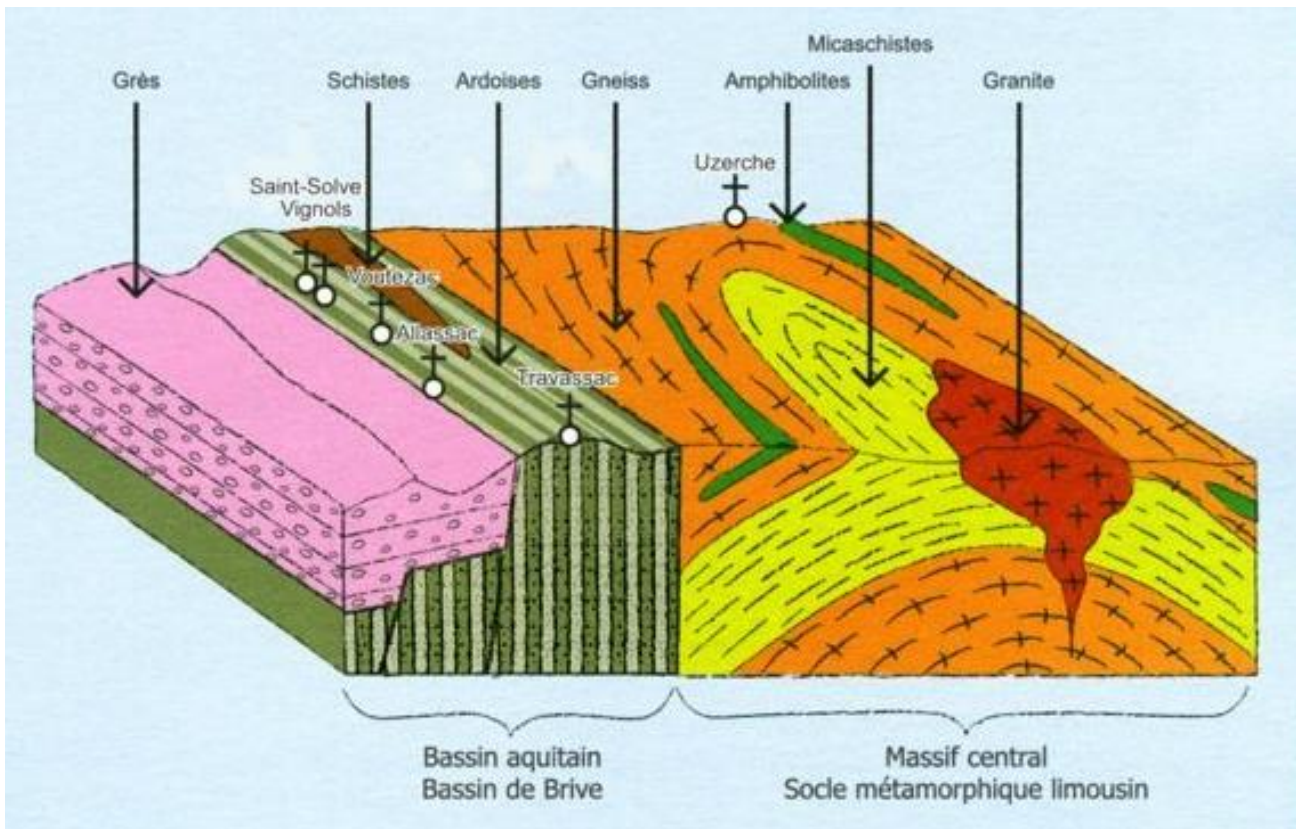


Figure 7. Bloc-diagramme d'après J.-P Floc'h et A. Guillaumin, « L'ardoise dans la géologie du Bas Limousin ».

Source : <https://www.vezereardoise.fr/publications>, puis consulter en ligne : [Laissez-vous conter l'ardoise](#).

Lame 10410										Minéraux					R. volcanique					Série	Nature
Si	F.A	PI	Foï	Ol	Cpx	Opx	Amp	Bt	M.A.												
-	-	an+	X	X	X	-	X	-	X								SMA	Ba			

Lame 10808										Minéraux					R. plutonique					Série	Nature
Qz	F.A.	PI	Crd	Mus	Bt	Amp	Ep	Px	Ol	M.A.											
-	-	An-	-	-	X	X	-	X	X	X							Ga	Ga-Ol			

Lame 207															Minéraux					R. métamorphique					P / O	Faciès	Lignée	Nature
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	Prl	Chl	And	Cv	Sil	Crd	Grt	St	Px	Amp	Ep	MA												
X	-	An?	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X								P	SV	Bar Pr	Qzit	

Lame 512															Minéraux					R. métamorphique					P / O	Faciès	Lignée	Nature
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	Prl	Chl	And	Cv	Sil	Crd	Grt	St	Px	Amp	Ep	MA												
X	-	An?	X	X	-	X	-	X	-	-	X	X	-	-	-	X								P	A	Bar Pr	Pgn	

Lame 605 n°1															Minéraux					R. métamorphique					P / O	Faciès	Lignée	Nature
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	Prl	Chl	And	Cy	Sil	Crd	Grt	St	Px	Amp	Ep	MA												
X	-	An?	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-								P	A	Bar Pr	Pgn	

Lame 507															Minéraux					R. métamorphique					P / O	Faciès	Lignée	Nature
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	Prl	Chl	And	Cy	Sil	Crd	Grt	St	Px	Amp	Ep	MA												
X	X	An-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X								O	A	DalPr	Ognoeil	

Figure 8. Tableaux des minéraux dans un basalte (Ba), un gabbro à olivine (Ga-Ol), un quartzite (Qzit), deux paragneiss (Pgn) et un orthogneiss œillé (Ognœil).

Qz : quartz ; F.A : feldspath alcalin (sodo-potassique) ; PI : plagioclases ; Foï : feldspathoïdes ; Ol : olivine ; Mus : muscovite ; Bt : biotite ; Mb : micas blancs ; Prl : pyrophyllite ; Chl : chlorite ; And : andalousite ; Cy : cyanite ; Sil : sillimanite ; Crd : cordiérite ; Grt : grenat ; St : staurolite ; Px : pyroxènes ; Amp : amphibole ; Ep : épidote ; M.A : minéraux accessoires.

