

TP METAMORPHISME

Objectifs :

- Analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme et des données de documents photographiques.
- Identifier à l'œil nu des roches métamorphiques : micaschistes, gneiss, métagabbros, amphibolites, éclogites, migmatites, marbres
- Faire le lien entre déformations des roches et cristallisations.
- Situer approximativement les principaux faciès métamorphiques dans un espace P-T et utiliser une grille pétrogénétique.
- Discuter la pertinence d'un géobaromètre ou d'un géothermomètre et exploiter des données de thermométrie et de barométrie.
- Exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes dans une série métamorphique et relier les principaux gradients métamorphiques à des contextes géodynamiques.
- Exploiter des données pétrogénétiques, chronologiques et structurales pour proposer des chemins P-T-temps et les replacer dans le cadre d'une histoire régionale et de la géodynamique.
- Exploiter des données illustrant le cas particulier du métamorphisme de contact.

Les roches métamorphiques sont caractérisées par l'apparition de nouveaux minéraux dans une roche mère ou protolithe suite à des modifications de pression et/ou de température. L'étude de ces roches métamorphiques, souvent localisées dans des chaînes de montagnes ou au voisinage de plutons magmatiques, permet la reconstitution de contextes géodynamiques et ainsi de retracer l'histoire de la région dans laquelle elle se trouve.

L'objectif de cette séance est l'identification de transformations minérales sur une carte géologique ou sur des roches métamorphiques courantes, puis de reconstituer les histoires d'un échantillon ou d'une série métamorphiques à partir des différentes données exploitables dans une région donnée, aussi bien des paragenèses que de leur datation et des géothermomètres et géobaromètres associés.

I. Identification et analyse de roches métamorphiques, reconstitution des conditions de formation.

1. Reconnaissance macroscopique de roches métamorphiques.

La nature des roches métamorphiques formées et les paragenèses associées dépendent de la nature du protolithe.

Q1. A l'aide des documents suivants, identifier chacune des roches fournies en identifiant la structure, les minéraux qui la composent, le faciès métamorphique de formation et, dans la mesure du possible, proposer un protolithe pour chaque roche.

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

1.1. Quelques roches de la séquence pélitique (argilites) ou quartzo-feldspathiques (granites) : schiste, micaschiste, paragneiss, orthogneiss et migmatites.

Les protolithes sont des argilites.

Les schistes présentent des plans de débit mécanique, **plans de schistosité**, leur donnant un **aspect feuilleté**.

Lors de l'enfouissement, il se produit une dissolution au niveau de sites perpendiculairement à σ_1 , la roche perd de la matière **et prend un aspect feuilleté, on parle schistosité espacée disjointe** au niveau du départ de matière, il y a également recristallisation des atomes mis en solution dans des zones de moindre énergie, c'est-à-dire dans la direction de transport σ_3 = ombres de pression. **Ce qui caractérise un schiste est donc avant tout la déformation.**

Le schiste correspond à un degré de métamorphique plus élevé que celui des ardoises mais plus faible que celui des gneiss.

Ces roches possèdent des **minéraux caractéristiques** d'un **faciès schiste vert** : chlorite, séricite (aspect doux) actinote.

En France, on utilise encore le terme "schiste argileux" pour nommer les roches sédimentaires argileuses fissiles, ce qui correspond à la définition du "shale" des anglophones. Cette malheureuse utilisation du mot schiste fait que le "schiste argileux" de France est le seul schiste qui ne soit pas schisteux, car la schistosité est un attribut des roches métamorphiques.

Confusion possible : la schistosité du schiste peut ressembler au litage d'origine sédimentaire des shales et même au clivage ardoisier des ardoises. cependant, les shales sont ternes (sans reflets), très faciles à rayer, et peuvent contenir des fossiles et des hydrocarbures.

Les ardoises montrent un clivage régulier et parfait, comparativement aux débits d'origine sédimentaire ou de schistosité.

Les schistes sont généralement durs, lustrés, sans fossile, sans hydrocarbures et, contrairement aux ardoises, les minéraux du métamorphisme sont généralement visibles à l'oeil nu.

La couleur varie de brun/ noir à vert, fonction des minéraux et atomes présents.

Doc 1a : schiste à actinote (amphibole Ca en aiguille noire)



PierreBedard.ca

Doc 1b : schiste à chlorite (phyllosilicate vert)



PierreBedard.ca

Doc 1c : schiste à séricite (mica blanc)



PierreBedard.ca

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

Les protolithes sont des argilites

Les **micaschistes** sont des roches brillantes présentant une **schistosité de flux** pouvant aller jusqu'à une **foliation**. La brillance résulte de l'abondance des **micas** noirs et/ou blancs visibles à l'œil nu.

Les **lits sombres sont riches en mica** et lits clairs sont **riches en quartz**.

Cette roche peut facilement se débiter en feuillet, d'où le nom de schiste bien qu'il s'agisse en toute rigueur d'une **foliation**.

Des minéraux spécifiques du métamorphisme sont souvent présents dans les micaschistes, comme l'**andalousite**, la **sillimanite** ou encore le **grenat**. Ils permettent de préciser le champ P, T de formation du micaschiste dans le **faciès des amphibolites**

Les **gneiss** sont caractérisés par une **texture foliée avec des lits clairs et des lits sombres bien marqués**. Les **lits clairs** sont représentés majoritairement par du **quartz** et des **feldspaths**, les **lits sombres** sont constituées de micas de type **biotite** pouvant être associé à de la **hornblende**.

L'abondance des **feldspaths** par rapport au mica et l'épaisseur des lits formant la foliation permet de **distinguer cette roche** d'un micaschiste. Dans le cas particulier des **gneiss oeilés**, la présence d'**yeux de feldspaths** permet, à partir de la forme des ombres de pression, de remonter au régime des contraintes (mais pas forcément de tracer l'ellipsoïde !).

Selon les minéraux index, on peut identifier le **faciès** de formation dans les **amphibolites** ou les **granulites**.

La proportion des quartz et feldspaths par rapport aux micas et silicates d'alumine permet d'**identifier le protolithe** :

- s'il y a prédominance de lits clairs, à fortiori de gros feldspaths formant des yeux, le **protolithe** est d'origine magmatique, un **granite** et la **roche** est un **orthogneiss**.
- Si les micas et les silicates d'alumines sont plus nombreux, l'origine du **protolithe** est **sédimentaire** avec une **composante argileuse**, il s'agit d'un **paragneiss**.

Doc 2 : un micaschiste



Doc 3a : orthogneiss



doc 3b : orthogneiss avec des yeux de feldspath potassique



doc 3c : paragneiss



BCPST2

STG LE MÉTAMORPHISME

Les **migmatites** correspondent à des associations étroites entre roches magmatiques et métamorphiques.

La partie métamorphique correspond à un **gneiss** dans lequel se trouve des poches pluricentimétriques de matériel clair, les **leucosomes** ou mobilisats de composition granite et des zones très sombres surmicacées, les **mélanosomes** ou restites correspondant aux résidus réfractaires à la fusion partielle. Cette fusion partielle de roches de la croûte continentale à la suite d'un métamorphisme poussé est l'**anatexie crustale**. Les migmatites correspondent donc au faciès des granulites.

Le **protolithe** de ces roches est déterminé à partir de l'état ortho- ou paradérivé du gneiss jouxtant les poches de leucosome.

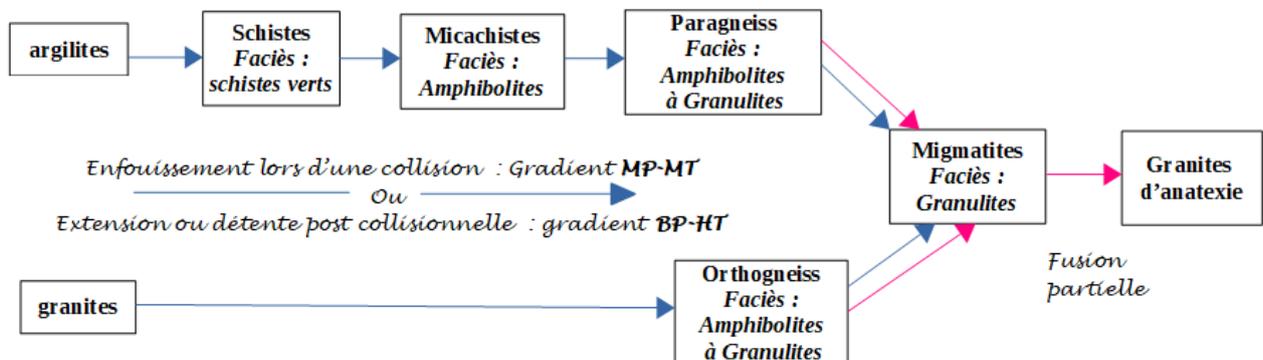
Doc 4a : migmatite issue de l'évolution d'un orthogneiss



