

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 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.

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, 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) et actinote.

Remarque : 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 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)



Doc 1b : schiste à chlorite (phyllosilicate vert)



Doc 1c : schiste à séricite (mica blanc)



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

Doc 2 : un micaschiste



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 constitués de micas de type biotite pouvant être associé à de la hornblende (amphibole).

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'alumine sont plus nombreux, l'origine du protolithe est sédimentaire avec une composante argileuse, il s'agit d'un paragneiss.

Les gneiss correspondent donc aux faciès des amphibolites ou des granulites.

Doc 3a : orthogneiss



doc 3b : orthogneiss avec des yeux de feldspath potassique



doc 3c : paragneiss



BCPST2

STG LE MÉTAMORPHISME

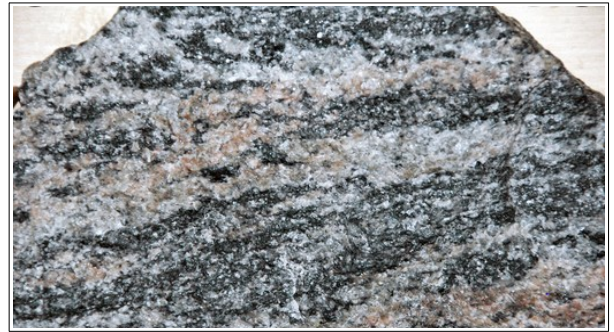
Les migmatites correspondent à des associations étroites entre roches magmatiques et métamorphiques.

La partie métamorphique correspond à un gneiss dans lequel se trouve des poches pluricentimétriques de matériel clair, les leucosomes ou mobilisats de composition granitique 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.

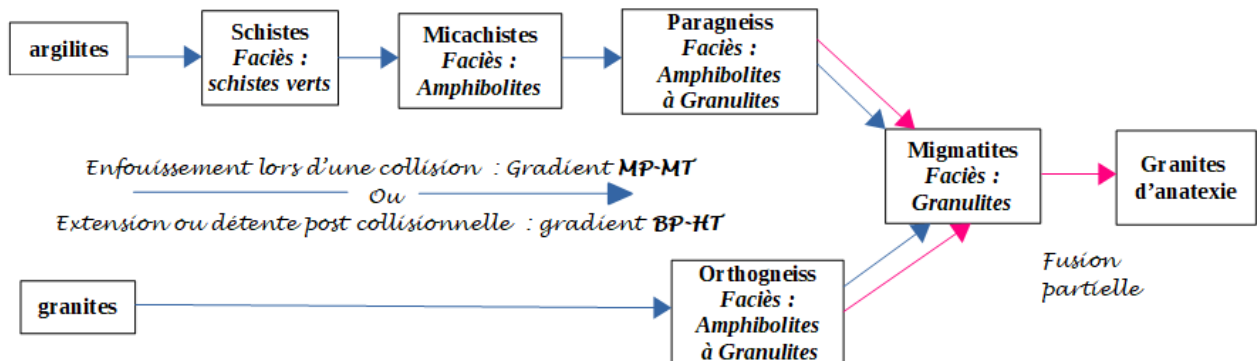
Doc 4a : **migmatite** issue de l'évolution d'un orthogneiss



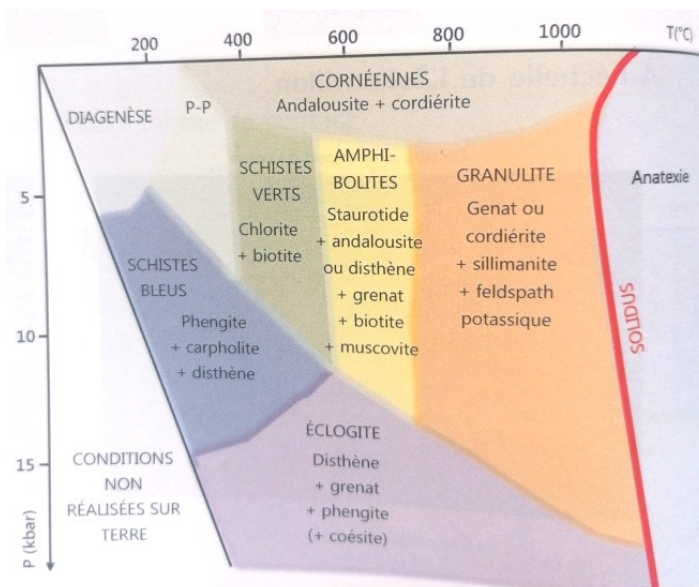
Doc 4b : **migmatite** issue de l'évolution d'un paragneiss



