

TP MÉTAMORPHISME

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 des roches métamorphiques courantes ou sur une carte géologique, puis de reconstituer l'histoire d'un échantillon ou d'une série métamorphique à partir des différentes données exploitables dans une région donnée, aussi bien à partir des paragenèses que de leur datation et des géothermomètres et géobaromètres associés.

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

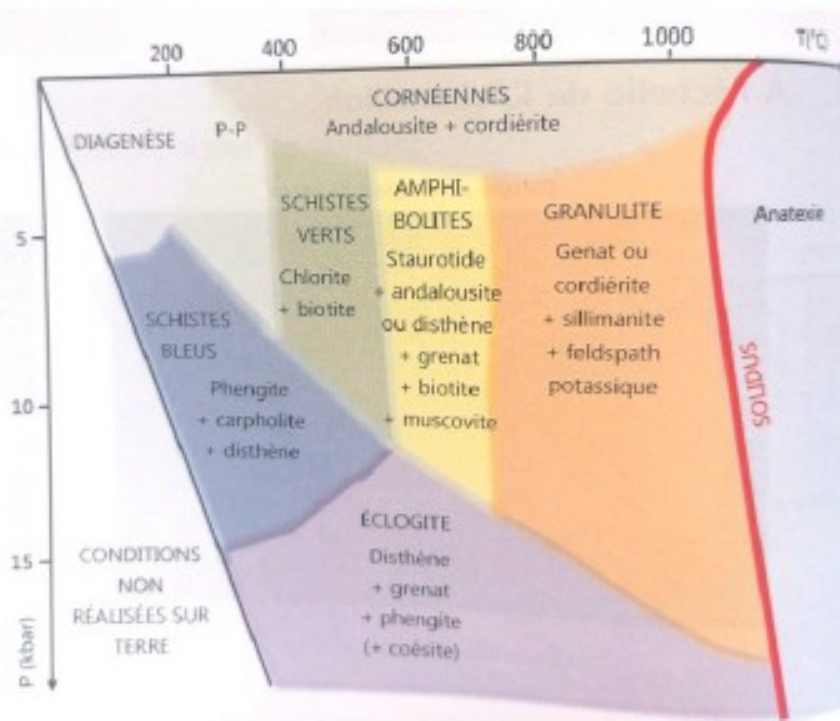
1. Reconnaissance macroscopique de roches métamorphiques.

.La nature des roches métamorphiques formées et les **paragenèses** associées c'est à dire les associations des espèces minérales présentes à l'équilibre au moment de la cristallisation de celles-ci, dépendent de la nature du **protolithe**.

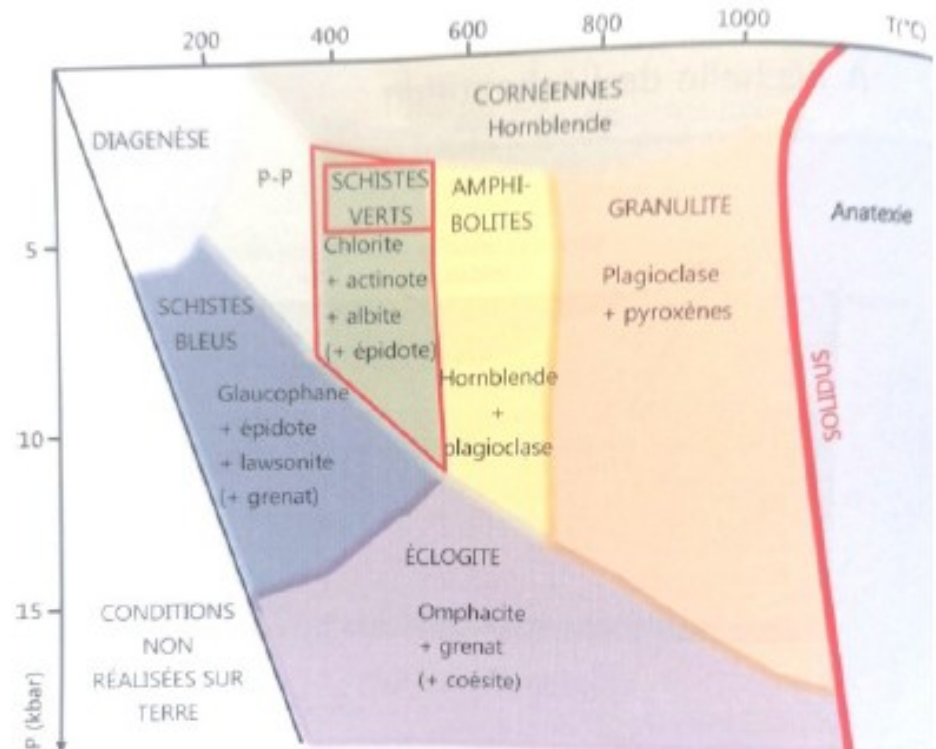
Q1. Identifier à l'aide des documents suivants, chacune des roches fournies en identifiant la structure, les minéraux qui la composent, le faciès métamorphique de formation et, dans la mesure du possible, proposer un protolithe pour chaque roche.

Grille pétrochimique avec les minéraux index

de la séquence pélitique :



de la séquence basique :



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

Les schistes

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, 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.

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



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.



photo 5
Shale fossilifère montrant un trilobite au centre de l'échantillon.



photo 3
Ardoise noire uniforme et montrant un clivage parfait. Cette qualité d'ardoise, libre d'oxydes de fer, était recherchée pour la fabrication de bardeaux de toiture et des anciens tableaux noirs.

Les micaschistes

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 déliter 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**



Doc 2 : un micaschiste

Les gneiss

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 ocellés, 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.

doc 3b : orthogneiss avec des yeux de feldspath potassique



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 3a : orthogneiss



doc 3c : paragneiss



Les migmatites

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.

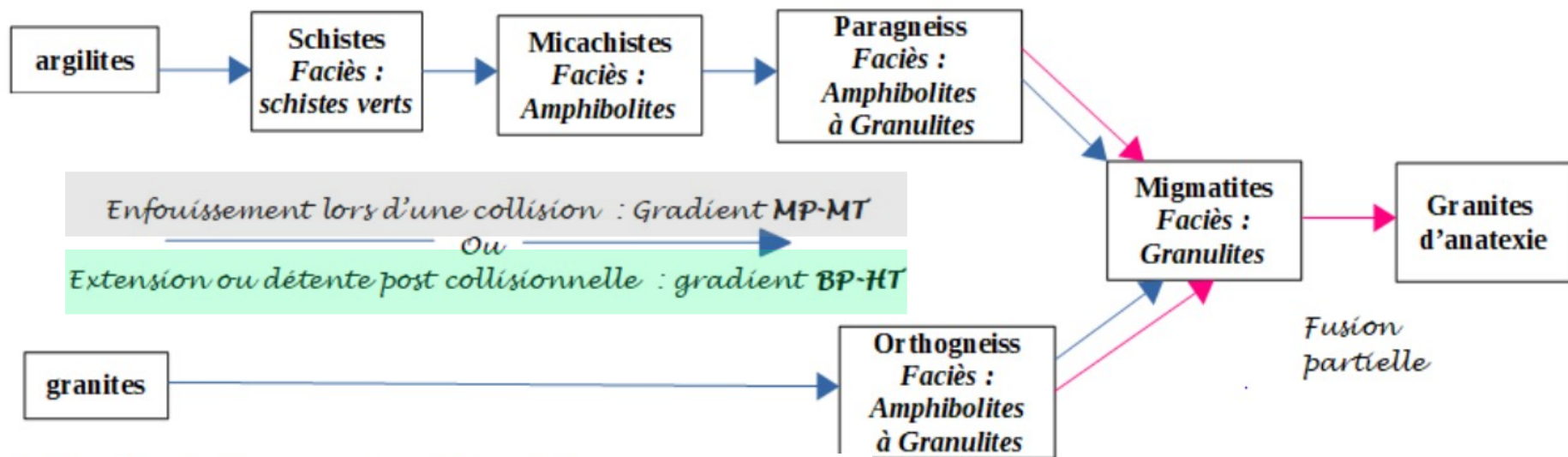
Doc 4a : migmatite issue de l'évolution d'un orthogneiss



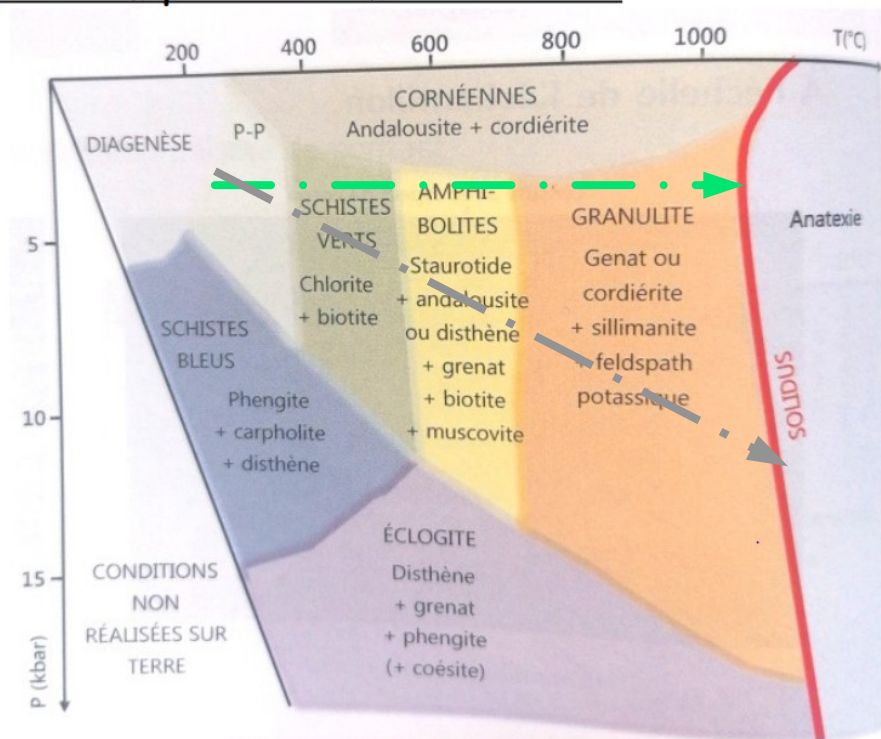
Doc 4b : migmatite issue de l'évolution d'un paragneiss



Origines et devenir de ces roches :



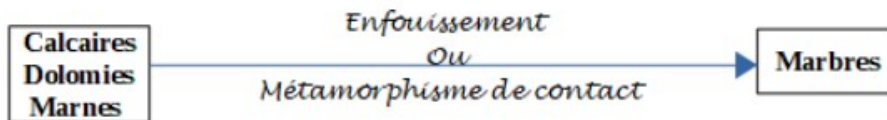
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



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, éclogites.

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**

Doc 6 : métagabbro de 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 7 : métagabbro de schistes bleus



Doc 8 : amphibolite



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

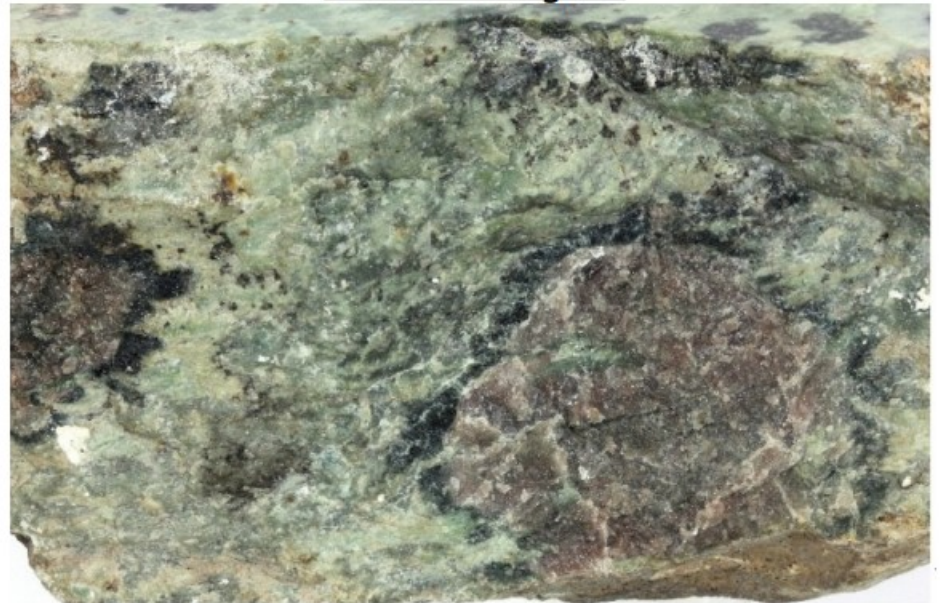
Les **éclogites** possèdent une texture qui semble grenue avec une très forte prédominance de minéraux rouge, les **grenats** pouvant être entourés d'une couronne d'amphibole signe d'une rétro-morphose, et de minéraux verts, l'omphacite (pôle sodique de la jadéite).

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.