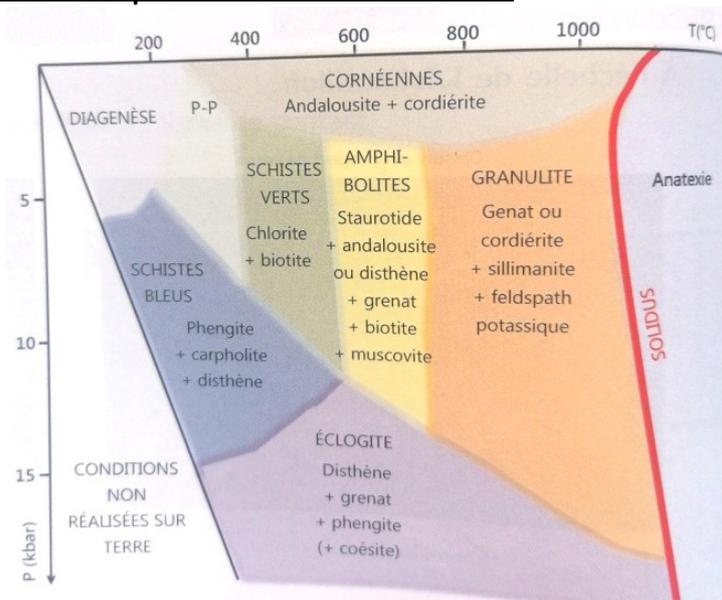
Doc 4b : migmatite issue de l'évolution d'un paragneiss



Origines et devenir de ces roches :



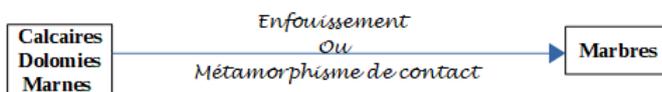
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



1.2 Un produit de la séquence carbonatée : les marbres

Les marbres ou cipolins sont des roches généralement claires faisant effervescence à l'acide chlorhydrique, ce qui traduit leur nature carbonatée. Les minéraux de calcite qui constituent la roche donne souvent un aspect saccharoïde au marbre (son bel aspect lisse et brillant ne résulte que du polissage). Les impuretés du protolithe (composante argileuse des marnes) font que les minéraux de calcite sont souvent accompagnés d'autres minéraux tels que des grenats, de pyroxène ou d'olivine.

Origine et devenir de ces roches :



Doc 5 : un marbre



Photographie : Damien Mollex

1.3 Quelques roches de la séquence basique : métagabbros, amphibolites, écloïtes.

Les roches des séquences basiques sont généralement peu déformées. Les paragenèses qui sont à l'origine de leur nom ont aussi servi à nommer les faciès métamorphiques. Il faut donc veiller à ne pas confondre un schiste vert, c'est-à-dire une metabasite possédant des minéraux comme chlorite, hornblende ou actinote, du faciès schiste vert qui correspond au domaine de pression et température qui correspond à différentes paragenèses selon la séquence métamorphique étudiée.

Les métagabbros des schistes verts ont la structure grenue du gabbro avec une foliation frustrée où les pyroxènes sont généralement entourés d'une couronne d'amphibole brune, la hornblende, témoin du passage antérieur de ce gabbro dans le faciès des amphibolites en présence d'eau. (hydrothermalisme) .

Les plagioclases sont eux associés à de l'actinote (amphibole verte) et de la chlorite typiques du faciès des schistes verts

Les métagabbros des schistes bleus ont également la structure grenue du gabbro avec une foliation frustrée. Ils sont reconnaissables par leur couleur bleu nuit due à la présence d'une amphibole bleue, la glaucophane, en feuillets ou en couronne autour de pyroxènes reliques (pouvant prendre une couleur verdâtre).

Doc 6 : métagabbro de schistes verts



Doc 7 : métagabbro de schistes bleus



BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME

L'amphibolite se caractérise par sa richesse en hornblende ayant en partie ou en totalité remplacé pyroxènes du gabbro initial en présence d'eau.

Doc 8 : amphibolite



Les **éclogites** possèdent une texture qui semble grenue avec une très forte prédominance de minéraux rouge, les **grenats** pouvant être entourés d'une couronne d'amphibole signe d'une rétro-morphose, et de minéraux verts, l'omphacite (pôle sodique de la jadéite).

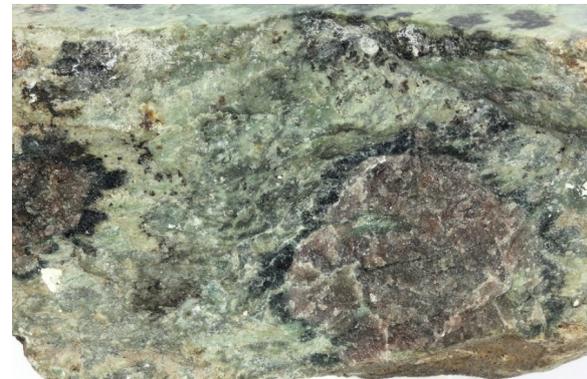
Le quartz est également très présent dans ces roches.

La roche peut parfois présenter une foliation ainsi qu'un éclat métallique qui résulte de la présence de phengite, une forme haute pression du mica blanc. Ces roches sont caractéristiques du **faciès éclogite** qui traduit un enfouissement à plus de 30 km de profondeur, fréquemment entre 50 et 75 km.

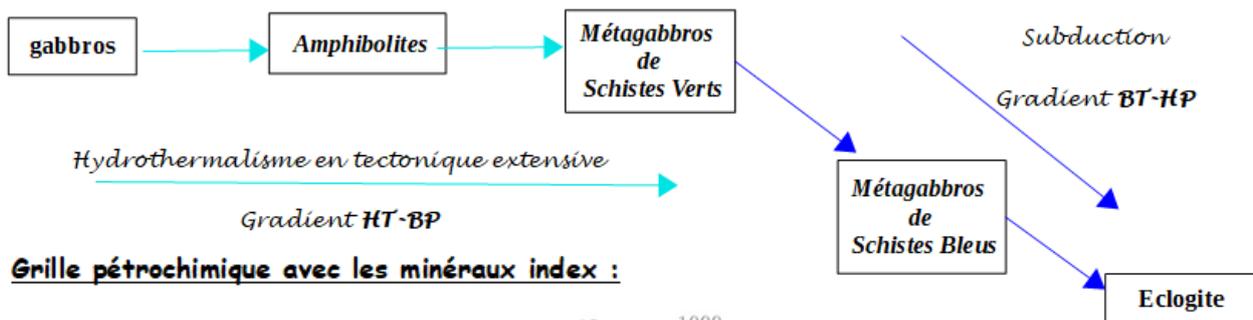
Le protolithe peut être un gabbro ou un basalte.

Doc 9 : éclogite

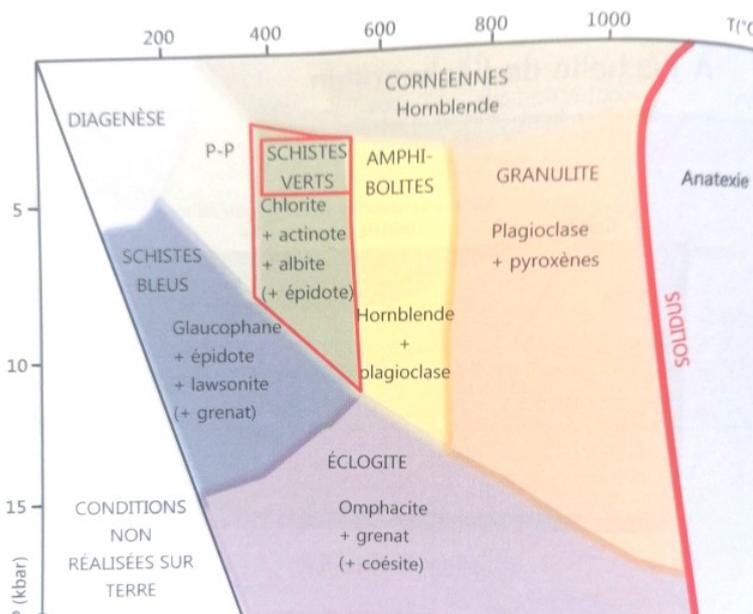
les grenats présentent ici une couronne de Hornblende



Origines et devenirs de ces roches :



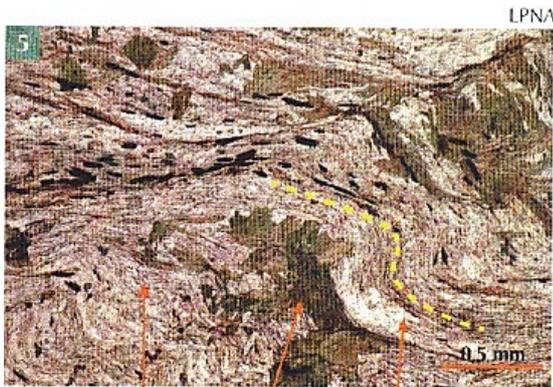
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



2. Les enseignements des lames minces des roches métamorphiques.

L'intérêt de la lame mince est l'identification précise de la paragenèse et l'identification d'un lien entre déformation des roches et recristallisation des minéraux.