Les tableaux des roches métamorphiques voient apparaître les minéraux « marqueurs » évoqués au paragraphe 2.2 (cadres bleus de la figure 8). Ces minéraux sont absents des deux autres types de roches. La partie droite des tableaux donne d'autres informations.

Pour les roches métamorphiques, l'origine du protholite (P/O pour paradérivées/orthodérivées), le faciès (ici SV et A pour schiste vert et amphibolite) et le gradient (ici Bar Pr pour barrowien prograde) sont précisés.

Dans ces deux tableaux, la présence (X) ou l'absence (-) de certains minéraux fournit déjà de précieuses indications. Ainsi, on peut supposer que la roche 207 n'a pas atteint le même degré de métamorphisme que la roche 605 n°1, car absence de cyanite et de sillimanite dans la première et présence dans la seconde.

### 3.2.2 Les clichés des lames minces entières

Les pages suivantes des dossiers présentent souvent deux clichés, l'un noté LPNA (lumière polarisée naturelle) et le deuxième noté LPA (lumière polarisée analysée).

On obtient ces clichés de lames entières en plaçant la lame mince sur la vitre d'un scanner et un filtre polarisant (cliché LPNA). Le cliché LPA nécessite deux filtres polarisants, disposés perpendiculairement de chaque côté de la lame. Cette technique et l'utilisation du microscope polarisant font l'objet des « Entretiens n° 1 ».

Pour illustrer l'intensité croissante du métamorphisme barrowien d'ouest en est, je vous propose d'effectuer un survol rapide de quelques pages de quatre lames minces de L'Atlas.

**1. Lame 207 :** site des Taupineries situé à environ 1 km à l'est de Travassac (étoile verte sur les figures 6 et 8).

On a déjà atteint les isogrades de la biotite et du grenat, ce qui montre la force du gradient métamorphique. La roche est une quartzite.

Ces clichés de lame entière montrent toujours des cadres contenant des repères (ici un chiffre). Ces repères permettent de situer sur la lame que l'on examine les nombreux clichés pris avec la caméra installée sur le microscope polarisant. Les plus représentatifs de ceux-ci sont présentés dans les dernières pages de tous les dossiers de lames minces.

Souvent, ces clichés de lame entière permettent aussi d'observer, à cette petite échelle, la structure de la roche. C'est le cas du cliché de cette lame 207 (figure 9) : lors de l'enfouissement, la roche a été plissée, la stratification d'origine (flèches  $S_0$ ) est encore visible, marquée de minces lits de biotite. De grosses biotites noires (flèche jaune  $S_1$ ) soulignent la schistosité qui a alors envahi toute la roche.

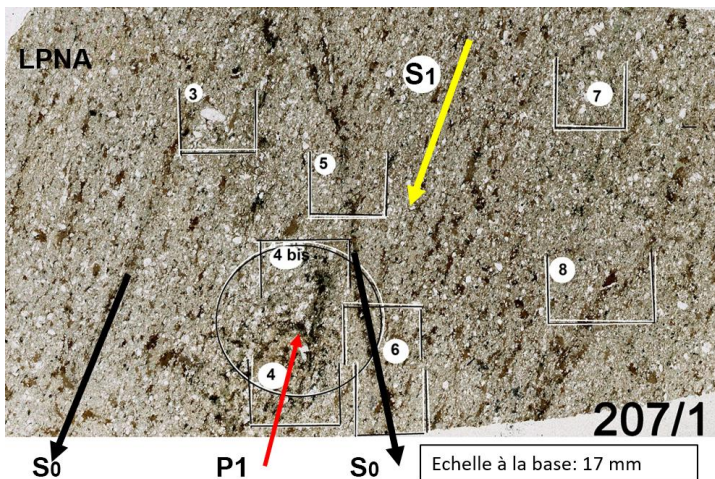


Figure 9.  
Cliché LPNA de la lame entière 207.  
 $S_0$  est la stratification d'origine,  
 $P1$  est un pli synmétamorphique  
et  $S_1$  (flèche jaune) la schistosité acquise.

Le tableau des minéraux de la figure 8 indique la présence de la chlorite dans cette lame 207. Elle y est en effet très abondante, issue principalement de l'altération de la biotite : au centre du cliché de la figure 10, une relique de biotite est bien visible. Cette altération s'est produite lors de l'exhumation de cette roche (figure 11).

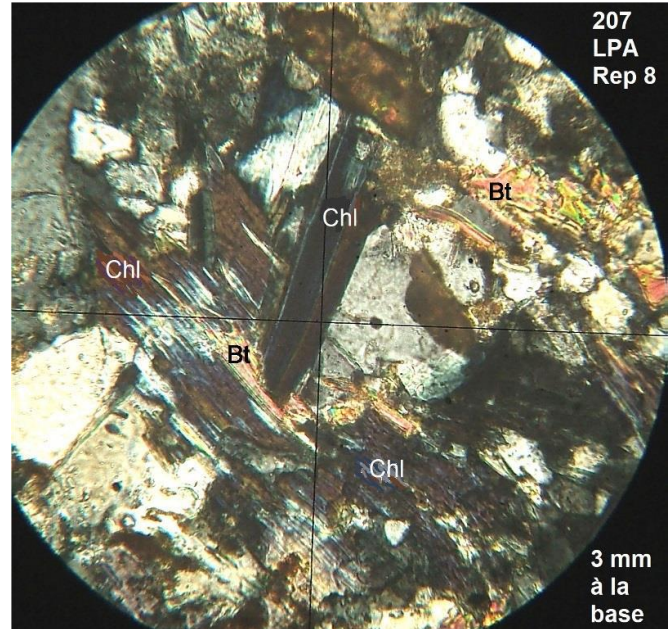


Figure 10. Cliché en LPA du repère 8 (3 mm à la base) de la lame 207 avec chlorite (Chl) et biotite (Bt).