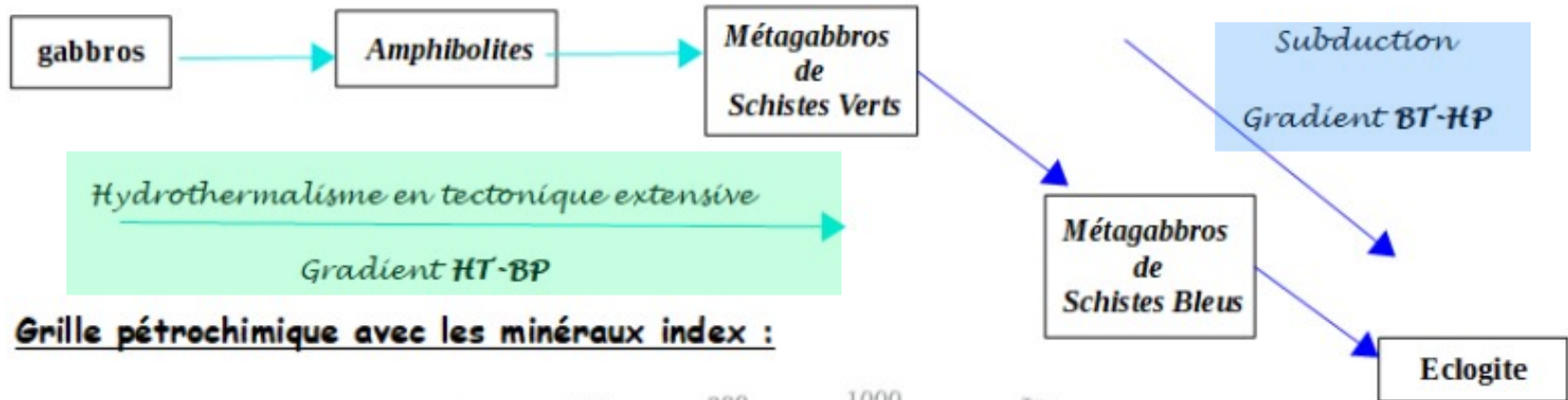
Le protolithe peut être un gabbro ou un basalte.

Doc 9 : éclogite

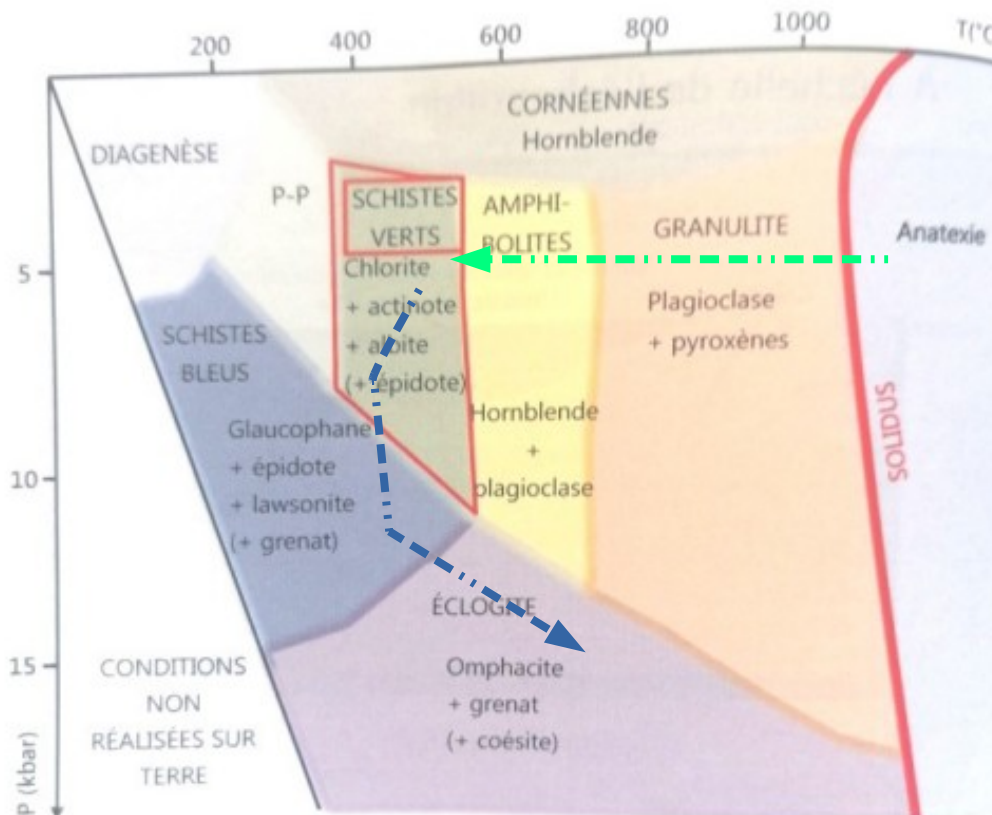


les grenats présentent ici une couronne de Hornblende

Origines et devenir 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.

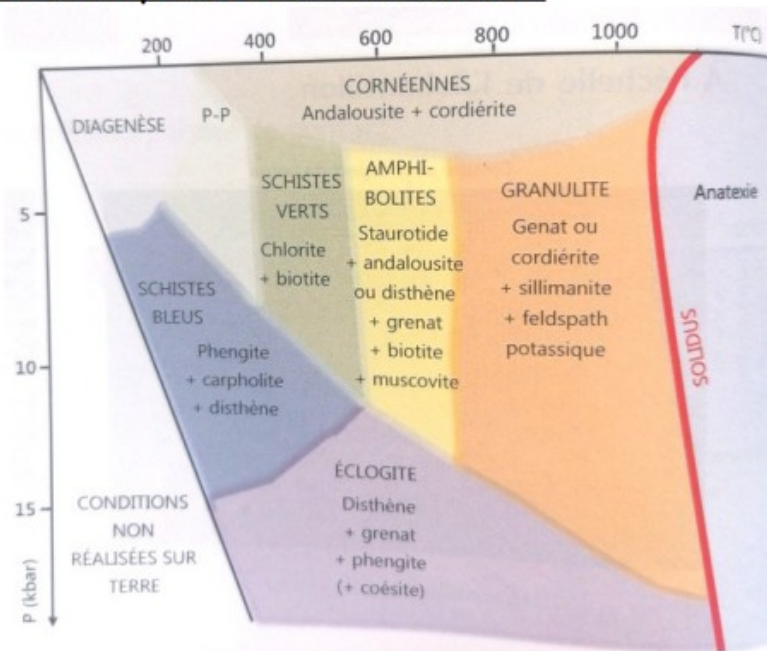


muscovite

chlorite

foliation plissée

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

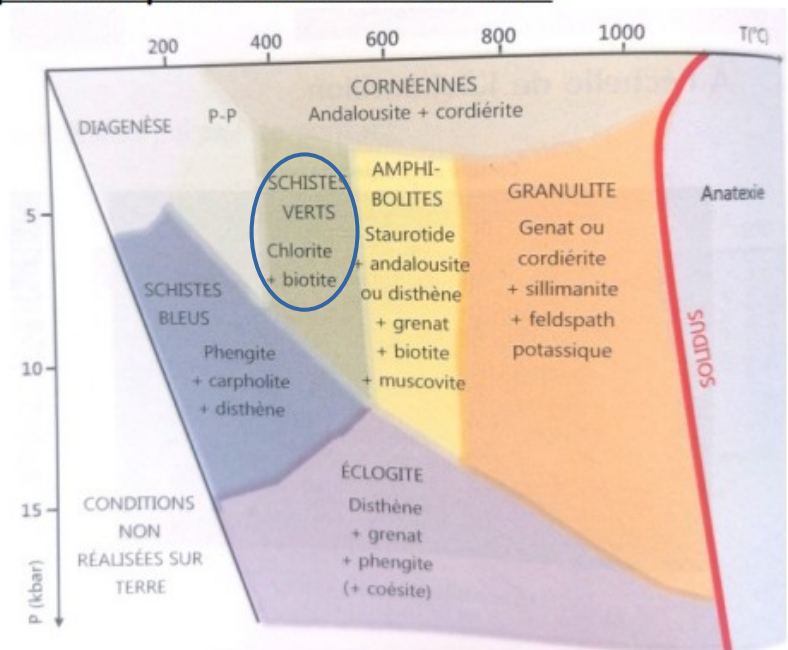
chlorite

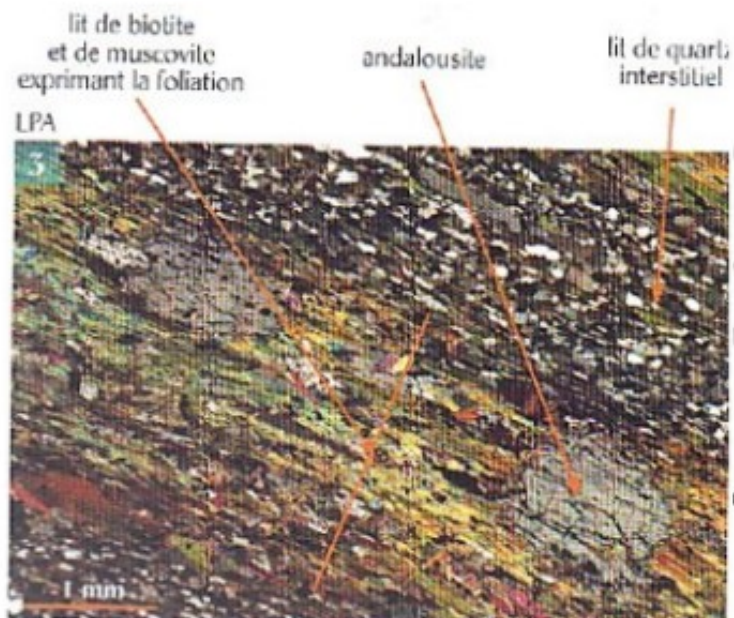
foliation plissée

roche : schiste

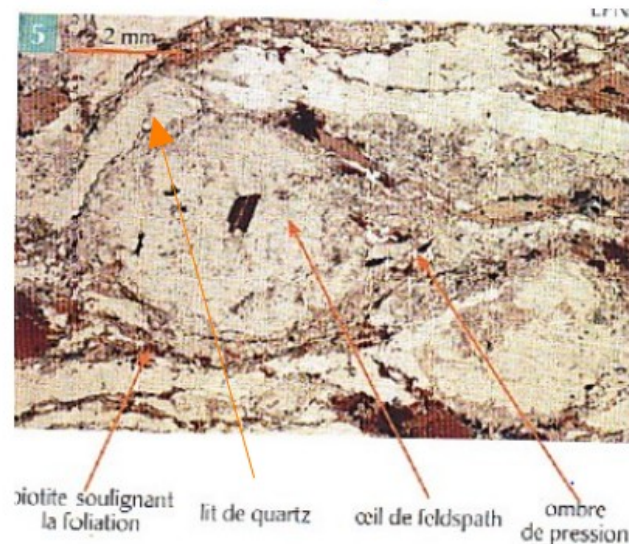
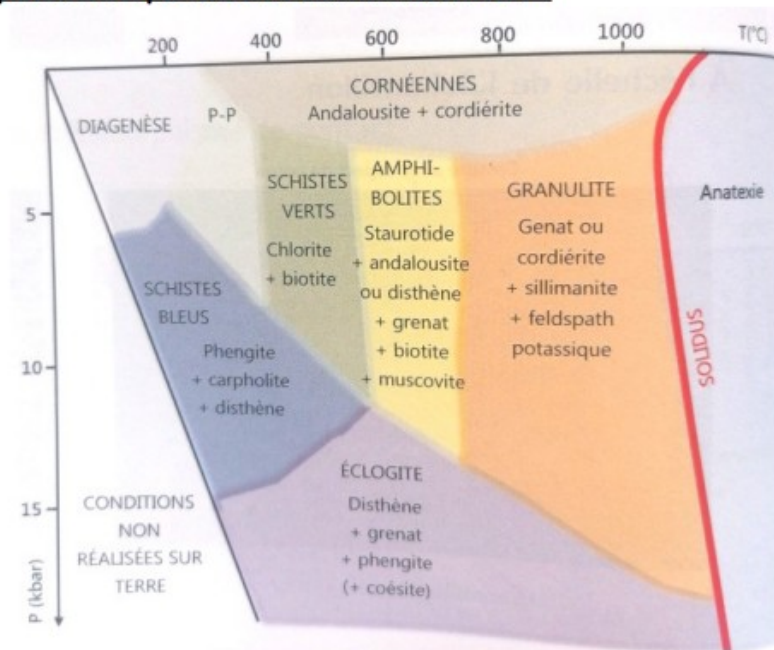
faciès : SV

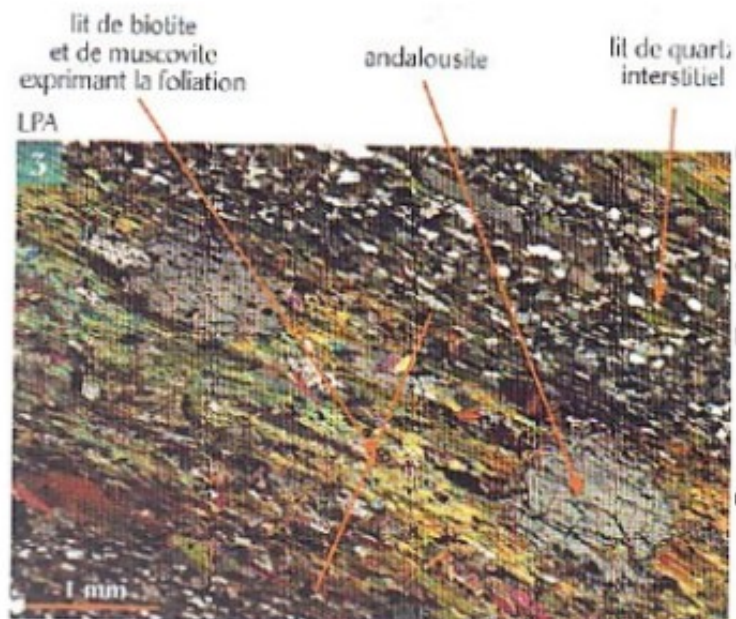
Grille pétrochimique avec les minéraux index :





Grille pétrochimique avec les minéraux index :