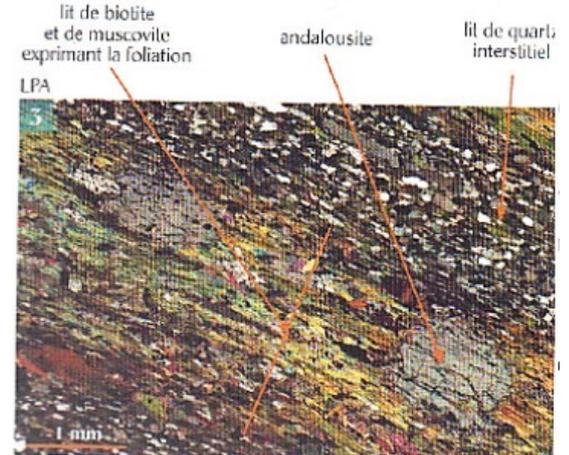
Q2. A partir des caractéristiques minéralogiques, identifier les roches métamorphiques et les faciès métamorphiques associés.



muscovite chlorite foliation plissée

roche : schiste

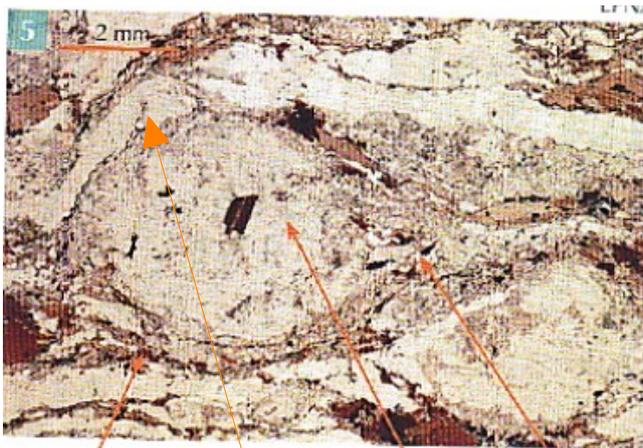
faciès : SV



lit de biotite et de muscovite exprimant la foliation andalousite lit de quartz interstitiel

roche : micaschiste

faciès : Amphibolites (BP)



biotite soulignant la foliation lit de quartz œil de feldspath ombre de pression

roche : orthogneiss

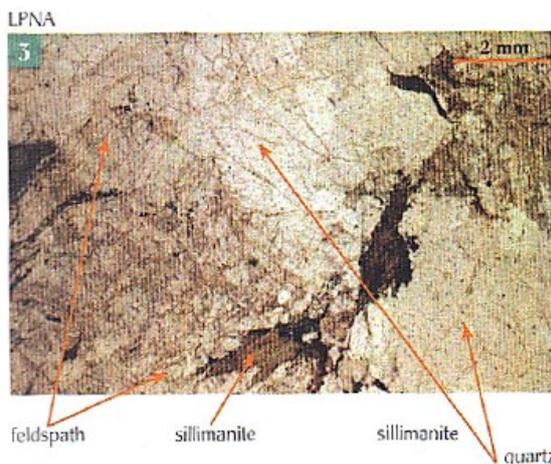
faciès : Granulites



biotite soulignant la foliation disthène quartz et feldspath

roche : paragneiss

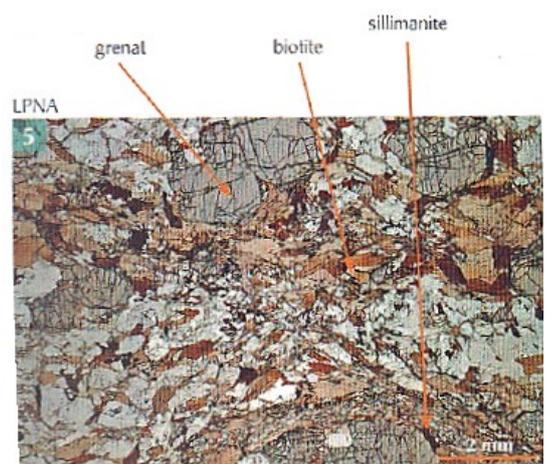
faciès : Amphibolites (MP)