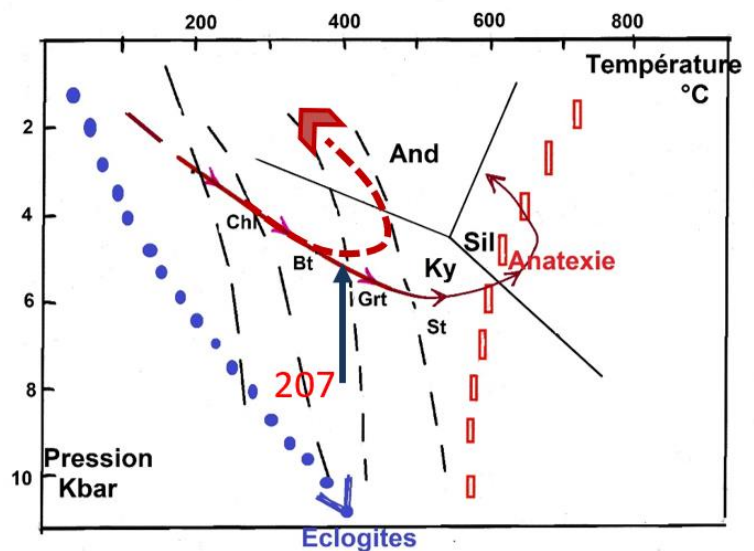


Figure 11.  
Cet échantillon, correspondant à la lame 207, n'a pas atteint l'isograde de la staurolite (St).  
La flèche en tirets illustre son trajet rétrograde.  
Aujourd'hui exhumé, il a conservé les traces de son voyage métamorphique.

**2. Lame 512 :** site de la gare d'Aubazine (étoile noire des figures 6 et 8).

La staurolite est présente ainsi que quelques petits cristaux de cyanite. Cette roche est un gneiss.

La déformation sous contrainte est ici bien nette (figure 12).



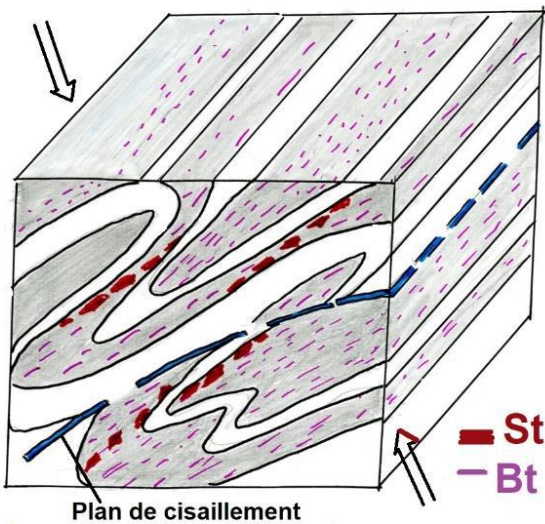
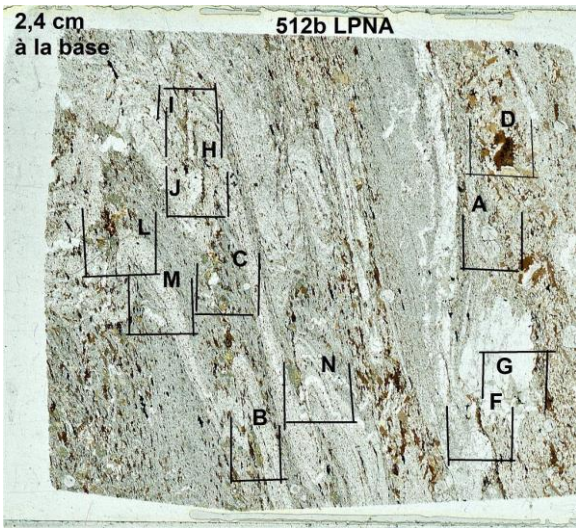


Figure 12. Lame 512. Le cliché LPNA (2,4 cm à la base) est ici accompagné d'un dessin explicatif de D. Rossier.



Figure 13. Lame 512. Ce cliché du repère I (2,5 mm à la base) illustre bien le foisonnement des staurolites (St), mêlées aux biotites (Bt) en bordure des grands amas de quartz (Qtz).

Les charnières des plis et microplis sont bien visibles. Les plis sont serrés et isoclinaux, c'est-à-dire déversés avec flancs de même pendage. Il s'agit de plis d'entraînement, créés par le différentiel de mouvement des couches de terrain. Les teintes claires marquent les zones à concentration de quartz. Le dessin montre la direction de la contrainte cisailante et la présence, dans les parties grisâtres, de la biotite (Bt) et de la staurolite (St).

3. La lame 605 n°1 (étoile bleue de la carte de la figure 6 et localisation plus précise sur la figure 18).

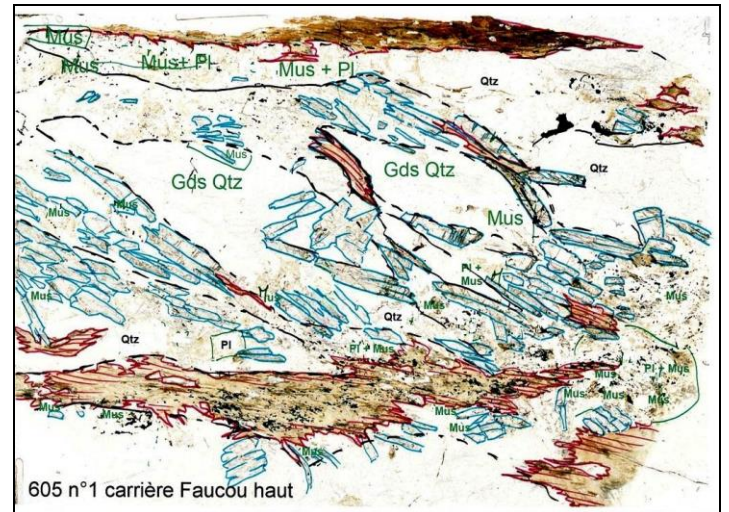


Figure 14. Dessin effectué sur le cliché LPNA de la lame 605 (3 cm à la base). D. Rossier.