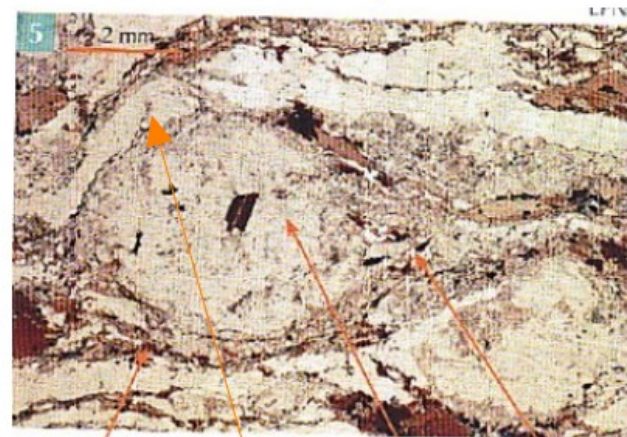
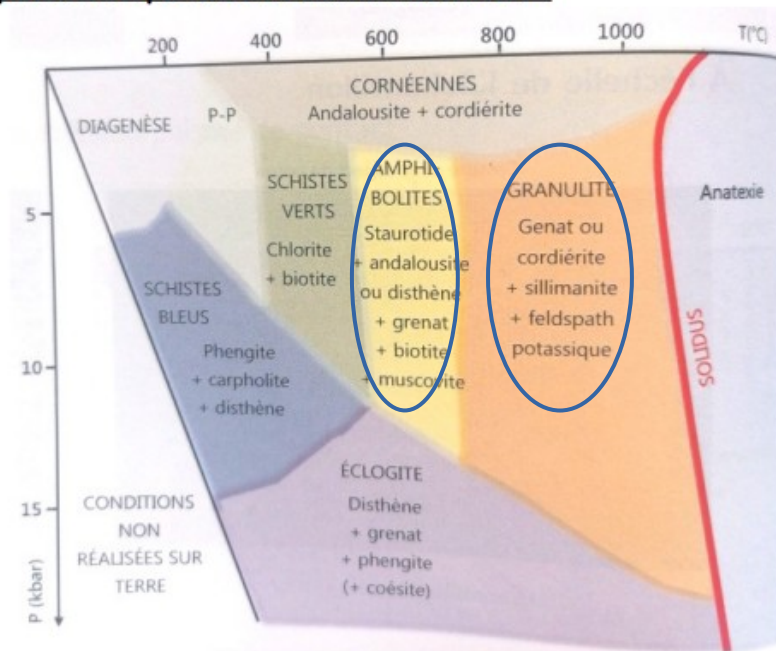




roche : micaschiste

faciès : Amphibolites (BP)

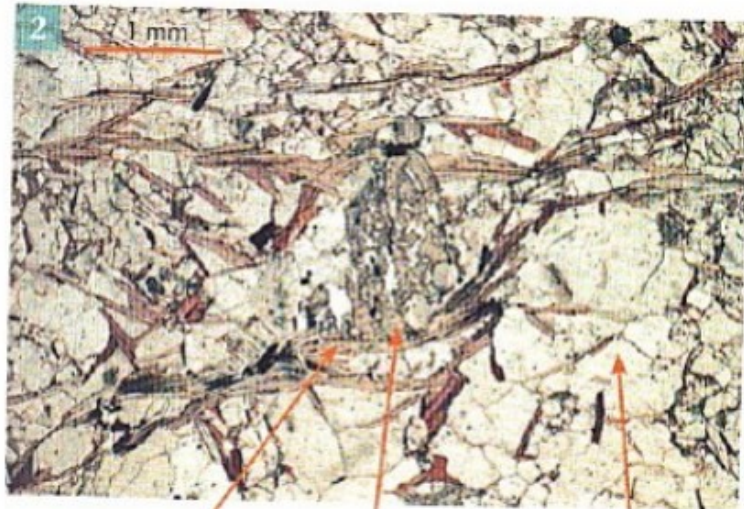
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



roche : orthogneiss

faciès : Granulites

LPNA

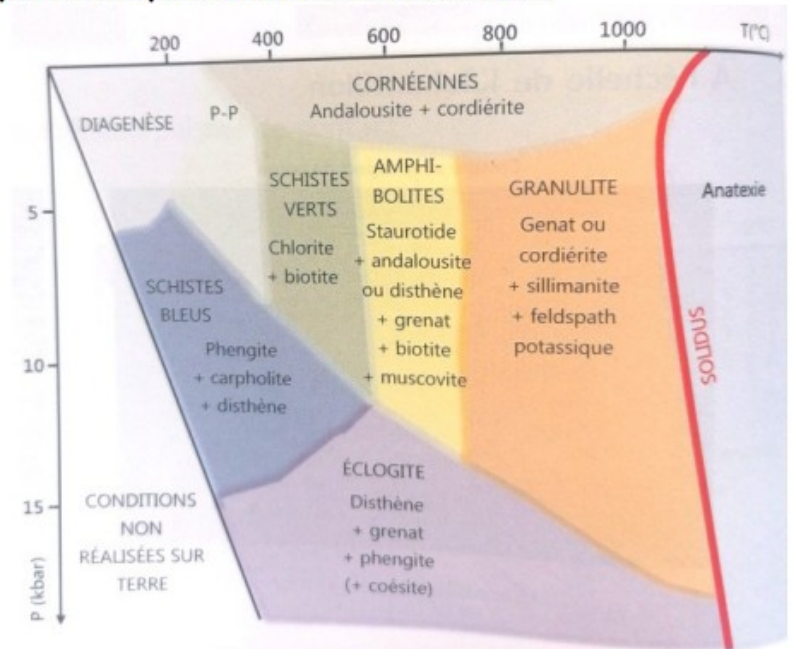


biotite soulignant
la foliation

disthène

quartz et feldspath

Grille pétrochimique avec les minéraux index :



LPNA



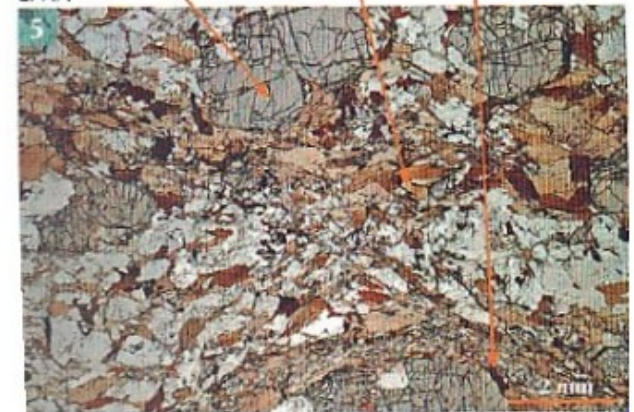
feldspath

sillimanite

sillimanite

quartz

LPNA

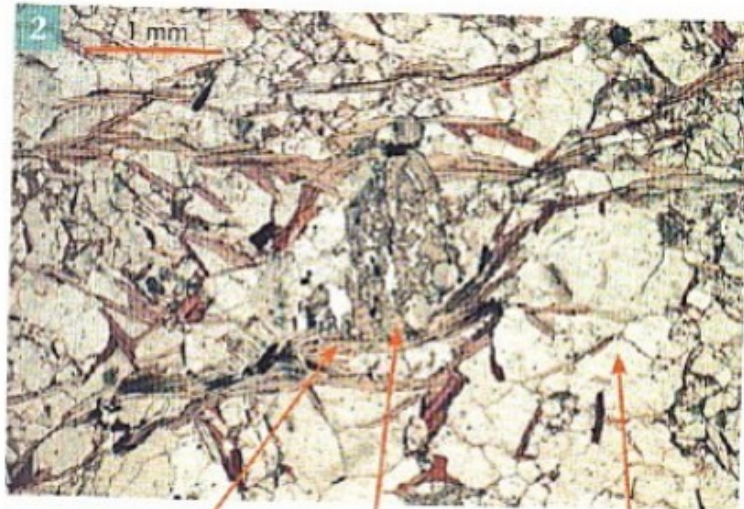


grenat

biotite

sillimanite

LPNA



biotite soulignant
la foliation

disthène

quartz et feldspath

roche : **paragneiss**

faciès : **Amphibolites (MP)**

LPNA



feldspath

sillimanite

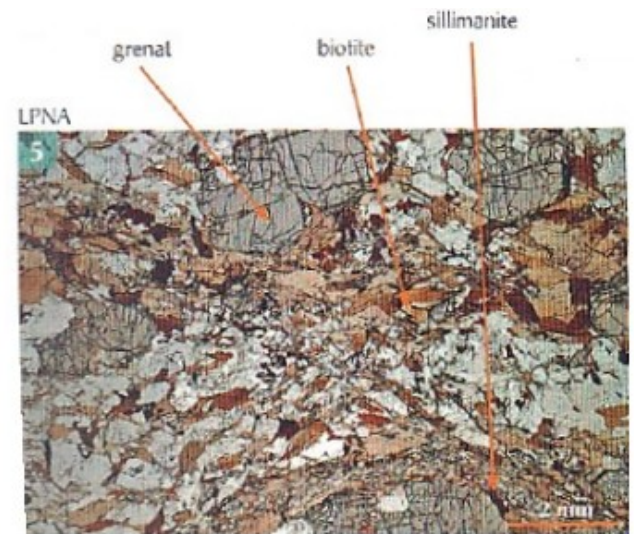
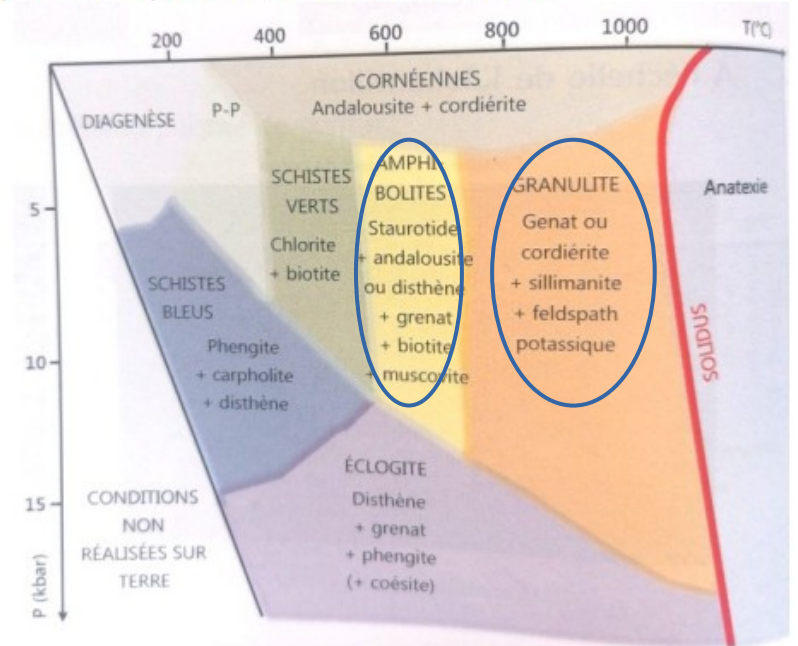
sillimanite

quartz

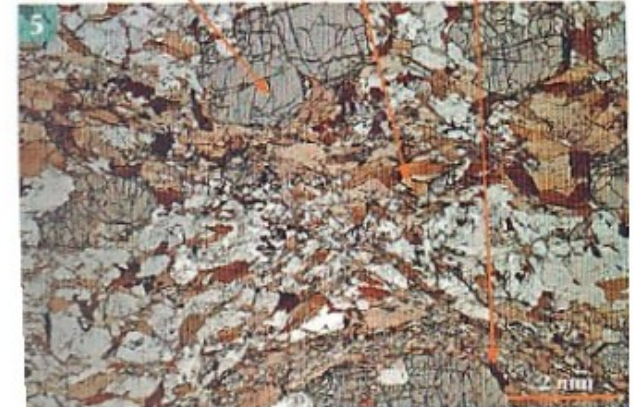
Roche : **paragneiss**

faciès : **Granulite**

Grille pétrochimique avec les minéraux index :