Origines et devenir de ces roches :



Grille pétrochimique avec les minéraux index de la séquence pélite :

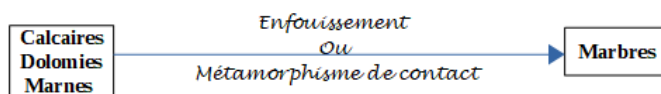


1.2 Un produit de la séquence carbonatée : les marbres

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 frustre** 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 frustre**. Ils sont reconnaissables par leur **couleur bleu nuit** due à la présence d'une **amphibole bleue**, la **glaucofane**, en feuillets ou en couronne autour de **pyroxènes reliques** (pouvant prendre une couleur verdâtre).

Les **métagabbros des schistes bleus** correspondent donc au **faciès des schistes bleus**

Doc 7 : **métagabbro de schistes bleus**



BCPST2

STG LE MÉTAMORPHISME

L'amphibolite se caractérise par sa **richesse en hornblende (amphibole brune)** ayant en partie ou en totalité **remplacé les pyroxènes du gabbro initial en présence d'eau**.

Les amphibolites correspondent au **faciès des amphibolites**.

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 **rétromorphose**, et de **minéraux verts**, l'**omphacite** (pôle sodique de la jadéite).

Le **quartz** est également **très présent** dans ces roches.

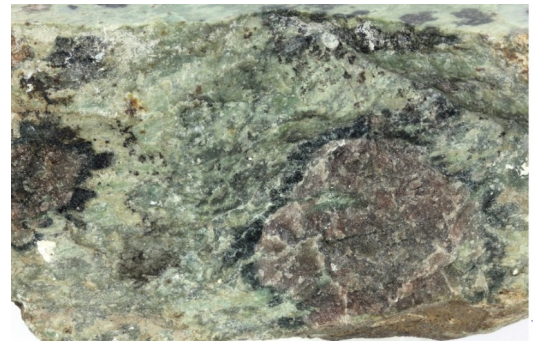
La roche peut parfois présenter une foliation ainsi qu'un éclat métallique qui résulte de la présence de **phengite**, une forme haute pression du **mica blanc**.

Ces roches sont caractéristiques du **faciès éclogite** qui traduit un **enfouissement** à plus de 30 km de profondeur, fréquemment **entre 50 et 75 km**.

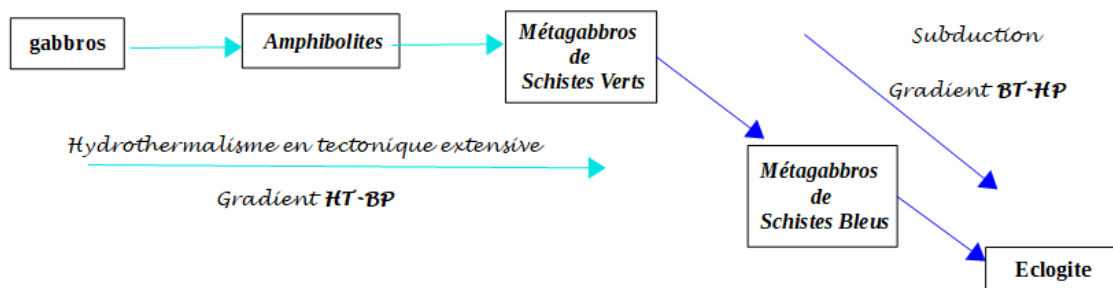
Le **protolith** peut être un **gabbro** ou un **basalte**.