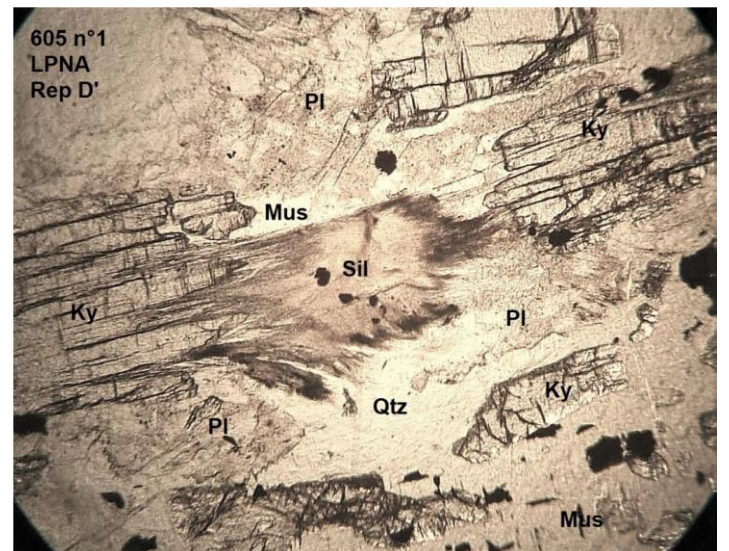


Figure 15. Lame 605. Les deux polymorphes des silicates d'alumine, cyanite (Ky) et sillimanite (Sil) (fibrolite), sont présents simultanément et massivement ce qui permet de placer les conditions de métamorphisme au voisinage de la droite de changement de phase des silicates d'alumine dans le diagramme pression/température (figure 4). Cliché 2,3 mm à la base.

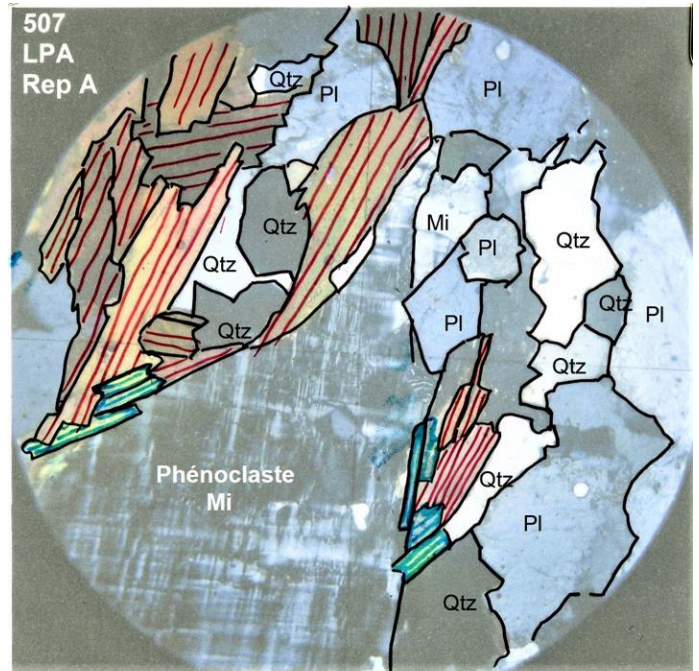
C'est une roche paradérivée, un paragneiss (gneiss partiellement métamorphisé). Sa position sur la figure 4 la situe à proximité de la zone d'anatexie, donc du début de la fusion partielle. Le quartz fond localement et se remobilise (mobilisat). Le dessin de la figure 14 permet de visualiser la répartition hétérogène des feuillets, des mobilisats de grands quartz purs (**Gds Qtz**) et des mobilisats quartzo-feldspathiques avec plagioclases (**PI**) et muscovite (**Mu**). Les lattes de cyanite sont soulignées en bleu. Les minces feuillets de biotite et fibrolite (sillimanite fibreuse) et ceux de fibrolite quasi pure sont soulignés en rouge.

**4. Lame 507** : elle a été taillée dans un panneau de gneiss (figure 16). La photo du bas est un gros plan sur l'échantillon récolté.



Figure 16. Le cliché du haut montre un panneau de gneiss emballé dans le magma du granite intrusif de Cornil. Sur la photo du bas, la foliation gneissique est encore bien marquée par les feuillets fins et souvent discontinus de biotite. Les « yeux » quartzo-feldspathiques sont partout présents.

Les minéraux riches en alumine ont disparu de cette lame 507 (voir tableau de la figure 8). On voit apparaître les feldspaths alcalins (microcline). Les paragneisses ne sont plus les mêmes : nous sommes dans le domaine des roches métamorphiques orthodérivées (protolithe magmatique ou plutonique).



Echelle: 2,5 mm à la base

Figure 17. Le feldspath alcalin, le microcline (**Mi**), est facile à repérer en lame mince grâce à son aspect moiré et son fin quadrillage. La déformation par étirement et cisaillement impose à une extrémité du phénoclaste de microcline une forme effilée, bordée de petits phénoblastes de quartz. Le cliché (2,5 mm à la base) a été redessiné par superposition par des traits de couleurs pour les micas, verts pour la muscovite et rouge pour la biotite.

### 3.2.3. Le gradient franciscain

Pour illustrer ce gradient de haute pression, nous avons choisi deux des cinq lames minces présentées dans *L'Atlas* (lames 20013 et 11223, figures 18 et 19). Elles ont pour intérêt de montrer deux degrés de déstabilisation de leurs mêmes minéraux lors de leur exhumation (figure 20b, début de déstabilisation ; figure 21, forte déstabilisation).

Sur le diagramme P/T de la figure 4, c'est maintenant la flèche pointillée qu'il faut regarder. Le trajet suivi par le protolithe suit le gradient franciscain HP/BT. Géotherme faible 10 à 15°/km : trajectoire prograde suivie par l'unité de croûte océanique froide et de sa couverture sédimentaire subductant juste avant la collision.