LPNA



roche : **paragneiss**

faciès : **Granulites**

LPNA

fantôme de grenat

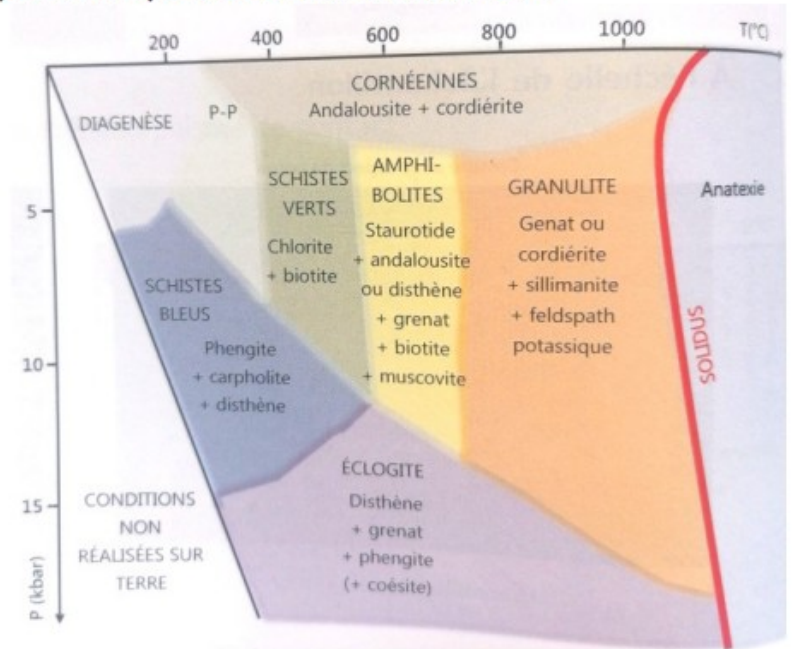


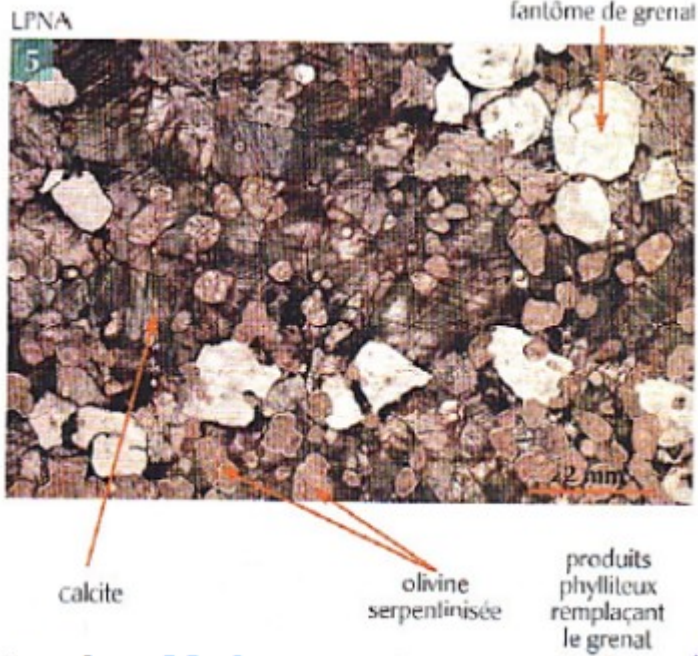
calcite

olivine
serpentinisée

produits
phylliteux
remplaçant
le grenat

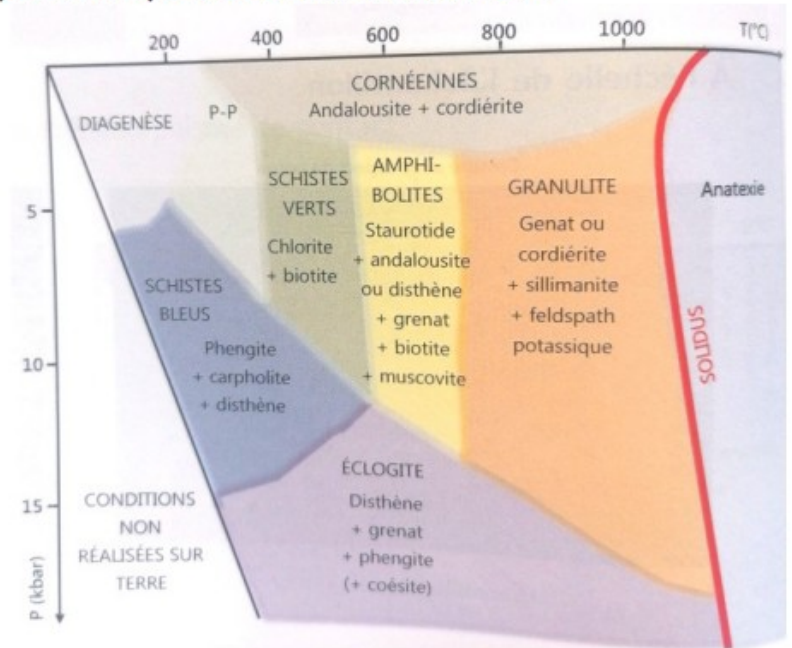
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



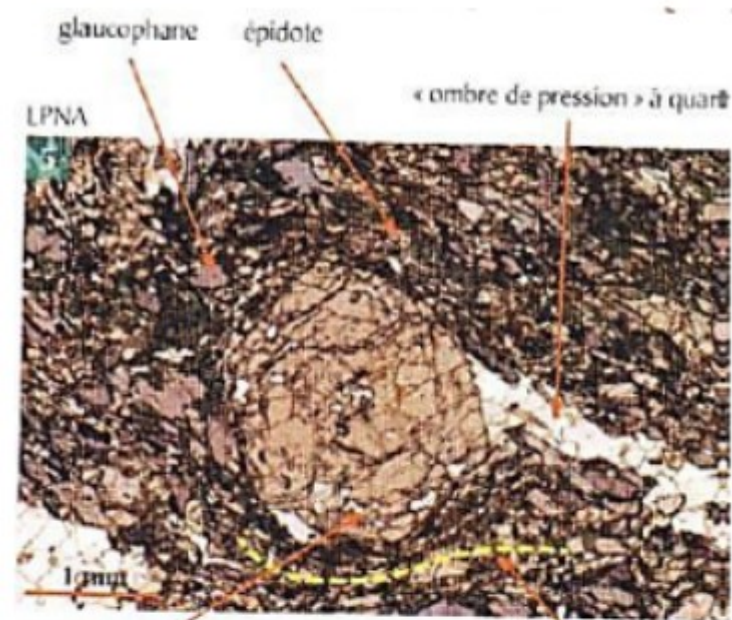
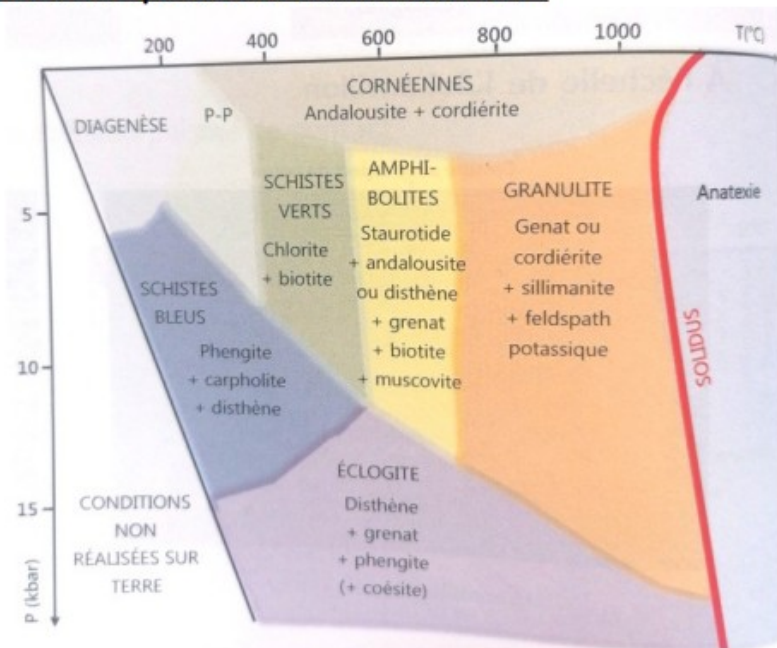


roche : **Marbre**

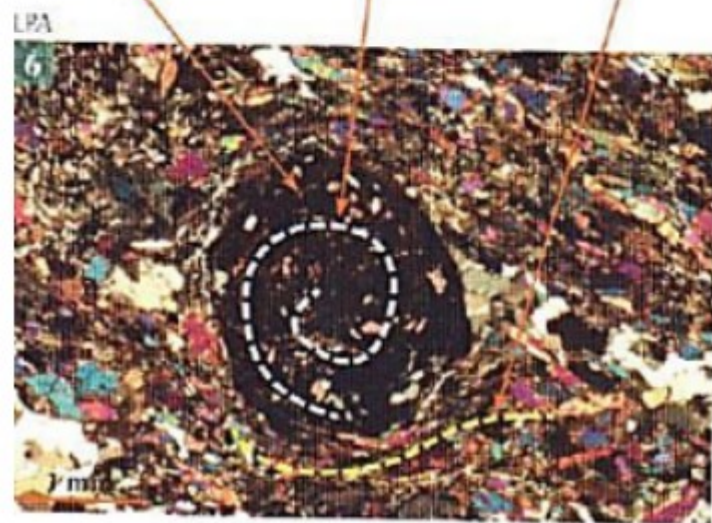
Grille pétrochimique avec les minéraux index :



Grille pétrochimique avec les minéraux index :



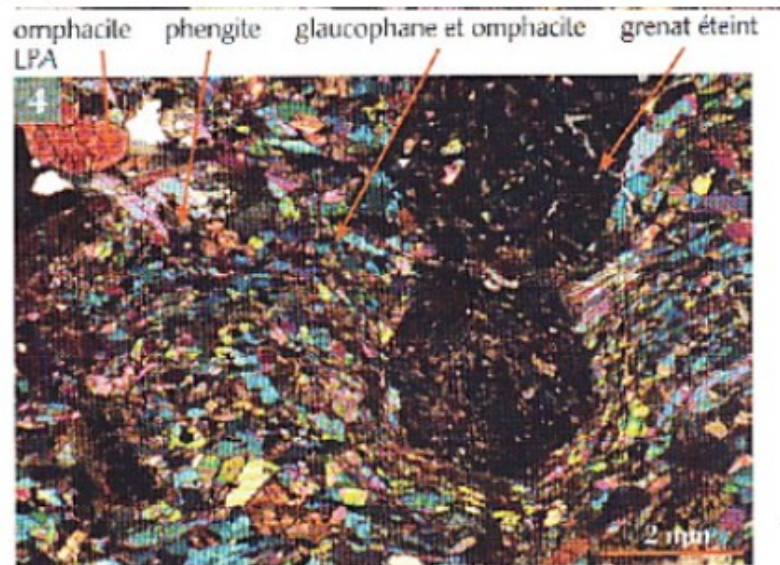
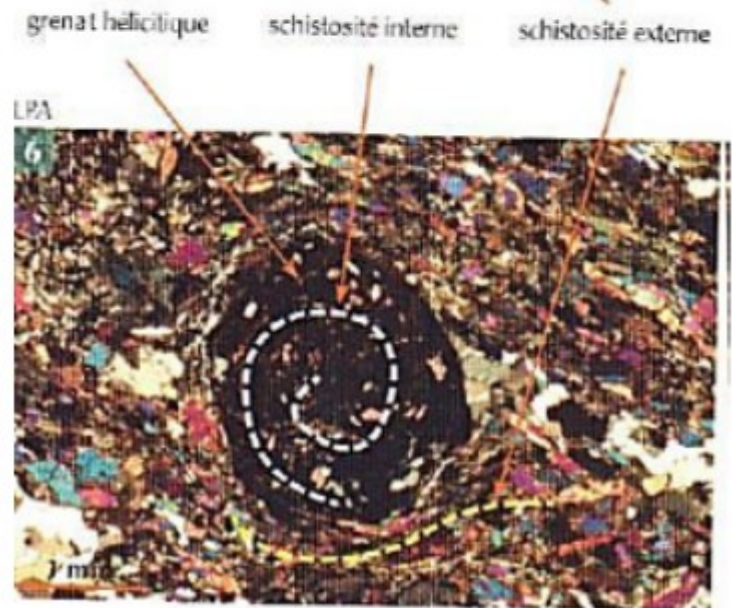
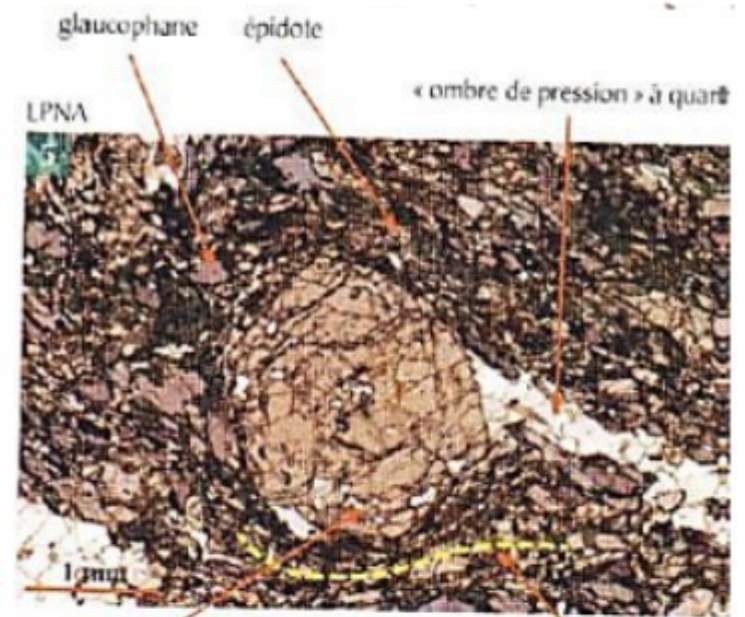
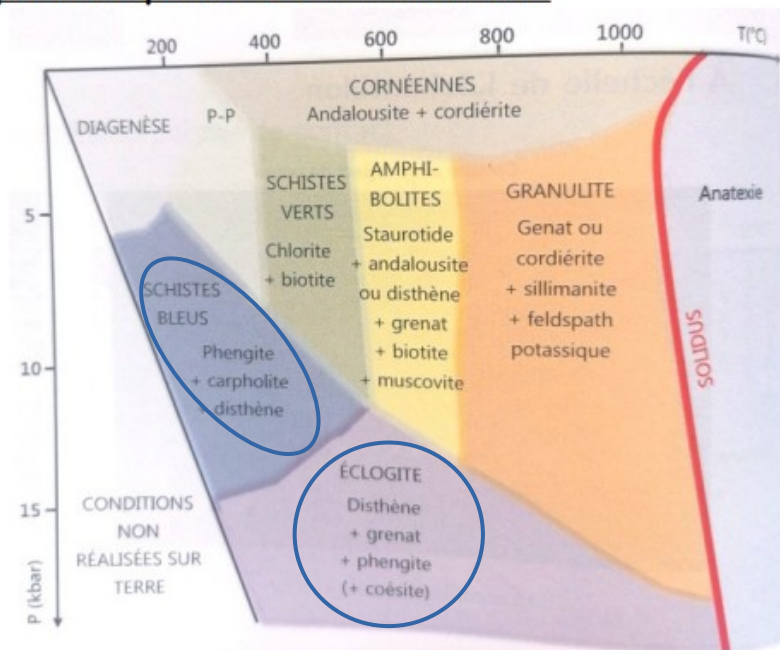
grenat hélicoïde schistosité interne schistosité externe



omphacite phengite glaucophane et omphacite grenat éteint



Grille pétrochimique avec les minéraux index :