feldspath sillimanite sillimanite quartz

Roche : paragneiss

faciès : Granulite

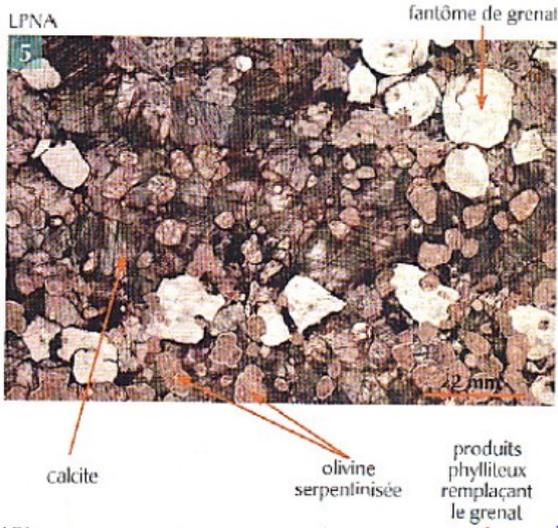


grenat biotite sillimanite

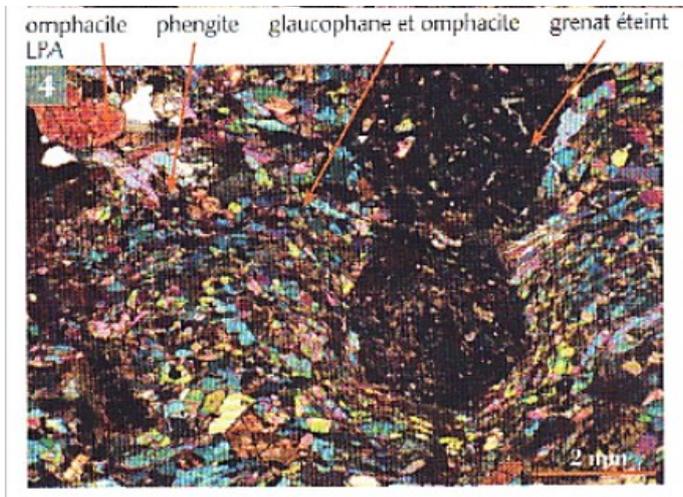
roche : paragneiss

faciès : Granulites

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

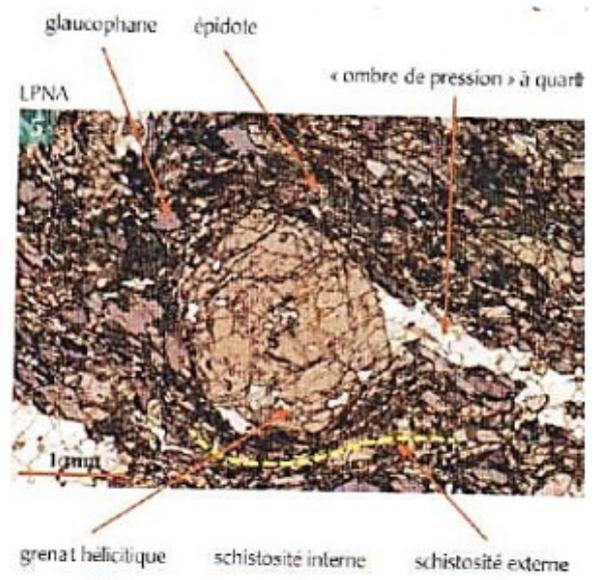


roche : **Marbre**



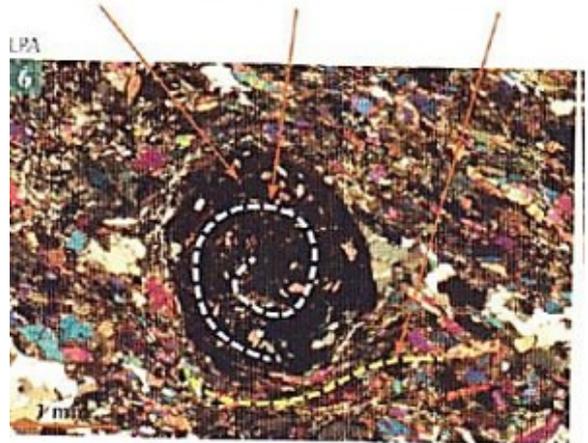
roche : **éclogite**

faciès : **Eclogites**



roche : **métagabbro**

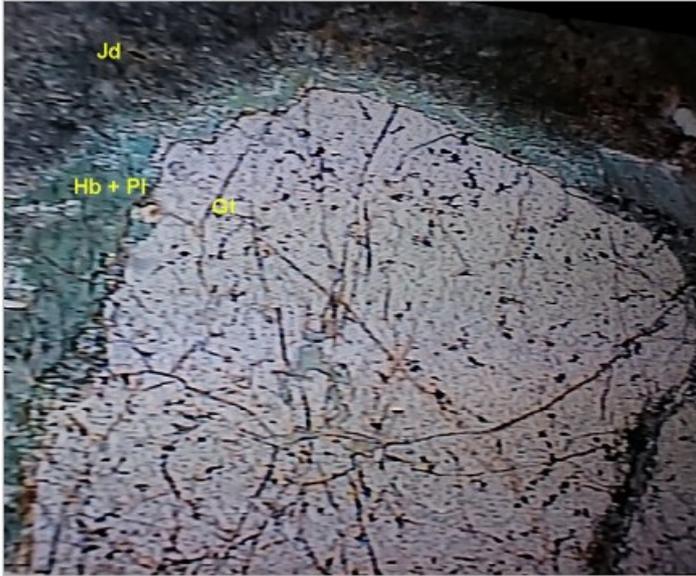
faciès : **SB**



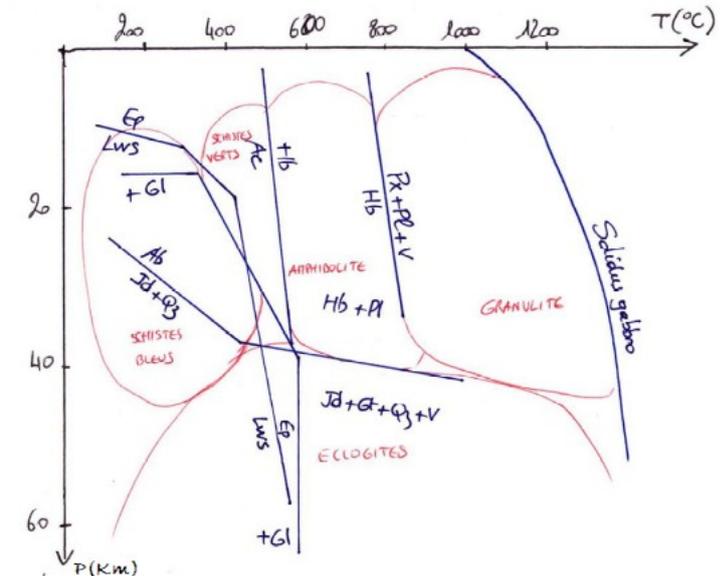
BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME

La figure ci-dessous montre une portion d'éclogite vue au microscope polarisant.

Q3. Analysez cette photographie et proposez une hypothèse sur les assemblages minéralogiques observés en vous aidant de la grille pétrogénétique



Gt = grenat ; Hb = Hornblende (amphibole brune) ;
Jd = Jadéite (pyroxène)



Éléments de correction

On peut interpréter cette couronne comme une réaction chimique entre le grenat et la jadéite pour donner, aux joints entre ces minéraux, un liseré de hornblende et plagioclase. Ceci est corroboré par la courbe de réaction $Gt + Jd + V \rightarrow Hb + Pl$ dans la grille pétrogénétique ci-dessous. Toutefois, cette réaction peut s'arrêter prématurément, faute de fluides mettant en contact les deux réactifs.

On passe du domaine des éclogites à celui des amphibolites par une baisse de pression (flèches vertes). Il y a une ambiguïté sur la température à laquelle elle se déroule, mais la pression est bien connue (1.2GPa, soit 40km environ)

Remarque 1 : cette réaction de diminution de température (on franchit une portion de droite quasi horizontale). Elle peut donc constituer un géobaromètre (1.2GPa = 40km).

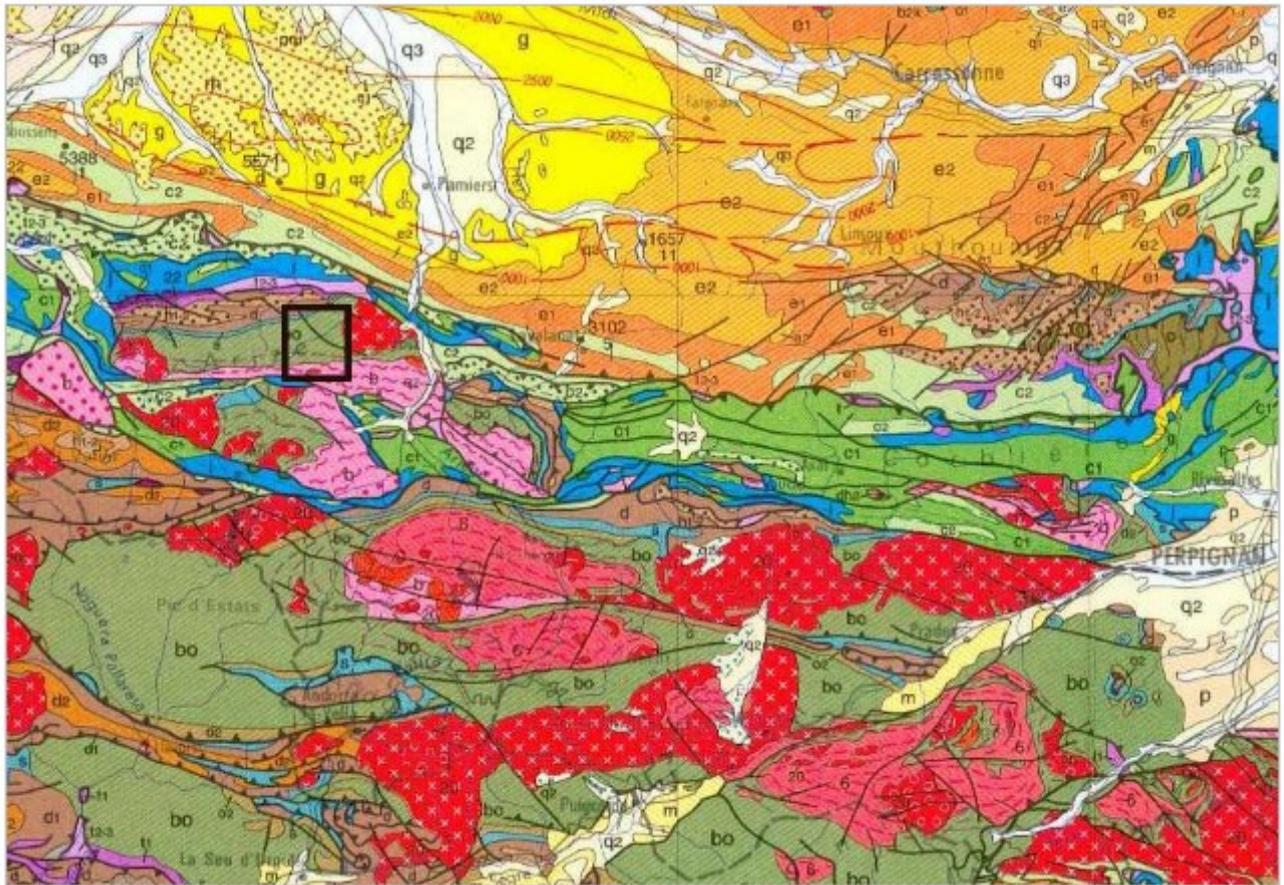
Remarque 2 : Elle nécessite la présence d'eau d'une part, et les points de contact Jd-Gt s'éloignent avec la présence de la couronne d'autre part, rendant difficile la diffusion des réactifs. De plus, la température baisse. Cette réaction risque, pour toutes ces raisons cinétiques, d'être incomplète. **Voilà pourquoi on récolte ainsi cette roche en surface !**