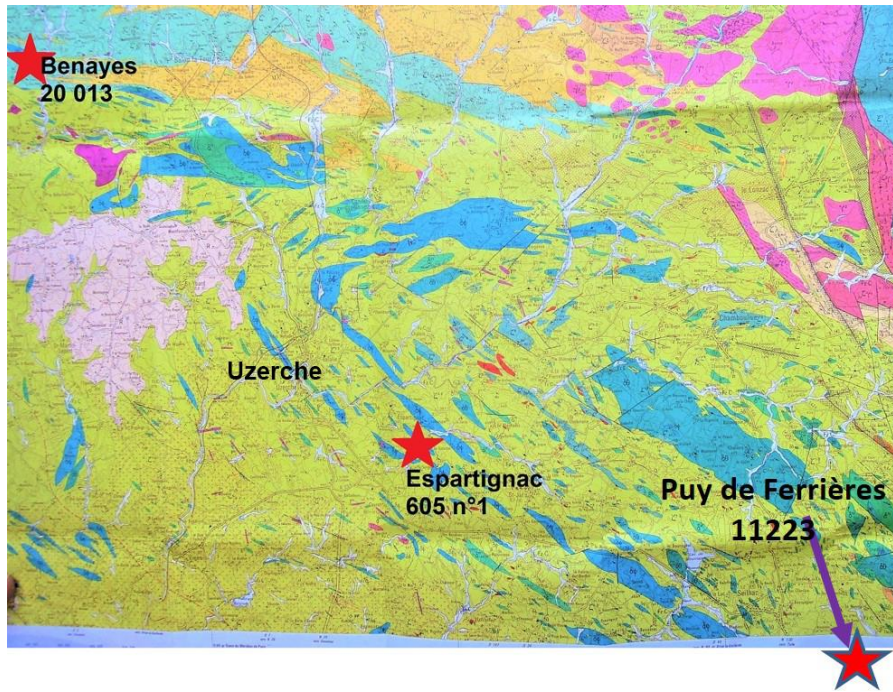


Figure 18. Cette carte géologique modifiée est centrée sur la ville d’Uzerche (au nord de la carte de la figure 6).  
 En vert, gneiss gris du Bas Limousin, parsemés d’un vaste essaim d’éclogites fraîches (peu nombreuses),  
 de métaéclogites et d’amphibolites dérivées, en lentilles allongées (en bleu).  
 Carte géologique à 1/50 000, Uzerche (Floc’h et al, 1982). © BRGM.

Lame 20013																P / O	Facès	Lignée	Nature	
Minéraux																				
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	PrI	ChI	And	Cy	Sil	Crđ	Grđ	St	Px	Amp	Ep	MA				
X	-	An-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	O	EC	Frçain	Eclog-fr
Lame 11223																P / O	Facès	Lignée	Nature	
Minéraux																				
Qz	F.A	PI	Bt	Mb	PrI	ChI	And	Cy	Sil	Crđ	Grđ	St	Px	Amp	Ep	MA				
X	-	An+	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	O	EC	Frçain	Mtaeclog

Figure 19. Ces deux lames minces ont en commun les mêmes minéraux mais sont de nature différente.  
 20013 est une éclogite dite « fraîche » (**Eclog-fr**) et 11223 est une métaéclogite (**Mtaeclog**). Le pyroxène (**Px**) est une omphacite, véritable minéral marqueur de hautes pressions.

1. Lame 20013 : site de Bénayes (figure 18), éclogite fraîche figure.

La roche est massive, dans le sens où elle n’a pas subi de foliation. Néanmoins on observe qu’elle est orientée et donc qu’elle a subi une déformation (figure 20).

► Figure 20a. Sur cette coupe polie d’un échantillon massif d’éclogite, les cristaux d’omphacite sont verts à vert émeraude, les grenats sont brun rosé.



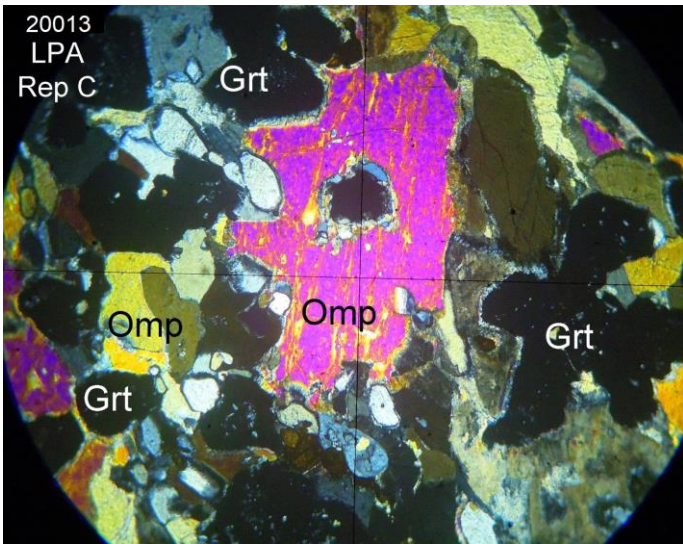


Figure 20b. Lame 20013. Ce cliché en LPA montre les omphacites aux couleurs très vives. Les interfaces avec les grenats sont marquées d'un très mince cordon réactionnel.

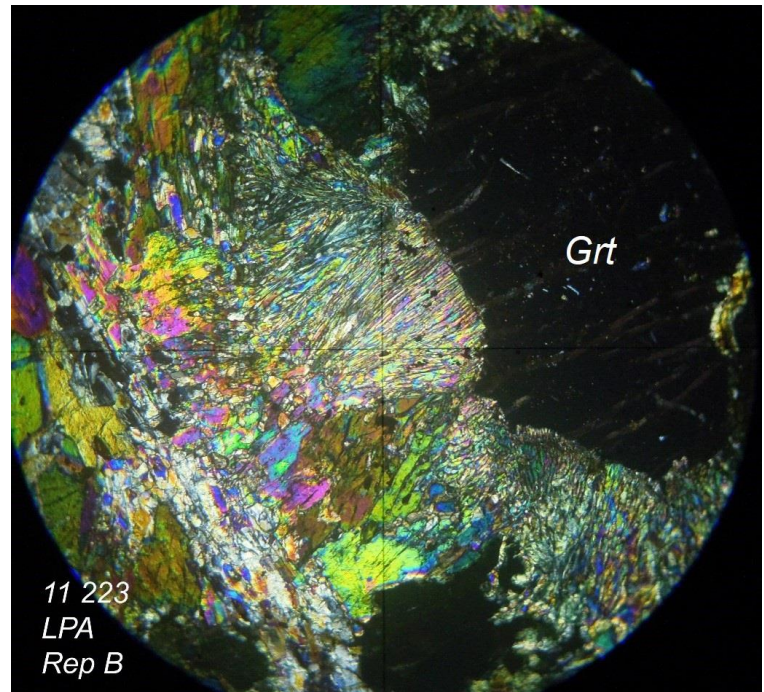


Figure 22. Superbe cliché en LPA de la lame 11223. Oh, surprise ! Le microscope polarisant en LPA révèle, autour des grenats, une double auréole de minéraux néoformés.

La première auréole kélyphitique (bordure de réaction autour d'un minéral), est composée d'un agrégat de petits cristaux de diopside et plagioclase. La seconde est surtout composée d'une amphibole, la hornblende verte, 2,9 mm à la base.