roche : **éclogite**

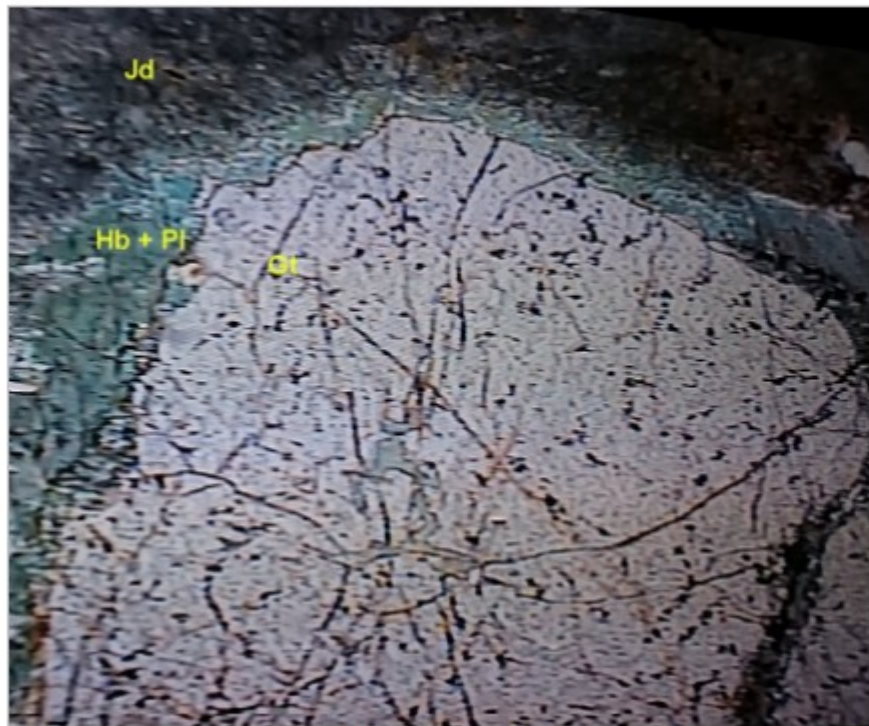
faciès : **Eclogites**

roche : **Schiste bleu**

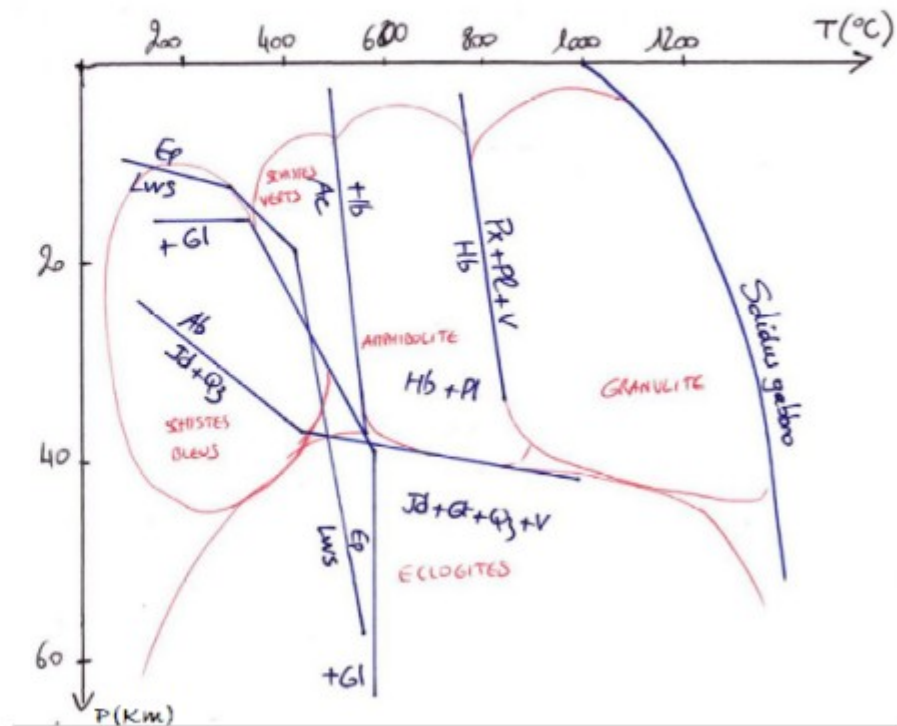
faciès : **SB en trajet rétrograde**

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 pétrogenétique



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

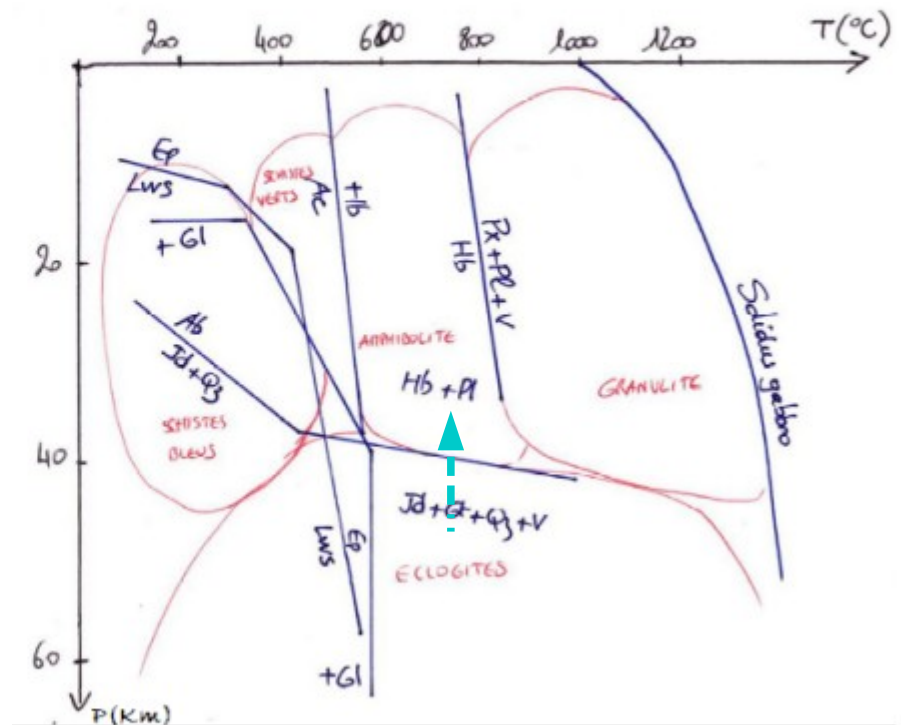


On peut interpréter cette couronne comme une réaction chimique entre le grenat et la jadéite pour donner, aux joints entre ces minéraux, un liseré de hornblende et plagioclase. Ceci est corroboré par la courbe de réaction $Gt+Jd+V \leftrightarrow Hb+Pl$ dans la grille pétrogénétique ci-dessous. Toutefois,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

On passe du domaine des éclorites 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 !



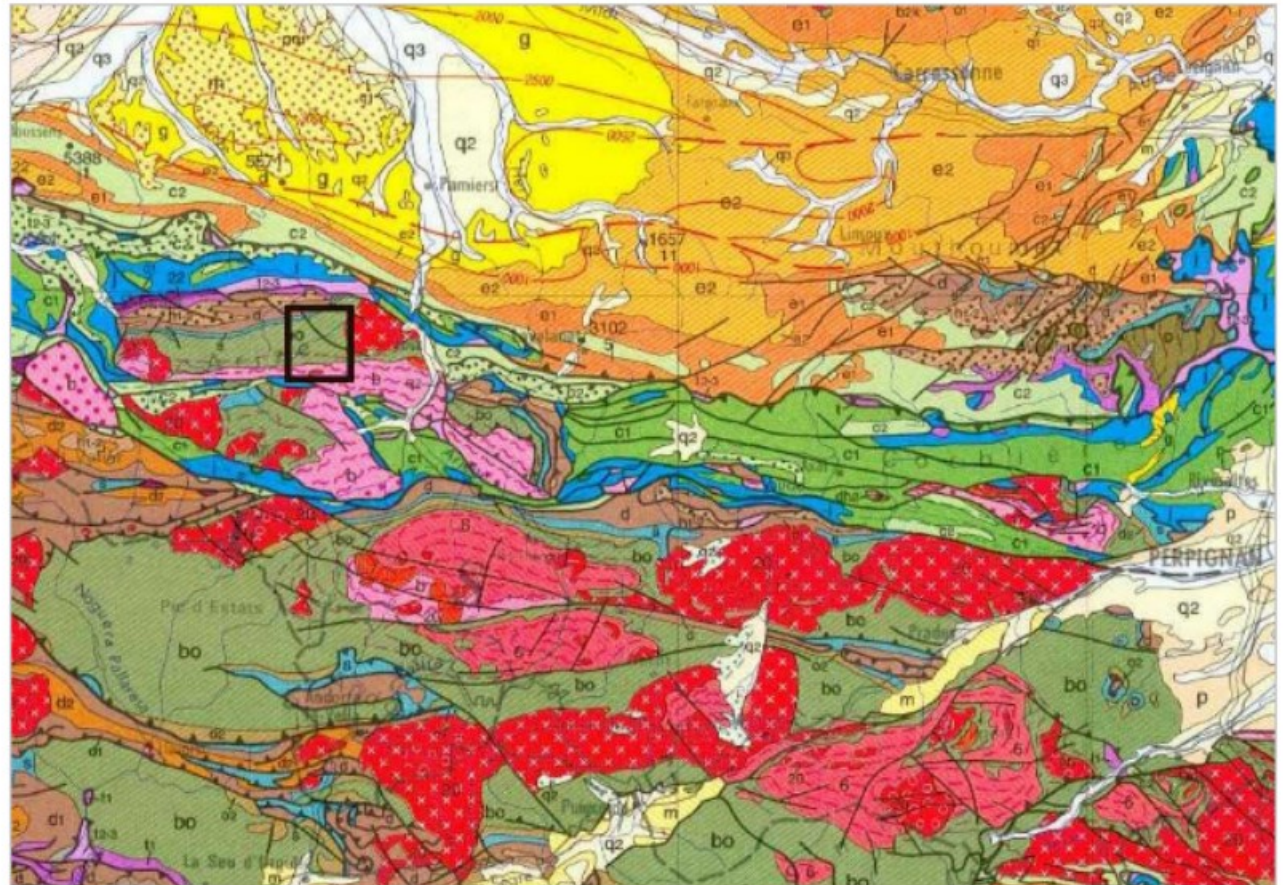
II. L'étude des séries métamorphiques sur les cartes géologiques

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-contre 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

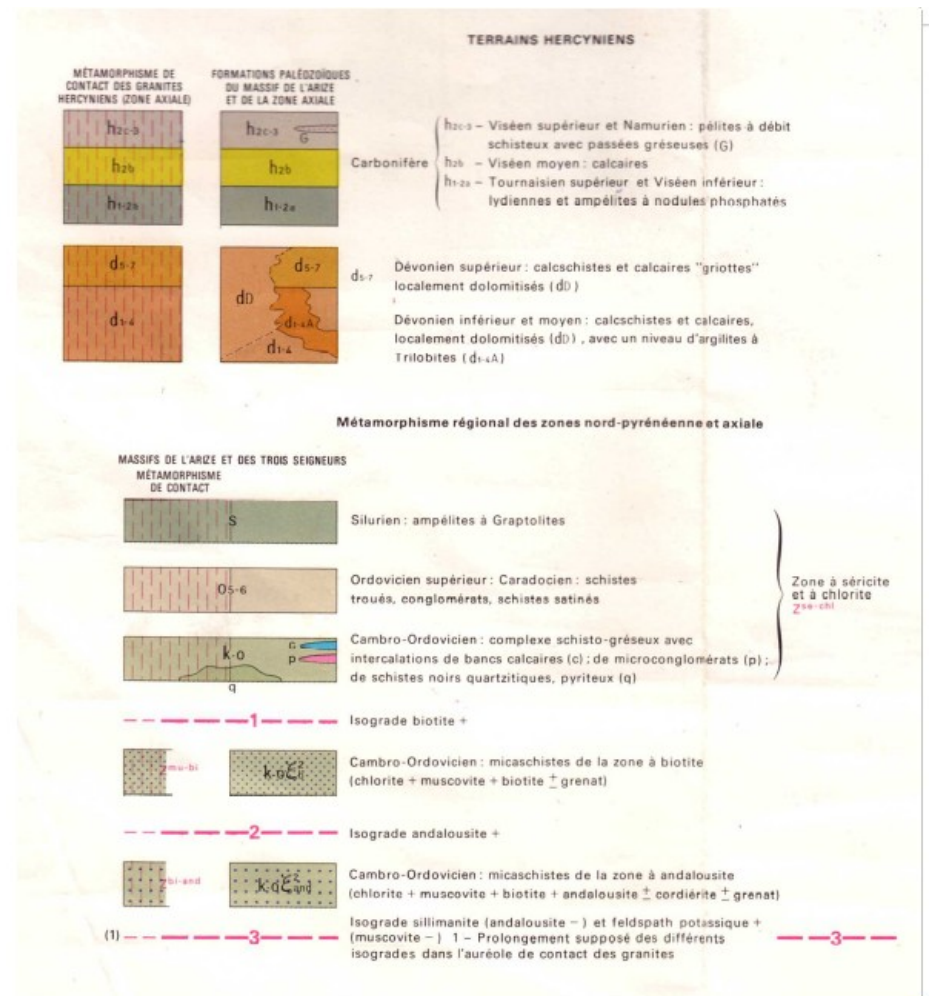
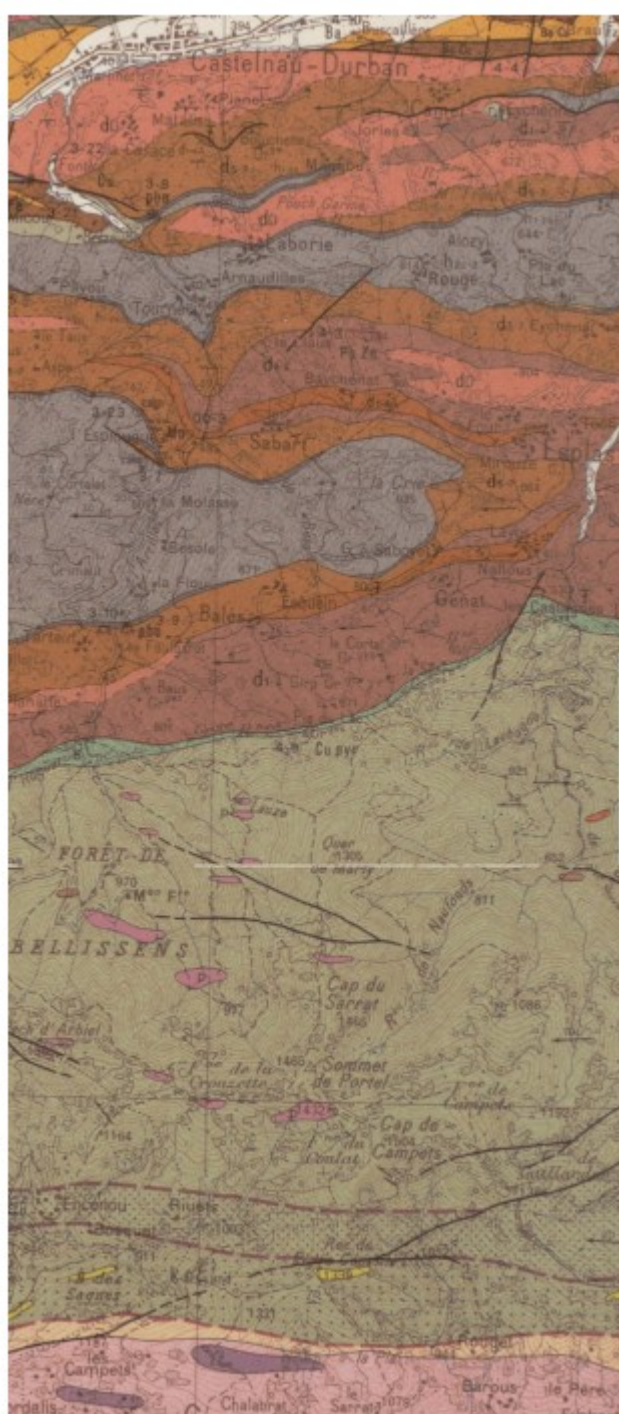