II. L'étude des séries métamorphiques sur les cartes géologiques

1. Etude d'un gradient métamorphique à partir de la carte de Saint-Girons (1/50000)

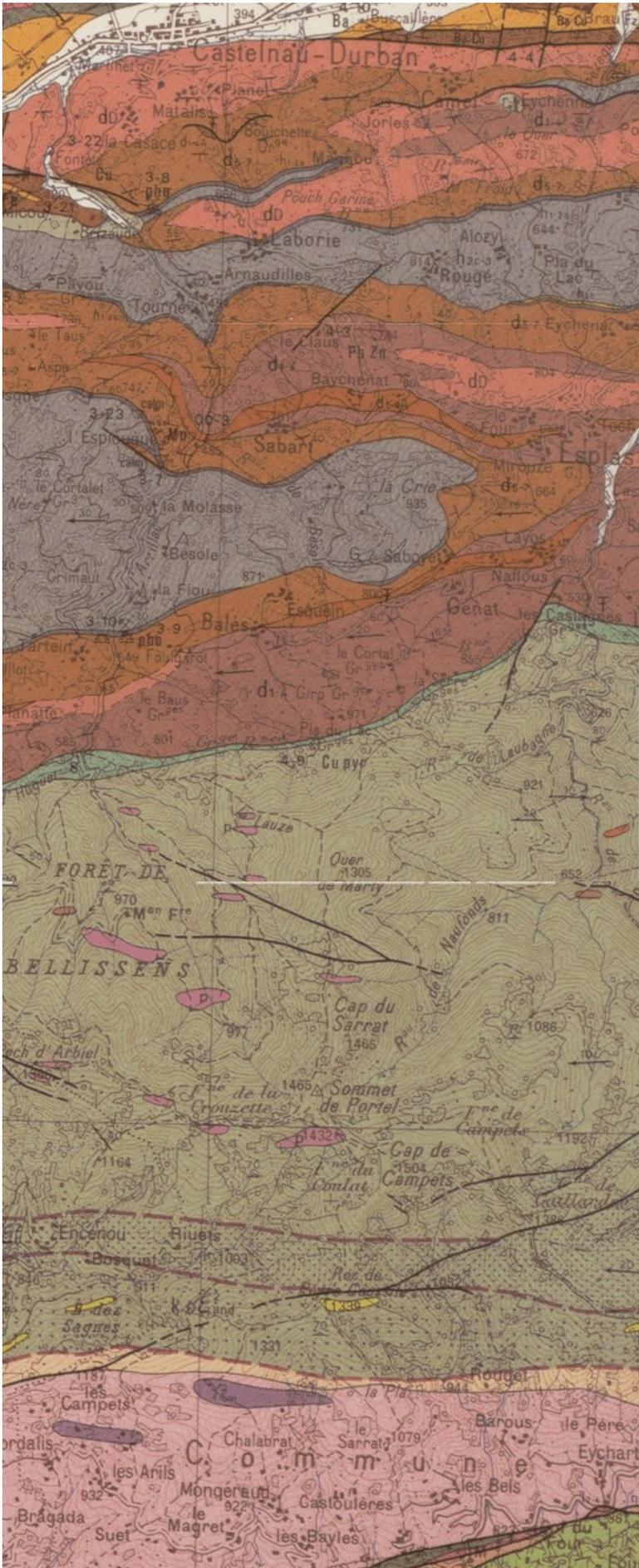
1.1 Contexte géologique d'ensemble

L'image ci-dessous est un extrait de la **carte géologique** à 1/1000000 permettant de localiser la **zone d'étude**, les **Pyrénées centrales**, puis la carte à 1/50 000 de **Saint-Girons**, et montre la géologie des **massifs de l'Arize et des 3 Seigneurs** (Pyrénées ariégeoises). La légende nécessaire à la compréhension de l'extrait de carte est également fournie



Extrait de la carte de France au millionième
permettant de localiser (cadre noir) l'extrait de la carte de Saint-Girons à 1/50000 étudié ici.

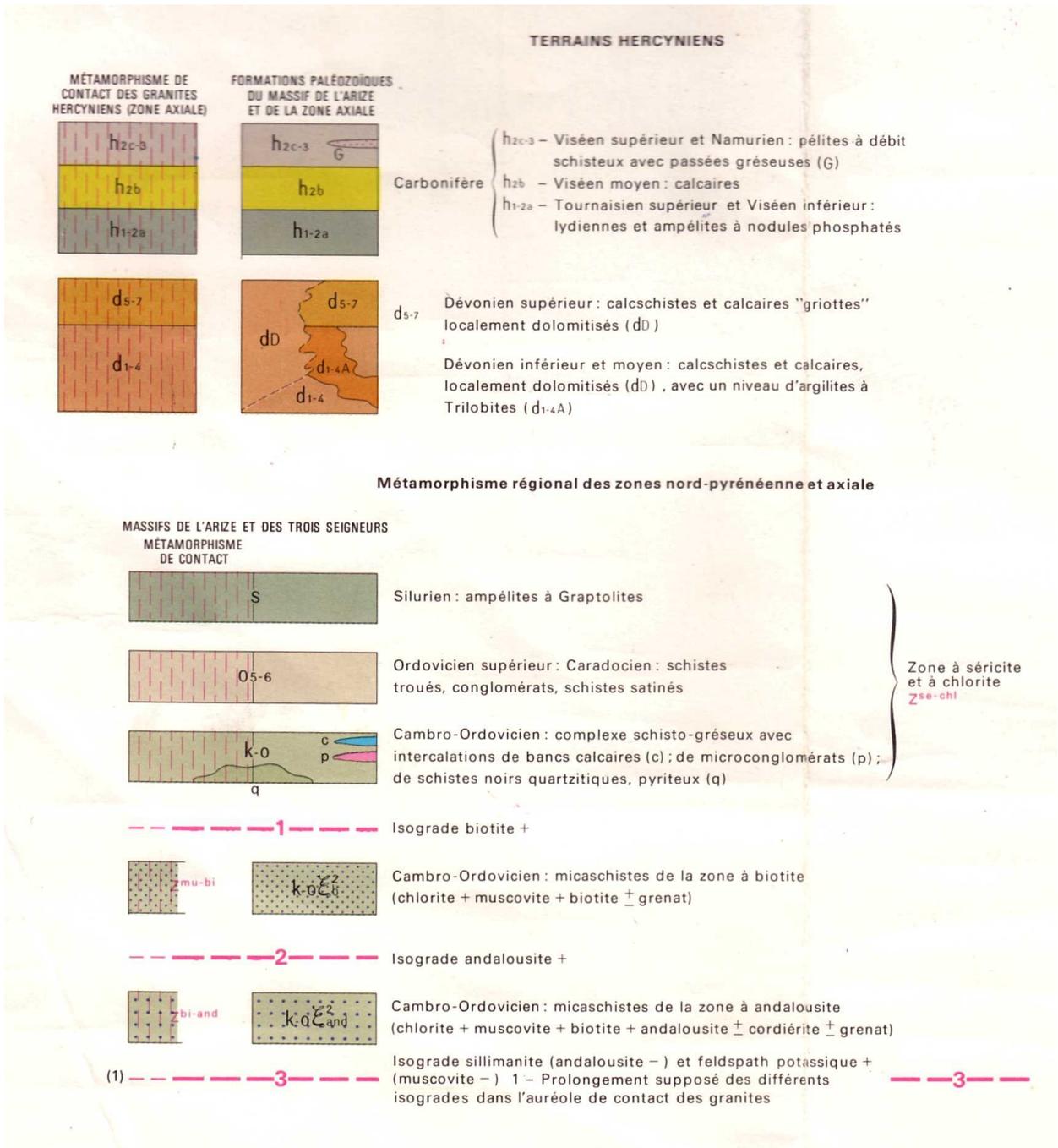
BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME



Q4. Réaliser une coupe à main levée nord-sud depuis Castelnaud-Durban vers l'extrémité sud de la carte (coupe Nord-Sud). On considérera que le relief, de faible amplitude, est plat tout le long du trait de coupe.

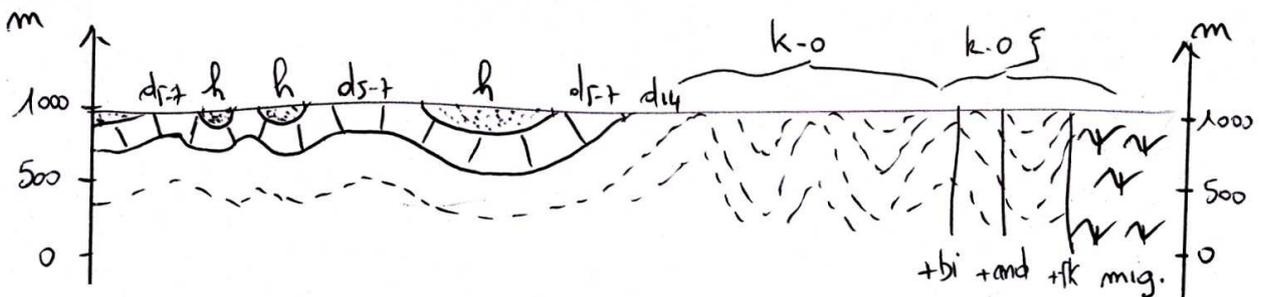
Note : les terrains cambro-ordoviciens en vert semblent vastement uniformes et consistent en des roches de type micaschistes (terrains schistosés contenant surtout quartz et argiles ou micas).

BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME



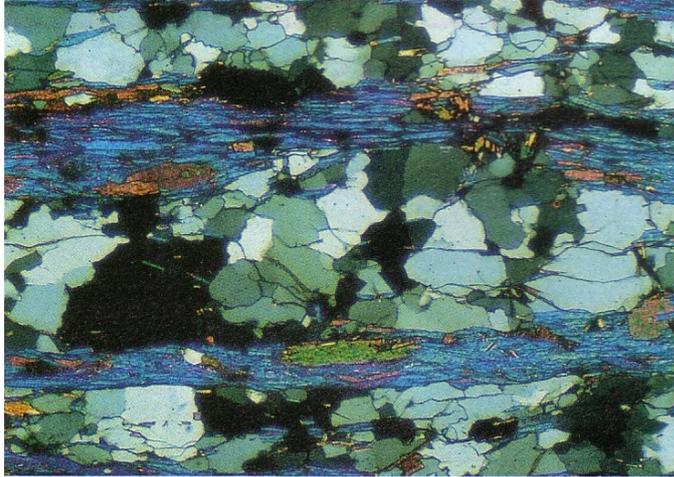
Extrait de la légende de la carte de Saint-Girons à 1/50000.

Proposition de correction



BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME

La déformation de terrains grésopélitiques en compression peut occasionner de grands plis comme vus au sud de Castelnau-Durban. Mais si la déformation s'intensifie, les plis deviennent de plus en plus serrés, les axes de plis deviennent quasi effacés, les argiles deviennent des micas qui s'orientent tous perpendiculairement à la stratification initiale S0. Il en résulte ici une schistosité S1 où les quartz deviennent non plus ronds mais ovoïdes et les argiles/micas tous orientés comme sur l'image microscopique ci-dessous. On parle de **transposition**.



Vue au microscope polarisant (x40) d'une schistosité dans des micaschistes.
Les quartz sont en niveaux de gris et les micas en teintes vives.

Toutefois, il peut subsister quelque axes de plis comme vus sur la carte sous forme de petites flèches

Q5. Proposer une explication pour les déformations et les données métamorphiques observables.

La coupe montre des roches du Cambro-ordovicien au Carbonifère. Au Nord, la structure est plissée avec des axes et des plans axiaux de plis est-ouest et des plis largement ouverts. Plus au sud, on ne repère la structure plissée que grâce aux symboles des axes de plis en surcharge sur la carte. Ces plis semblent donc plus serrés et n'affecter que le cambro-ordovicien. Les roches sont devenues des micaschistes.

De plus, à mesure qu'on va vers le sud, on repère des isogrades. Plans axiaux de plis et isogrades sont parallèles entre eux : déformations et métamorphisme présentent des liens géométriques et on a donc une intensité des déformations et probablement des conditions P-T qui augmentent du nord au sud de la coupe

Coupe à main levée, montrant au nord des plis affectant le dévonien et le carbonifère, au centre des plis plus fermés dans le cambro-ordovicien, au sud les principaux isogrades témoins des réactions métamorphiques. Lorsque le feldspath potassique apparaît, la fusion partielle commence : on parle de migmatites (phénomène d'anatexie) Si les gouttes de magma se rejoignent, on a un véritable mélange quartzo-feldspathique issu de la fusion partielle qui se forme qu'on appelle leucogranite.

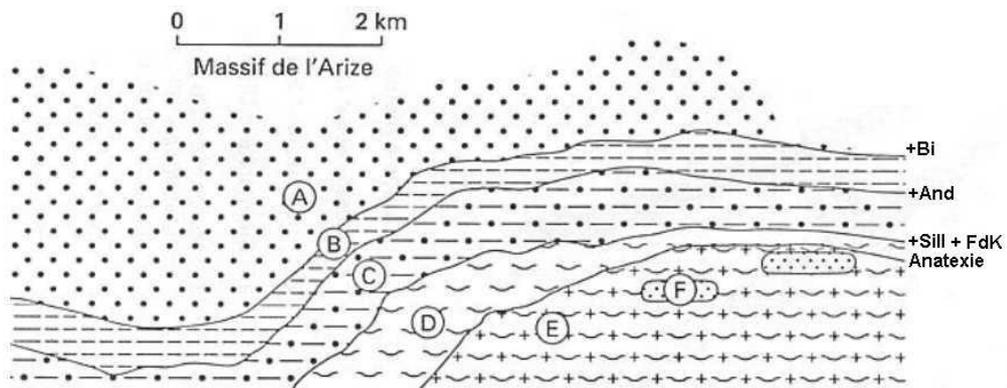
BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

1.2 Les roches métamorphiques du massif de l'Arize

La carte de la figure ci-dessous est une vue simplifiée de la partie sud de la carte géologique précédente. On y a repéré les roches qui seront décrites par la suite, ainsi que les **principaux isogrades** : limites cartographiques d'apparition ou de disparition de minéraux métamorphiques.

Remarque : Attention : la notion d'isograde est délicate à manipuler, il s'agit d'un outil cartographique. Elle correspond à la limite en carte d'apparition ou de disparition d'un minéral sur le terrain. Elle ne veut toutefois pas dire que les conditions locales de pression et température à cet endroit précis correspondent à la réaction métamorphique correspondante. En effet plusieurs problèmes peuvent se présenter :

- Le minéral est présent mais il est métastable dans les conditions P-T lors de la déformation. Il peut en effet se produire un blocage cinétique : manque d'un réactif, de fluides, absence de points de contact entre minéraux devant réagir a priori
- Les conditions P-T sont telles qu'un minéral devrait apparaître, mais le protolithe local ne possède pas la chimie adéquate



De A à F :
- la composition chimique des roches varie peu,
- la teneur en eau diminue progressivement.

<p>A  Schistes à séricite et à chlorite</p>	<p>C  Micaschistes à biotite, à muscovite et à andalousite</p>	<p>E  Mélange de gneiss et de granite - migmatite à sillimanite et feldspaths potassiques</p>
<p>B  Micaschistes à biotite à muscovite</p>	<p>D  Gneiss à sillimanite et à feldspaths potassiques</p>	<p>F  Granite de Bousсенac à feldspaths potassiques</p>

Extrait simplifié de la carte de Saint-Girons à 1/50000,
montrant les principales formations métamorphiques du sud de la coupe vue précédemment.

Q6. Analyser les paragenèses et/ou les réactions métamorphiques ainsi mises en évidence et replacer les roches sur la grille pétrogénétique proposée plus loin

Le passage de la zone à chlorite et épidote (roche A) à la zone à biotite et muscovite (roche B) correspond à la première réaction Chlorite → Biotite

De la même manière, on peut positionner les différentes roches dans la grille pétrogénétique comme suit : le feldspath potassique apparaît en même temps que la sillimanite et avant l'anatexis : on est donc dans un domaine de haute température-basse pression.

BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME

Dans la zone E de l'extrait de carte simplifiée précédent, on constate la présence de roches suivantes :

1. Lits quartzo-feldspathiques (feldspath K) à gros cristaux.
2. Lits riches en micas noirs (biotite) et sillimanite.
3. Zone non litée à gros cristaux de quartz et feldspaths potassiques.