**2. Lame 11223 :** site du Puy de Ferrières (figure 18), métaéclogites.

On retrouve les mêmes minéraux que ceux de la lame 20013, mais sur le cliché de la lame entière 11223 (figure 21), l'omphacite a presque entièrement disparu, déstabilisée en une masse grisâtre. Les interfaces avec les grenats montrent un large cordon réactionnel (figure 22).

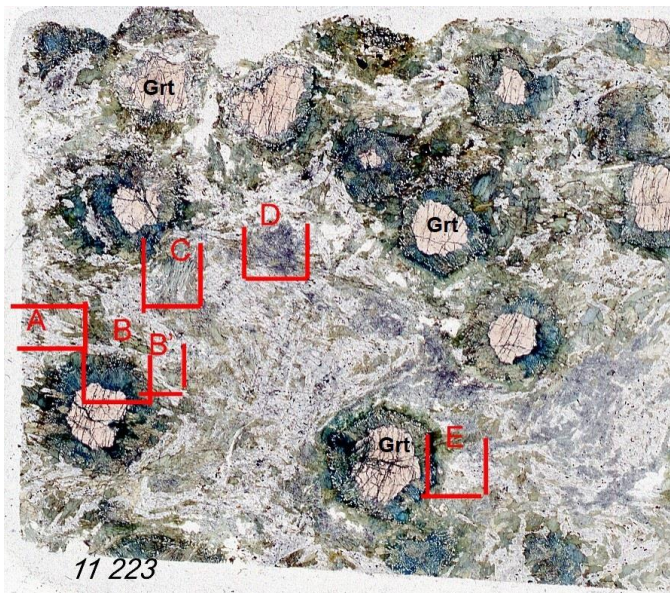


Figure 21. Cliché LPNA de la lame 11223 (3 cm à la base). Au milieu d'une matrice grisâtre d'omphacite déstabilisée, les grenats sont entourés d'une auréole sombre.

**Déformation :** elle n'apparaît pas sur les grenats et leur couronne, mais très nettement sur la structure des grandes zones de déstabilisation de l'omphacite et de celles qui moulent les grenats.

**Protolithe :** d'après la notice, les éclogites formées essentiellement de grenat et d'omphacite correspondent à des basaltes tholéiitiques indifférenciés, avant subduction et éclogitisation.

**Désignation :** il s'agit d'une éclogite dans le stade 4 de la rétrogenèse, selon l'échelle de D. Santallier (1981), présentée dans le guide 6M de la notice des roches métamorphiques. Le Puy de Ferrières est la plus vaste lentille (plurikilométrique) de métaéclogites intercalée dans les gneiss plagioclasiques de la région du Bas Limousin.

En page 5 du dossier de cette lame, le paragraphe « Identification », présent dans tous les dossiers, apporte les précisions suivantes.

On peut légitimement penser que lors de la phase rétrograde, l'échantillon 20013 a subi une exhumation tectonique, alors que celui de la lame 11223 n'a été exhumé qu'à la suite d'un rééquilibrage isostatique. La figure 23 montre que l'exhumation tectonique peut être dix fois plus rapide que le rééquilibrage isostatique (figure 23).

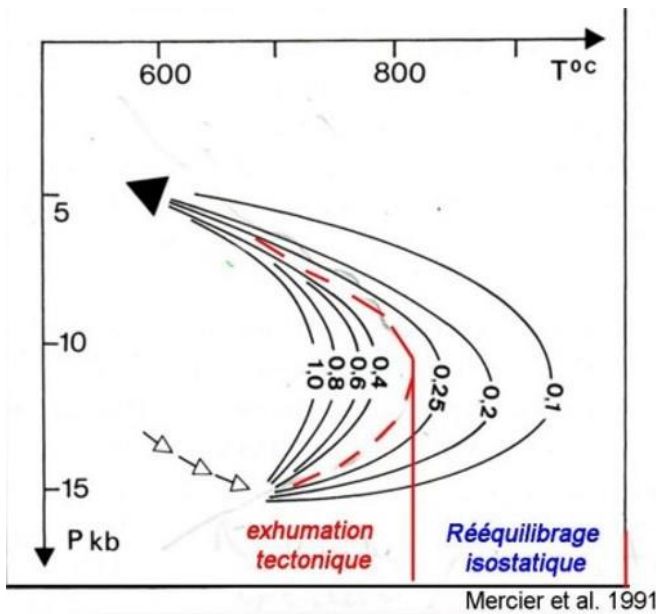


Figure 23. Sur ce diagramme P/T, les vitesses d'exhumation sont données pour chaque courbe rétrograde en mm/an. Noter la forme de ces courbes rétrogrades qui, dans le cas du rééquilibrage isostatique, montre l'augmentation de la température favorable à la formation de nouvelles paragenèses.

#### 4. Le Bas Limousin dans son contexte géodynamique

Que nous disent les publications sur le contexte géodynamique qui a engendré le métamorphisme du Bas Limousin ?

Elles s'accordent à le considérer comme le résultat d'une subduction suivie d'une collision, une histoire de quelque 80 millions d'années dont voici les étapes :

1- à la fin du Silurien, fermeture de l'océan dit centralien par subduction de la lithosphère océanique (figure 24) ;

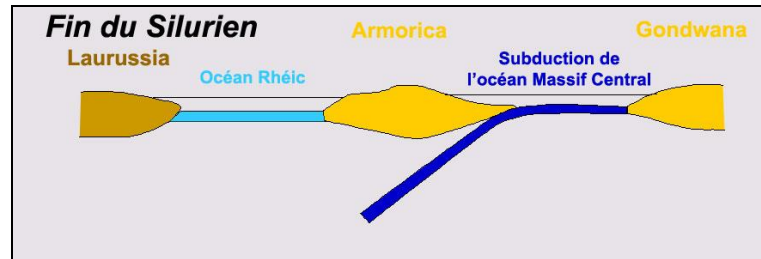


Figure 24. Schéma tiré de « Présentation géologique du Limousin », lithothèque du Limousin.