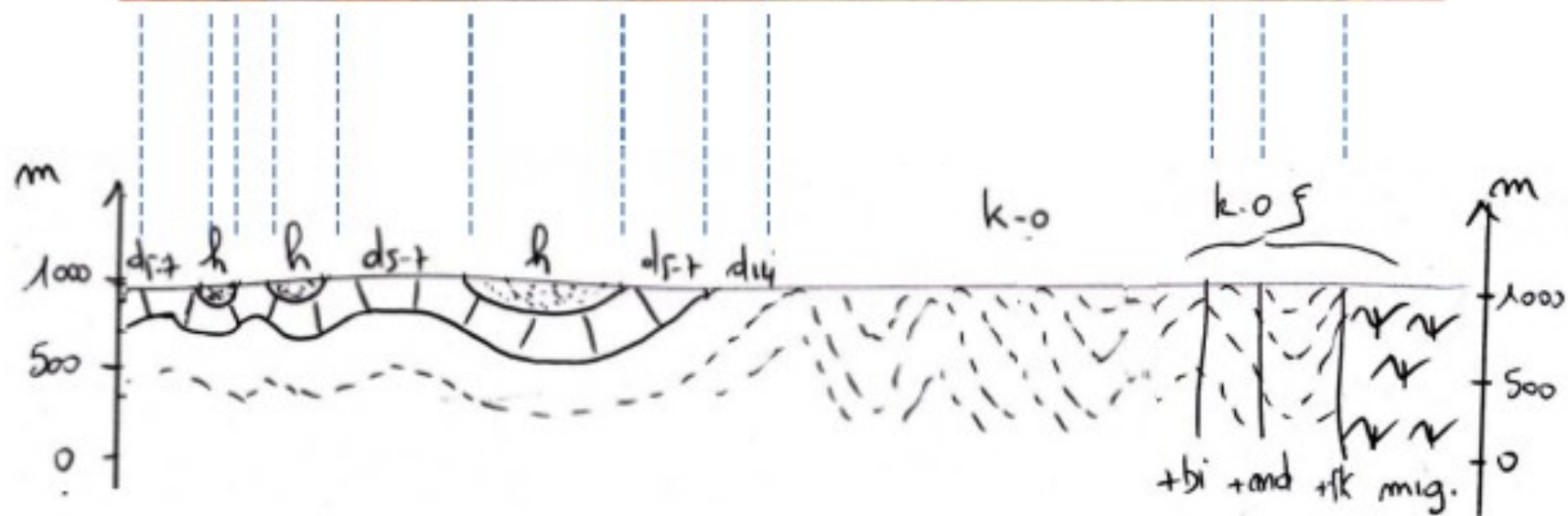
Extrait de la carte de France au millionième
permettant de localiser (cadre noir) l'extrait de la carte de Saint-Girons à 1/50000 étudié ici.

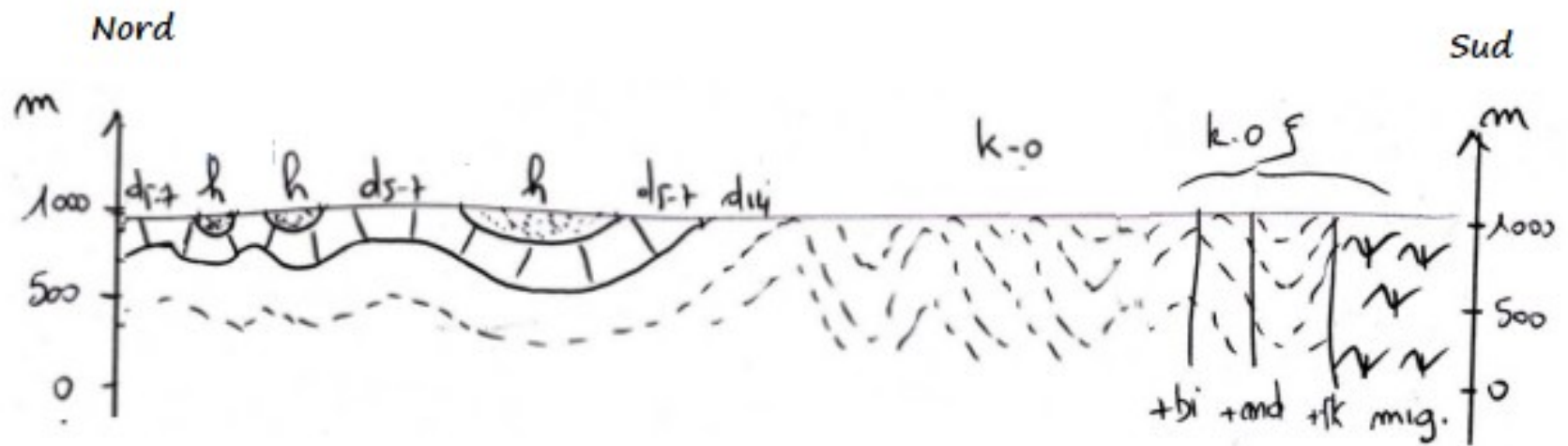
Q4. Réaliser une coupe à main levée nord-sud depuis Castelnau-Durban vers l'extrémité sud de la carte (coupe Nord-Sud).

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).

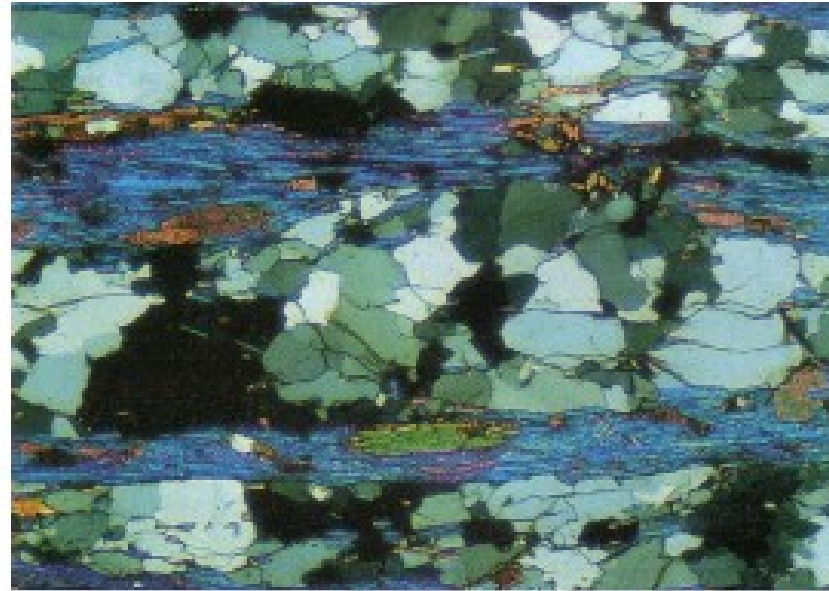






La coupe montre des roches du Cambro-ordovicien au Carbonifère. Au Nord, la structure est plissée avec des axes et des plans axiaux de plis est-ouest et des plis largement ouverts. Plus au sud, on ne repère la structure plissée que grâce aux symboles des axes de plis en surcharge sur la carte. Ces plis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

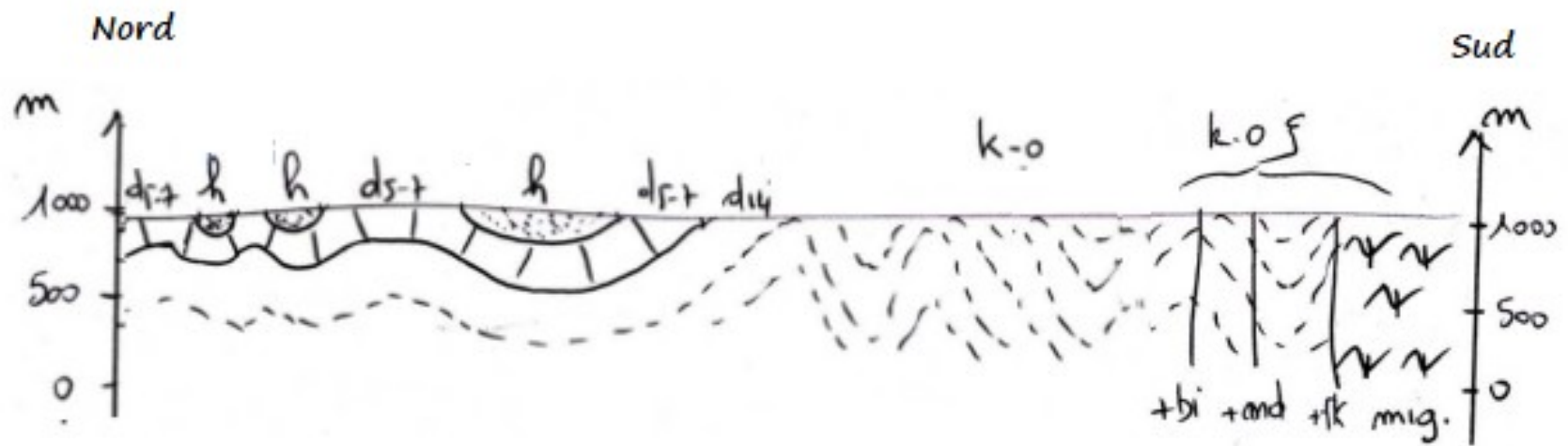
La déformation de terrains grésio-pélitiques en compression peut occasionner de grands plis comme vus au sud de Castelnau-Durban. Mais si la déformation s'intensifie, les plis deviennent de plus en plus serrés, les axes de plis deviennent quasi effacés, les argiles deviennent des micas qui s'orientent 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.

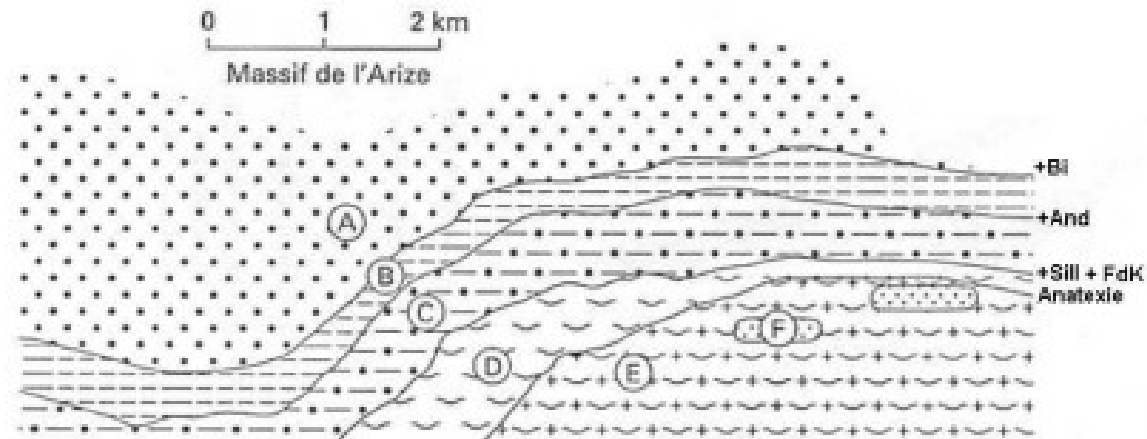


De plus, à mesure qu'on va vers le sud, on repère des isogrades. Plans axiaux de plis et isogrades sont parallèles entre eux : déformations et métamorphisme présentent des liens géométriques et on a donc une intensité des déformations et probablement des conditions P-T qui augmentent du nord au sud de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

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.