Doc 9 : éclogite

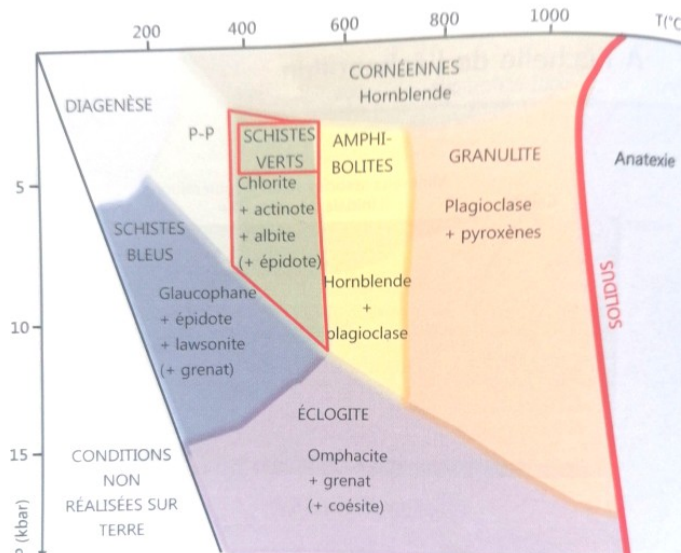
les **grenats** présentent ici une **couronne de hornblende**



Origines et devenir de ces roches :



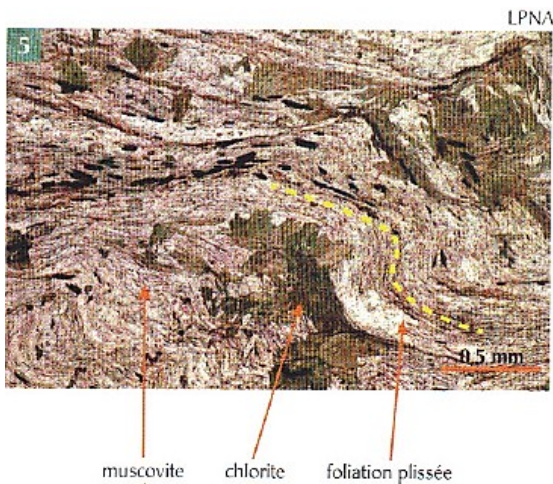
Grille pétrochimique avec les minéraux index de la séquence basique :



2. Les enseignements des lames minces des roches métamorphiques.

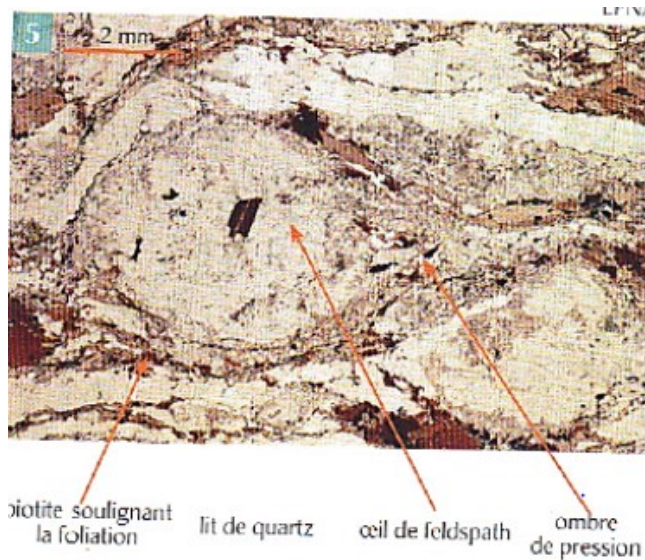
L'intérêt de la lame mince est l'identification précise de la paragenèse et l'identification d'un lien entre déformation des roches et recristallisation des minéraux.