<http://pedagogie.ac-limoges.fr/svt/accueil/html/litho/histoire.htm>

2- pendant la première moitié du Dévonien, collision Gondwana/Armorica impliquant la lithosphère continentale à l'origine du socle métamorphique du Bas Limousin (phase P1 de la figure 25) et initiant la formation de la chaîne hercynienne ;

3- fin du Dévonien et début du Carbonifère, exhumation tectonique et/ou eustatique de ce socle (phase P2) avec les intrusions granitiques (phase P3) et la formation de l'anticlinal de Tulle (phase P4).

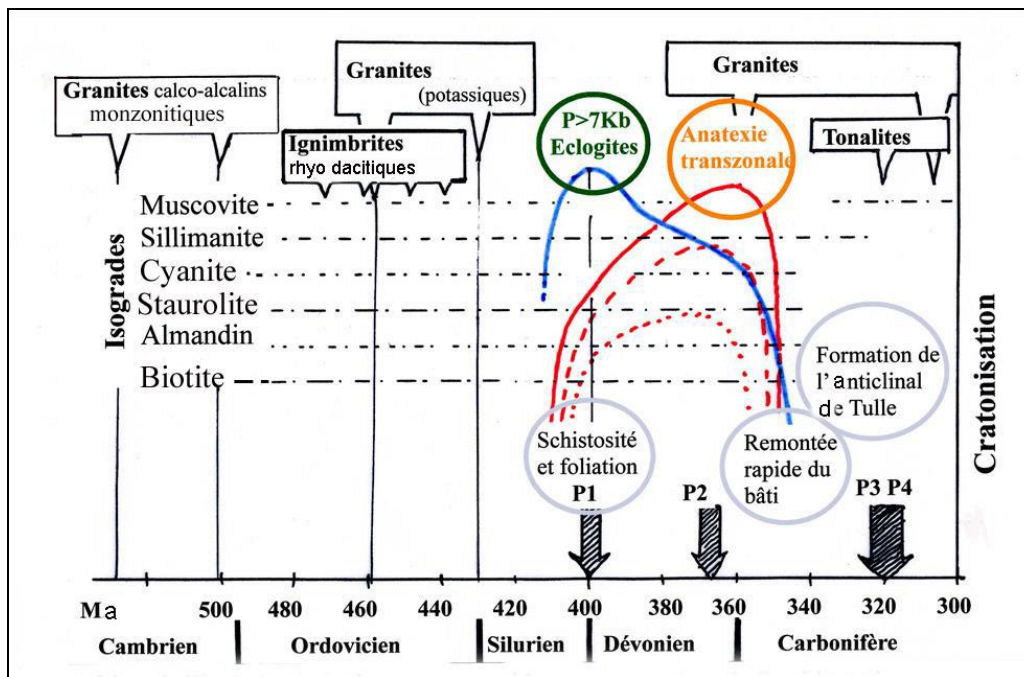


Figure 25. Schéma des évolutions tectonique, métamorphique et magmatique du Bas Limousin. D'après Autran et Guillot (1977), modifié D. Rossier.

Dans les encadrés, les roches impliquées dans le métamorphisme. Les trajets prograde et rétrograde pour les « minéraux marqueurs » sont représentés par les courbes de couleurs différentes.

La figure 26 présente une interprétation dont l'intérêt est de proposer une explication à l'association spatiale des roches de gradient franciscain au sein de celles du gradient barrowien (voir le paragraphe 3.2.4).

Dans un premier temps, un biseau continental de faible densité accompagne la subduction de la croûte océanique plus dense. C'est le trajet de la flèche pointillée bleue de la figure 6 : transformation en éclogites.

Puis la convergence Gondwana/Armorica se poursuivant, c'est la collision ; le biseau continental s'épaissit et, compte tenu de sa plus faible densité, il cesse de suivre le mouvement de la plaque lithosphérique : les unités crustales se découplent et s'empilent les unes sur les autres en un mouvement de rétrocharriage. C'est le trajet de la flèche rouge de la figure 6 : phase de métamorphisme barrowien.

Les unités de la croûte océanique et ses sédiments associés, qui ont subi un enfouissement précoce et de hautes pressions, subissent une exhumation tectonique

rapide avec son cortège de réactions rétrogrades, plus ou moins importantes.

## 5. Conclusion

Cet article n'est qu'un léger survol du contenu de ce chapitre du métamorphisme sur le site de la SAGA (figure 27). Je ne peux donc que vous inviter à le consulter sans modération. N'hésitez pas à « user » de la possibilité offerte à l'utilisateur, par le transfert du « Tableau des minéraux des roches » dans un fichier excel, d'effectuer des tris qui permettent d'éclairer et/ou étayer d'éventuelles recherches personnelles.

Tous les clichés de cet article sont de Dominique Rossier, sauf indications contraires.

## Bibliographie

Audubert F. et Mahéroul R., 2016. La géothermie aujourd'hui. *Saga-information*, n° 354, p. 19-29.