De A à F :

- la composition chimique des roches varie peu,
- la teneur en eau diminue progressivement.

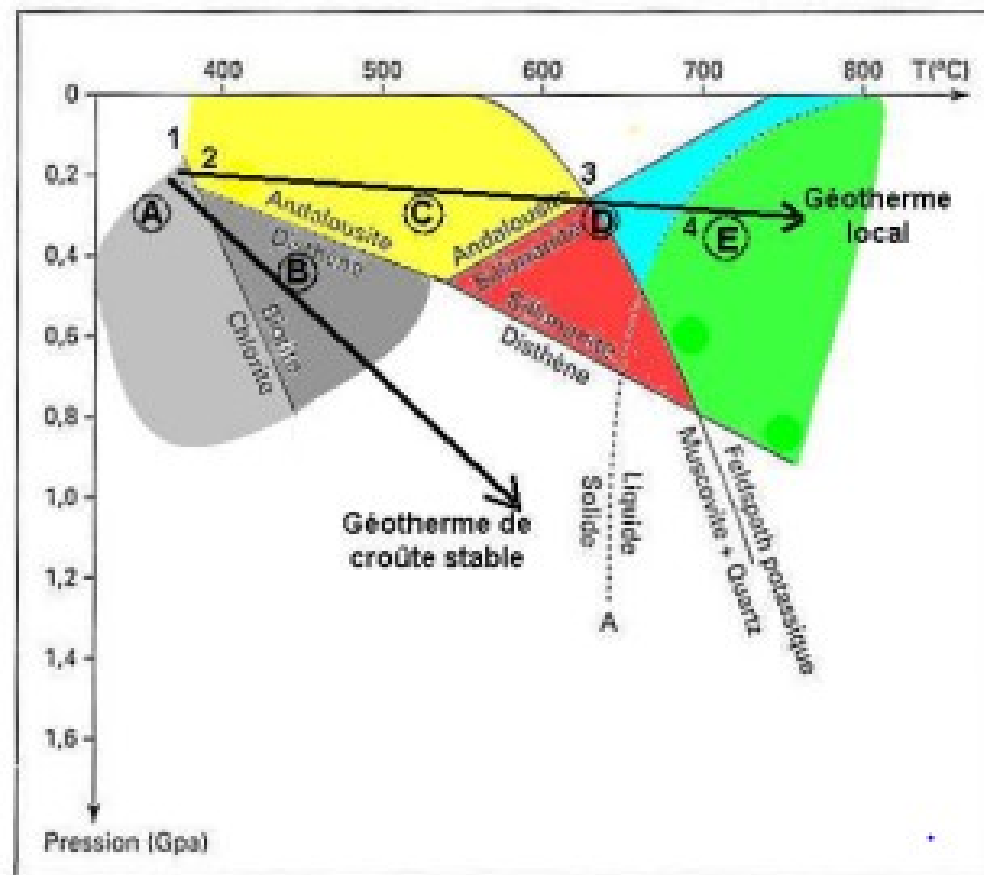
A		Schistes à séricite et à chlorite	C		Micaschistes à biotite, à muscovite et à andalousite	E		Mélange de gneiss et de granite - migmatite à sillimanite et feldspaths potassiques
B		Micaschistes à biotite à muscovite	D		Gneiss à sillimanite et à feldspaths potassiques	F		Granite de Boussenac à feldspaths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

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 à la page suivante.

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'anatexie : on est donc dans un domaine de haute température-basse pression.



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



Roches de la zone E dite « anatectique »

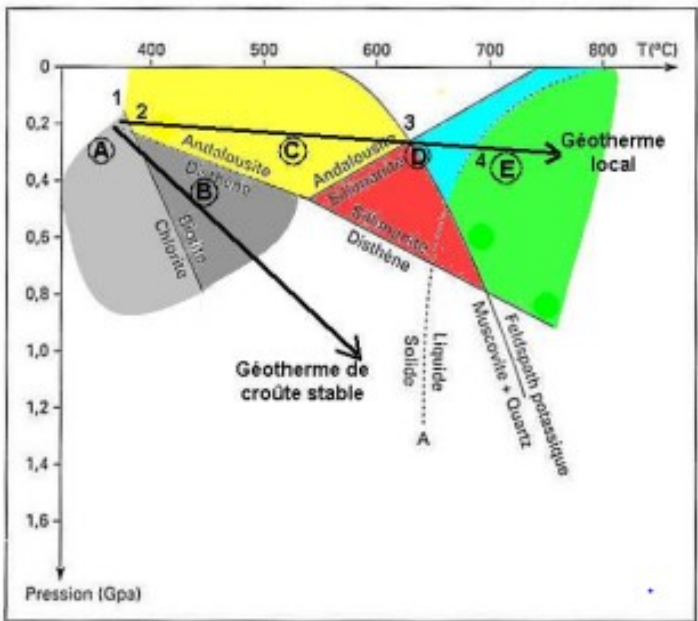
- 1 Lits quartzo-feldspathiques (feldspath K) à gros cristaux.
- 2 Lits riches en micas noirs (biotite) et sillimanite.
- 3 Zone non litée à gros cristaux de quartz et feldspaths potassiques.

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 pétrogenétique ci-dessous et conclure sur le type de gradient observé ici

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



Roches de la zone E dite « anatectique »



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.

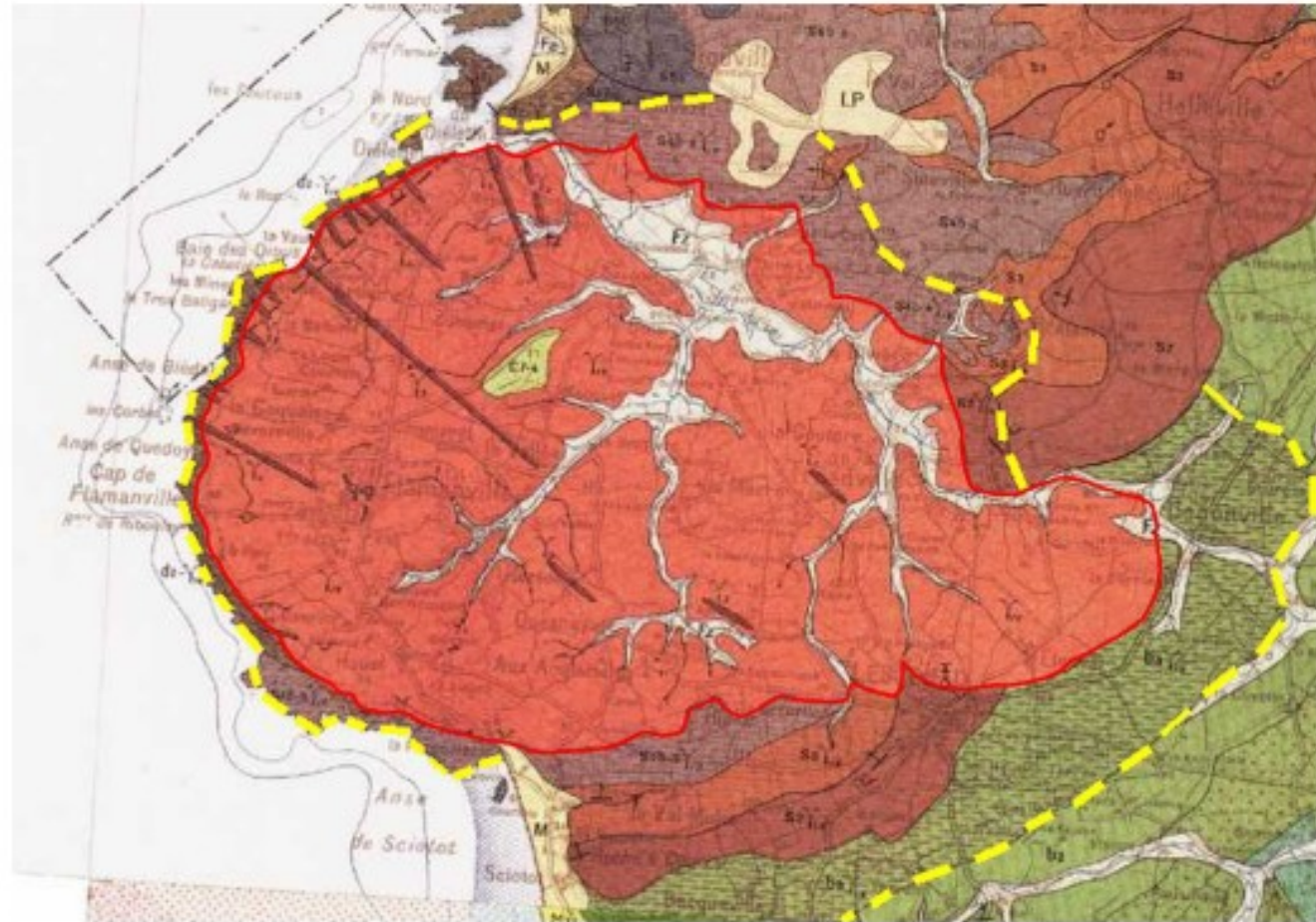
Dans ce cas, les minéraux les moins réfractaires, donc les plus susceptibles de fondre, sont les minéraux blancs: quartz et feldspaths. Cette fraction est nommée leucosome. A contrario, la fraction la plus réfractaire, en générale ferro-magnésienne et ici constituée de biotite majoritairement est nommée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

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-Girons.



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 mas aussi de carbonates.

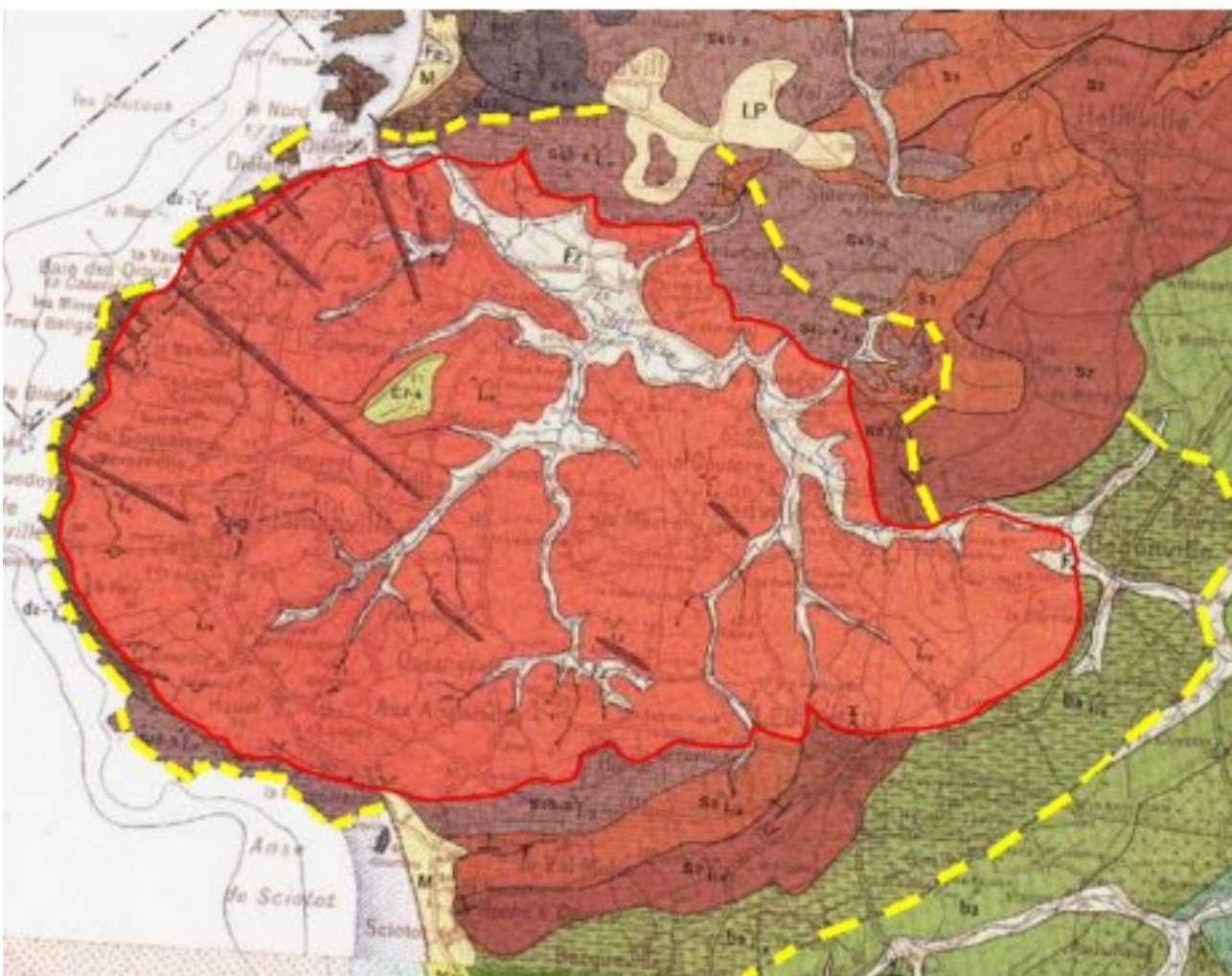
Sur la carte, le métamorphisme de contact des terrains sédimentaires paléozoïques est indiqué en surcharge sur la couleur de la roche initiale : ce sont ici les tiretés horizontaux.