Roches de la zone E dite « anatexique »

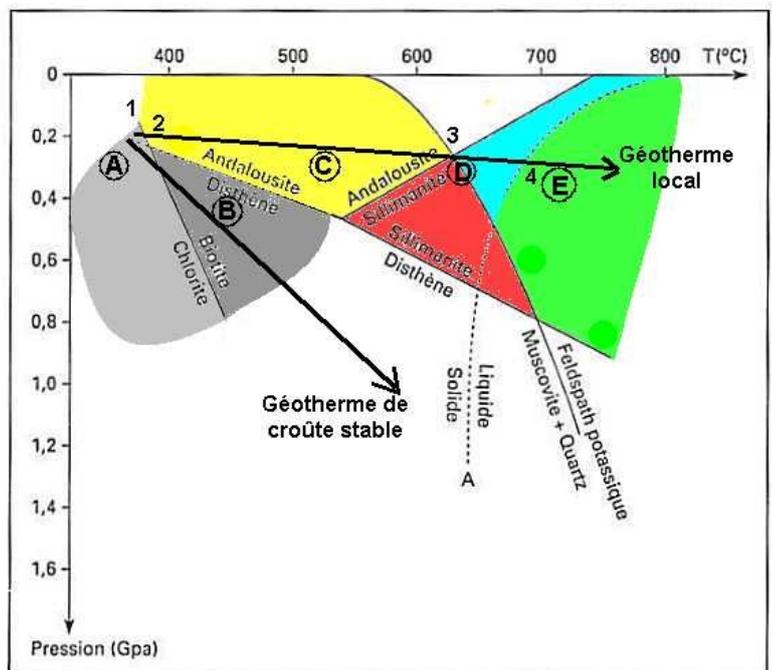
Q7. Proposer une explication à cette structure, sachant que le litage d'ensemble est parallèle à la schistosité des micaschistes et des gneiss observés dans les zones plus au nord. Puis replacer cette roche dans la grille pétrogénétique fournie ci-dessous et conclure sur le type de gradient observé ici

Pour la roche suivante, la schistosité d'ensemble de la roche constitue un marqueur des déformations (plan d'aplatissement, perpendiculaire à l'axe Z de l'ellipsoïde de déformation finie). Dans cette schistosité, donc au cours de la déformation, apparaissent dans les lits quartzo-feldspathiques de gros cristaux, dont la présence ne peut s'expliquer que par de la fusion partielle et de la recristallisation syntectoniques. Une partie de ce liquide semble commencer à se regrouper en lentilles plus vastes dans la zone marquée 3 sur la photographie.

Le métamorphisme HT-BP ici va donc jusqu'au stade de l'**anatexie**, c'est-à-dire de la fusion partielle.

Dans ce cas, les minéraux les moins réfractaires, donc les plus susceptibles de fondre, sont les minéraux blancs : quartz et feldspaths. Cette fraction est nommée **leucosome**. A contrario, la fraction la plus réfractaire, en générale ferro-magnésienne et ici constituée de biotite majoritairement est nommée **paléosome** ou **restite**.

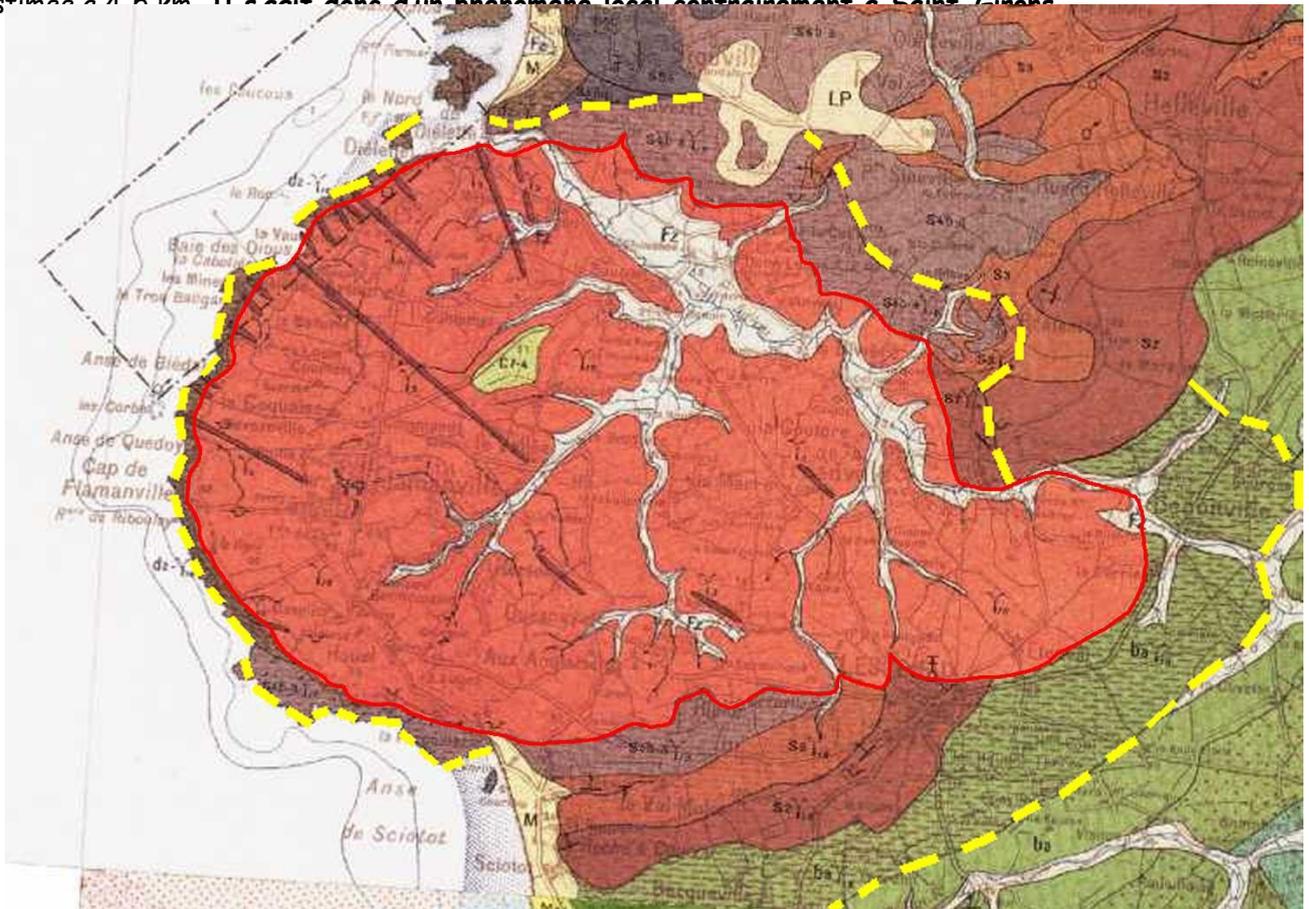
Grille pétrogénétique simplifiée montrant les domaines de stabilité des roches A à E, les réactions correspondant aux principaux isogrades (1 à 4), le gradient géothermique probable (de type HT-BP) ainsi que le géotherme de croûte stable pour comparaison.



2. Cas particulier du métamorphisme de contact ou thermo-métamorphisme

2.1 Contexte géologique d'ensemble

Le granite de Flamanville est situé au Nord-ouest de la presqu'île du Cotentin et est visible sur la carte géologique de Cherbourg à 1/50 000. C'est un pluton granitique d'environ 5 km de diamètre et au maximum 3km d'épaisseur qui s'est mis en place il y a 320 millions d'années dans un encaissant d'âge Cambrien à Dévonien. Ce dernier montre des déformations (plis et schistosités) contemporains de la mise en place du pluton : le granite est donc **syntectonique**. Sa profondeur de mise en place est estimée à 4-5 km. Il s'agit donc d'un phénomène local contrairement à Saint-Ginès



Extrait de la carte géologique de Cherbourg et légende simplifiée. Source : Infoterre BRGM

Trait rouge : limites en surface du granite de Flamanville.

Pointillés jaunes : limite d'extension de l'auréole métamorphique

Ce **pluton granitique** est plus précisément un **monzogranite** (classification de Streckeisen) contenant quartz, feldspaths plagioclases fortement calciques, orthose, biotite (mica noir) et hornblende (amphibole brune).

L'**encaissant sédimentaire non métamorphique** est constitué de **roches** majoritairement **pélito-gréseuses** mais aussi de carbonates.

Sur la carte, le **métamorphisme de contact des terrains sédimentaires paléozoïques** est indiqué en surcharge sur la couleur de la roche initiale : ce sont ici les **tirétés horizontaux**.