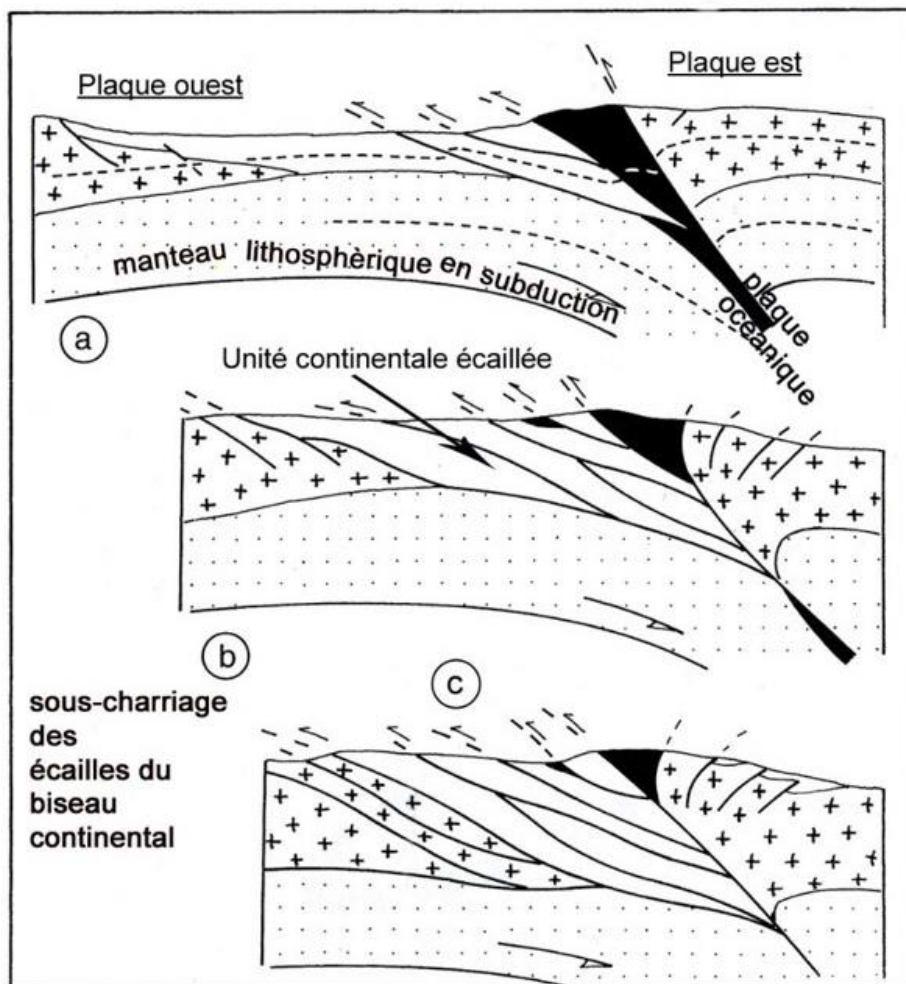


Figure 26. Modèle d'un gradient métamorphique prograde de pression intermédiaire, « dalradien ».

La plaque ouest représente le Gondwana et la plaque est représente l'Armorica. Figure modifiée, tirée de l'ouvrage de Kornprobst (2007).

# Atlas pétrographique - Lames minces de roches métamorphiques

## [Notice des roches métamorphiques](#)

[Mode d'emploi des tableaux des minéraux](#) (extrait de la Notice générale)

### Nord Trégor - [Bas Limousin](#) - Ile de Groix

Entretiens sur le Métamorphisme	
<a href="#">Chapitre 1 - Introduction au métamorphisme</a>	
<a href="#">Chapitre 2 - Structures et textures des roches métamorphiques</a>	
<a href="#">Chapitre 3 - Minéraux du métamorphisme régional de pression intermédiaire</a>	
<a href="#">Chapitre 4 - Comment classer les roches métamorphiques</a>	
<a href="#">Chapitre 5 - Géodynamique et métamorphisme de hautes pressions</a>	
<a href="#">Chapitre 6 - Anatexis et migmatites</a>	
<a href="#">Chapitre 7 - Le métamorphisme régional / Un cas d'école : le Bas Limousin</a>	
<a href="#">Chapitre 7 Annexe - Petit atlas photographique</a>	

### Bas Limousin - ↑

N° lame	Lieu de prélèvement	Minéraux observés															P/O	Faciès	Lignée	Roche		
		Qz	F.A.	Pl	Bt	Mb	Prl	Chl	And	Cy	Sil	Crd	Grt	St	Px	Amp					Ep	M.A.
<a href="#">111</a>	Travassac	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	X	P	AE	Bar Pr	Msch
<a href="#">112</a>	Aubazine Gare	X	X	An+	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	O	A	Bar Pr	Cat
<a href="#">113</a>	Chameyrat N 89	X	X	An-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	A	Bar Pr	OgnOeil

Figure 27. Sur le site Internet de la SAGA, à partir de cette page d'accueil de L'Atlas des roches métamorphiques, il suffit de cliquer sur les caractères bleus pour accéder directement à la notice des roches métamorphiques, aux Entretiens et aux dossiers des lames minces (cliquer sur Bas Limousin et n° de la lame).

Autran A. Guillot P.-L., 1977. L'évolution orogénique et métamorphique du Limousin (Massif central français) au Paléozoïque. Relation entre les cycles calédonniens et varisques. Coll. intern. C.N.R.S., n° 243, Rennes, « La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale », C.N.R.S. Éd., p. 211-226.

Barrow G., 1893. On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the South-Eastern Highlands of Scotland, and its accompanying metamorphism. *Quart. J. Geol. Soc.*, 49, p. 330-358.

Barrow G., 1912. On the geology of lower dee-side and the southern Higland border. *Proc. Geol. Assoc.*, 23, p. 274-290.

Floc'h J.-P. *et al.*, 1982. Carte géologique de la France à 1/50 000, n° 737, Uzerche. Éd. BRGM, Orléans, 1 carte + 1 notice (42 pages).

Grimault Y. 2009. La Commission de volcanisme dans le Bas Limousin. *Saga Information*, n° 286, p. 14-29.

Grolier J. *et al.*, 1979. Carte géologique de la France à 1/50 000, n° 761, Tulle. Éd. BRGM, Orléans, 1 carte + 1 notice (40 pages).

Kornprobst J., 2007. Métamorphisme et roches métamorphiques, signification géodynamique. Dunod Éd., 3<sup>e</sup> édition, XII + 235 pages.

Lamouille B., 1979. Géologie structurale et pétrologie de la région d'Uzerche (Corrèze). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orléans, 230 pages.

Obert D., 2012. Cours de géologie. Roches métamorphiques (décembre 2012). Consultable sur : [www.saga-geol.fr](http://www.saga-geol.fr), partie adhérents.

Piaud D. et Mahéroul R., 2022. Tribune libre « Le métamorphisme du Bas Limousin, un cas d'école ». Consultable sur : [www.saga-geol.fr](http://www.saga-geol.fr), partie adhérents.

Pons J.-C., 2001. La pétro sans peine, minéraux et roches métamorphiques. Éd. CRDP Grenoble, 228 pages + planches (XII pages).

Rossier D., 2010. Entretiens sur le métamorphisme. Entretiens I à VII. Éd. SAGA, Paris, 244 pages + petit atlas photographique (12 pages).

Également consultable sur : [https://www.saga-geol.fr/Petrographie\\_frameset.html](https://www.saga-geol.fr/Petrographie_frameset.html).

Santallier D., 1981. Les roches basiques dans la série métamorphique du Bas Limousin, Massif central (France). Thèse de doctorat, Univ. Orléans. 340 pages.

Tilley C.E., 1925. A preliminary survey of metamorphic zones in the Southern Higlands of Scotland. *Quart. J. Geol. Soc.*, 81, p. 100-110.