2.2 Les roches de l'encaissant et leurs paragenèse

On distingue dans le détail deux auréoles de métamorphisme :

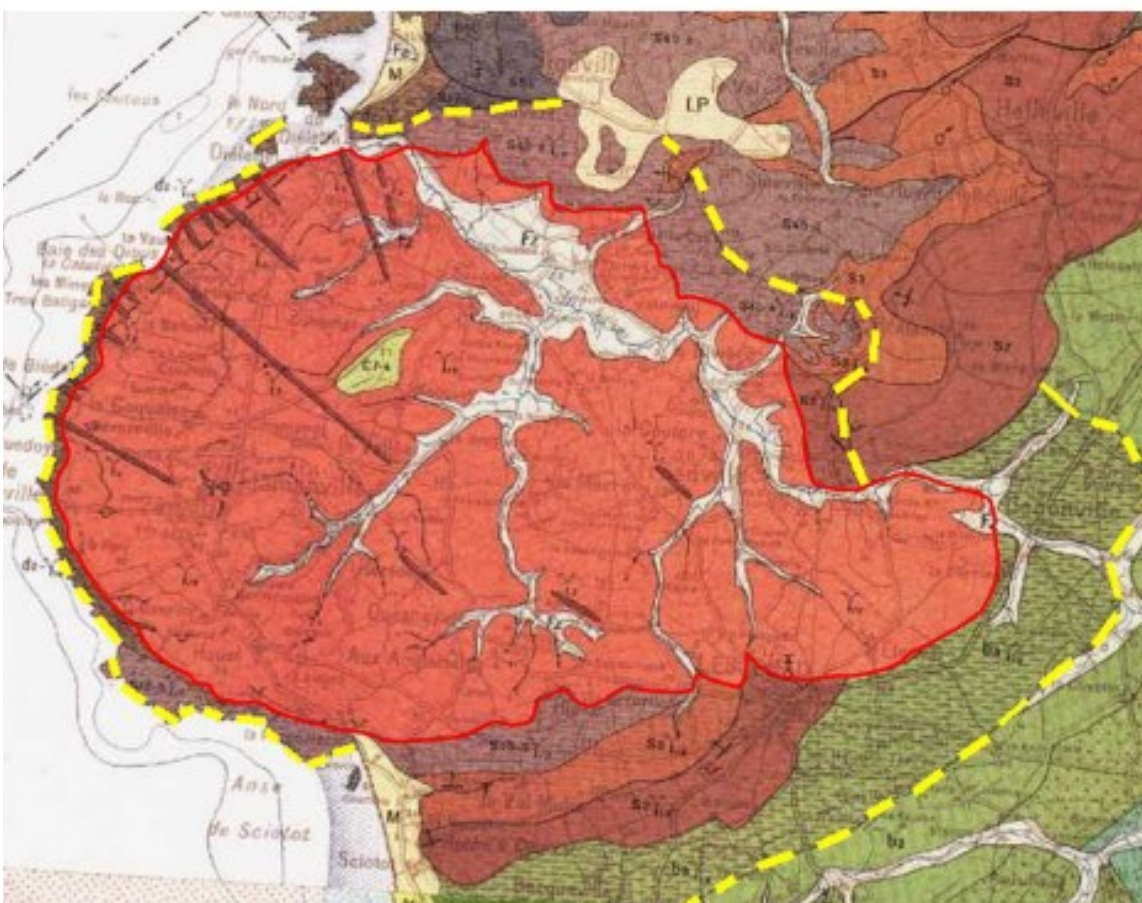
- Une auréole proximale, au contact du granite. Elle est constituée de roches plus ou moins sombres, d'aspect assez lisse et homogène et dont la stratification voire la schistosité initiales ont été en grande partie effacées : ce sont des cornéennes.
- Une auréole distale contenant majoritairement d'anciennes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



- Siluro-Dévonien: complexe de schistes et de quartzites
- Silurien: schistes ampéliteux
- Ordovicien-Silurien: Grès culminant
- Ordovicien supérieur: schistes à Trinudéus et Grès de May, regroupés
- Ordovicien moyen: Schistes à Calymene tristani
- Ordovicien inférieur: Grès armoricain
- Schistes et grès cambriens indifférenciés
- Cambrien inférieur: conglomérats de base et arkoses
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes et calcaires de Néhou métamorphisés: cornéennes, dipolins
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes ampéliteux métamorphisés
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes à Trinudéus et Grès de May, métamorphisés
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes à Calymene tristani métamorphisés (schistes madifères et sérieux)
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: grès armoricain métamorphisé
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes et grès cambriens indifférenciés, métamorphisés
- Granite de Flamanville (Hercynien)

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



- Siluro-Dévonien: complexe de schistes et de quartzites
- Silurien: schistes ampéliteux
- Ordovicien-Silurien: Grès culminant
- Ordovicien supérieur: schistes à Trinudéus et Grès de May, regroupés
- Ordovicien moyen: Schistes à Calymene tristani
- Ordovicien inférieur: Grès armoricain
- Schistes et grès cambriens indifférenciés
- Cambrien inférieur: conglomérats de base et arkoses
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes et calcaires de Néhou métamorphisés: cornéennes, d'opols
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes ampéliteux métamorphisés
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes à Trinudéus et Grès de May, métamorphisés
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes à Calymene tristani métamorphisés (schistes macifères et sériciteux)
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: grès armoricain métamorphisé
- Auréole métamorphique du granite de Flamanville: schistes et grès cambriens indifférenciés, métamorphisés
- Granite de Flamanville (Hercynien)

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.

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)

Les roches métamorphiques présentent ici diverses paragenèses:

- **Cornéennes sombres**: cordiérite, andalousite (+/- sillimanite près du granite), biotite, quartz, +/-feldspath.



C: cornéenne sombre traversée par un filon de granite clair à grain très fin (aplite);

D: inclusions de cornéennes dans le granite clair;

- 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**.

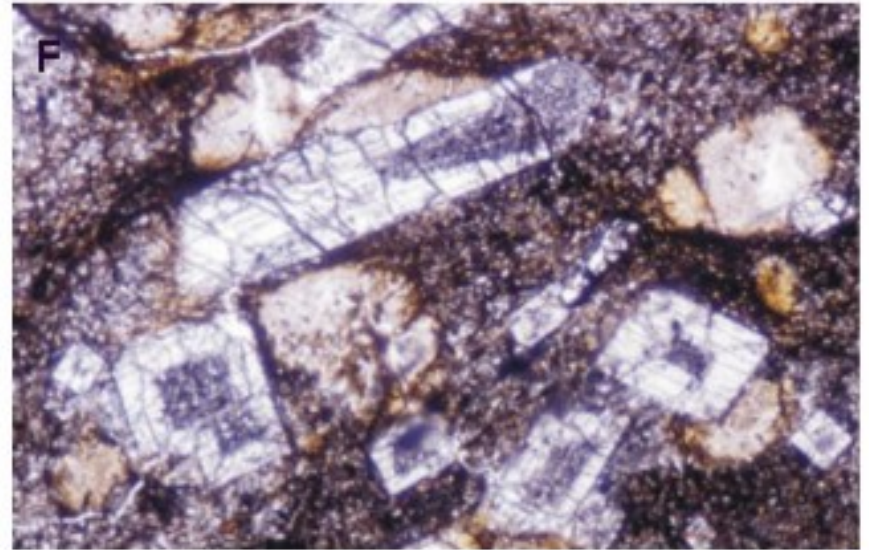
- **Cornéennes claires** : cordiérite, andalousite, biotite, quartz, feldspath, muscovite (mica blanc), et grenat. La présence de ces deux derniers minéraux est rendue possible car le protolithe est schisteux et carbonaté (présence abondante de calcium et aluminium).



A : cornéenne claire à protolithe carbonaté traversée par une couche sombre à protolithe schisteux ;

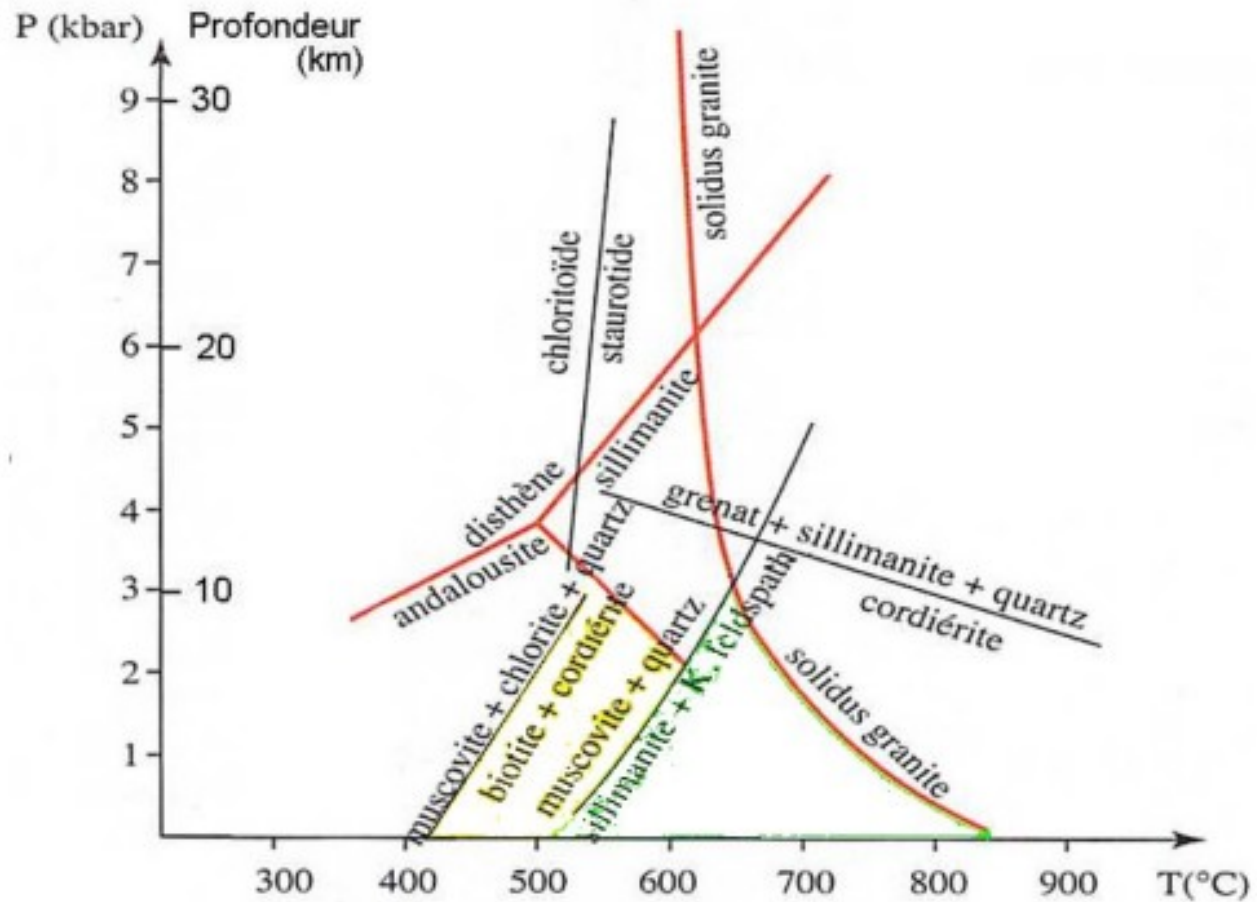
B : détail des cornéennes claires montrant des grenats ;

- **Schistes tachetés:** andalousite et cordiérite.



F : détail en LPA (x40) des schistes tachetés montrant l'andalousite (croix noire) et la cordiérite sous forme de nodules bruns.

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



Grille pétrogénétique reprenant les principales réactions métamorphiques impliquant les minéraux observés à Flamanville

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.

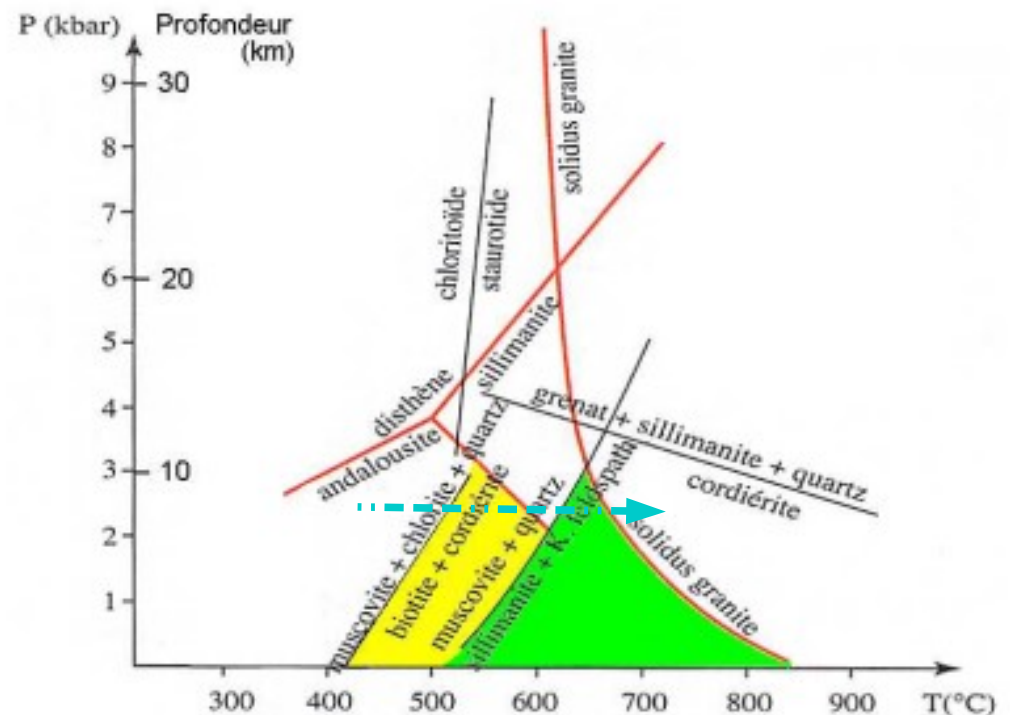
L'apparition de la sillimanite à proximité du granite montre une température localement supérieure à 600°C.

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

Grille pétrochimique avec les minéraux index :