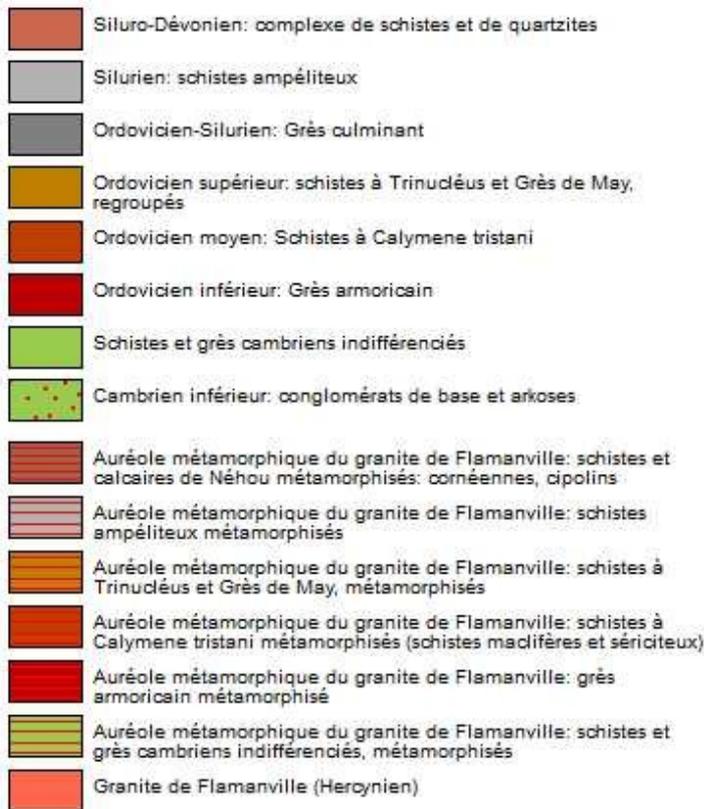
BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

2.2 Les roches de l'encaissant et leurs paragenèse

On distingue dans le détail deux auréoles de métamorphisme :

- Une auréole proximale, au contact du granite. Elle est constituée de roches plus ou moins sombres, d'aspect assez lisse et homogène et dont la stratification voire la schistosité initiales ont été en grande partie effacées : ce sont des **cornéennes**.
- Une auréole distale contenant majoritairement d'anciennes pélites présentant des taches de cordiérite : on parle de **schistes tachetés**.

Schistes tachetés et cornéennes sont en continuité avec les roches sédimentaires non métamorphiques situées plus loin.

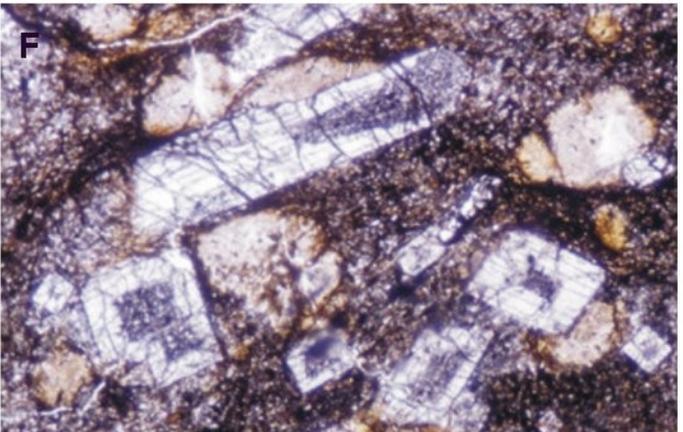
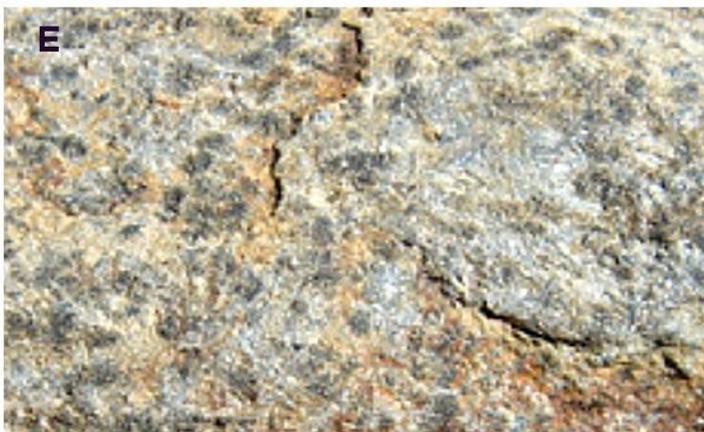


Q8. Evaluer l'épaisseur de l'auréole métamorphique. Proposer des hypothèses pour expliquer sa taille et ses variations.

Proposition de correction

- 1 On constate que l'auréole est extrêmement localisée : moins de 1 km de la bordure du granite. On remarque d'ailleurs que cette auréole est beaucoup plus étroite dans les encaissants gréseux que dans les encaissants schisteux du Cambrien. Si le principal facteur du métamorphisme ici est la température, la taille de l'auréole dépend donc probablement de la **conductivité thermique** de la roche et des **circulations de fluides** facilitant le refroidissement. Une taille variable de l'auréole serait ainsi due à une lithologie différente, donc à une conductivité thermique différente.

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME



Principales roches du métamorphisme de contact de Flamanville

- A : cornéenne claire à protolithe carbonaté traversée par une couche sombre à protolithe schisteux ;**
- B : détail des cornéennes claires montrant des grenats ;**
- C : cornéenne sombre traversée par un filon de granite clair à grain très fin (aplite) ;**
- D : inclusions de cornéennes dans le granite clair ;**
- E : schistes tachetés à nodules de cordiérite sombres (taille : quelques mm) ;**
- F : détail en LPA (x40) des schistes tachetés montrant l'andalousite (croix noire) et la cordiérite sous forme de nodules bruns.**

BCPST2 STG LE MÉTAMORPHISME

On distingue plusieurs types de cornéennes au contact du granite : les **cornéennes sombres** issues du métamorphisme des schistes et grès de l'Ordovicien (nord et sud du massif) ; des **cornéennes claires** issues du métamorphisme des schistes et calcaires de Néhou. On observe donc que les réactions minéralogiques et les paragenèses finales dépendent de la composition du protolithe.

Les roches métamorphiques présentent ici diverses paragenèses :

- **Cornéennes sombres** : cordiérite, andalousite (+/- sillimanite près du granite), biotite, quartz, +/-feldspath.
- **Cornéennes claires** : cordiérite, andalousite, biotite, quartz, feldspath, muscovite (mica blanc), et grenat. La présence de ces deux derniers minéraux est rendue possible car le protolithe est schisteux et carbonaté (présence abondante de calcium et aluminium).
- **Schistes tachetés** : andalousite et cordiérite.

Q9. En utilisant la grille pétrogénétique, replacer les paragenèses observées et discuter les paramètres de ce métamorphisme.

Proposition de correction

La présence généralisée de l'Andalousite montre que ces roches ont recristallisé à basse pression : moins de 4kbars, soit 12km de profondeur au maximum.

La présence de cordiérite indique des températures élevées : plus de 400°C voire 500°C selon la profondeur.

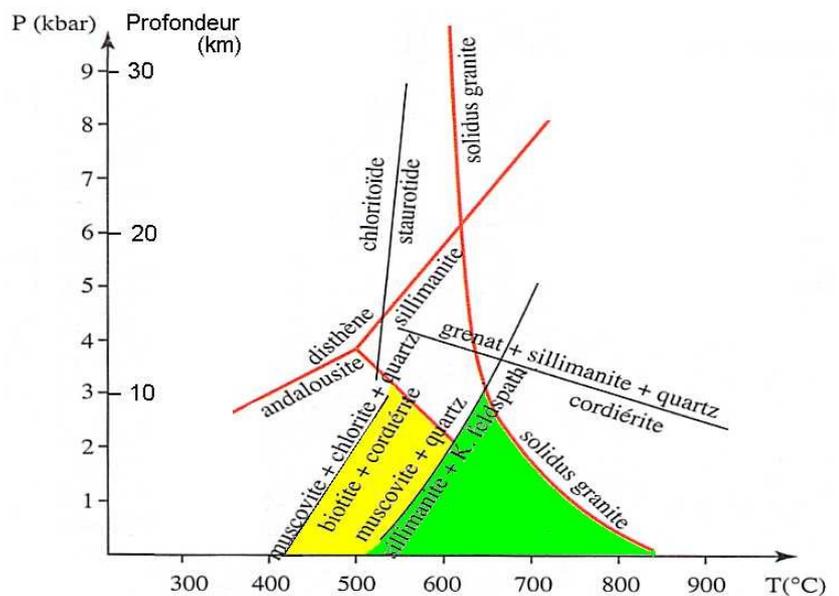
L'apparition de la sillimanite à proximité du granite montre une température localement supérieure à 600°C.

Il s'agit donc bien ici de haute température et très basse pression. On rappelle de plus que le granite cristallise ici vers 4 à 5 km de profondeur.

La majorité des roches de l'auréole présentent de la cordiérite et de l'andalousite : elles, appartiennent donc au domaine en jaune sur la grille.

L'apparition de la sillimanite parfois à proximité du granite fait passer dans le domaine en vert.

Si on se réfère à une profondeur de mise en place vers 4 km, cela signifie que la température maximale de l'encaissant est de 650°C environ, à comparer avec un solidus du granite à 700°C pour une telle profondeur.



Grille pétrogénétique du métamorphisme de Flamanville