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



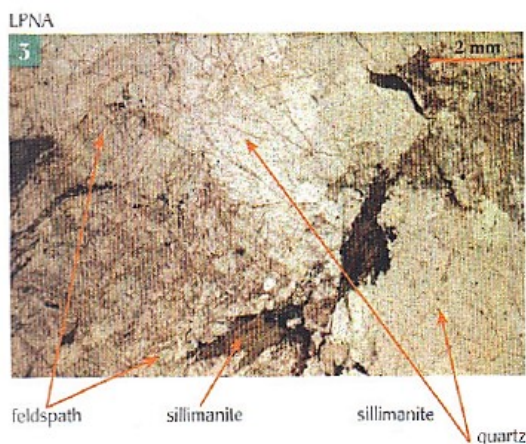
roche :

faciès :



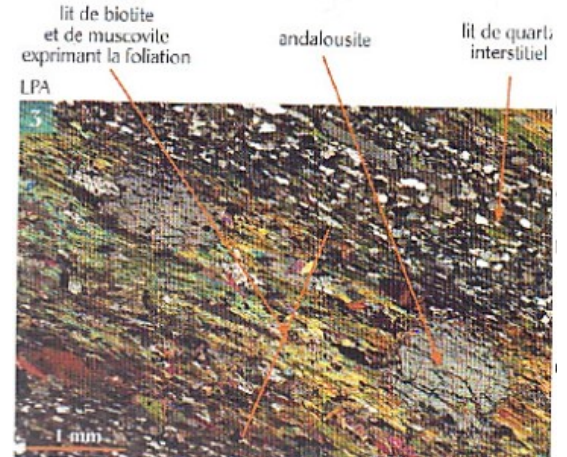
roche :

faciès :



roche :

faciès :



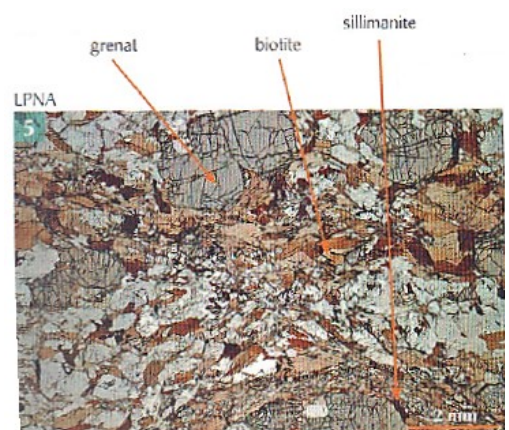
roche :

faciès :



roche :

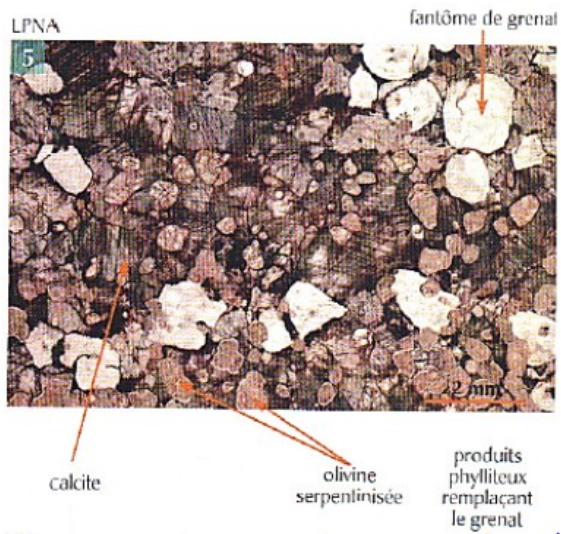
faciès :



roche :

faciès :

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME



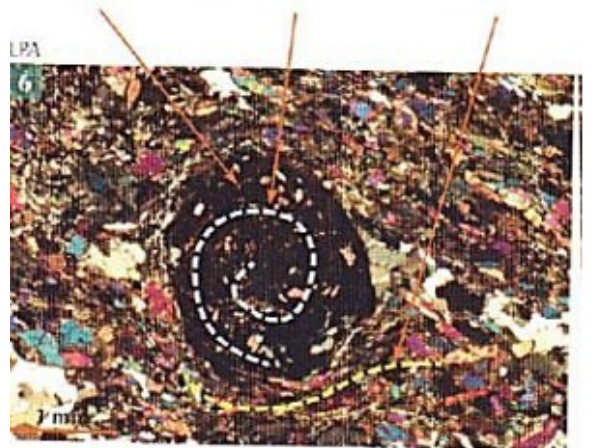
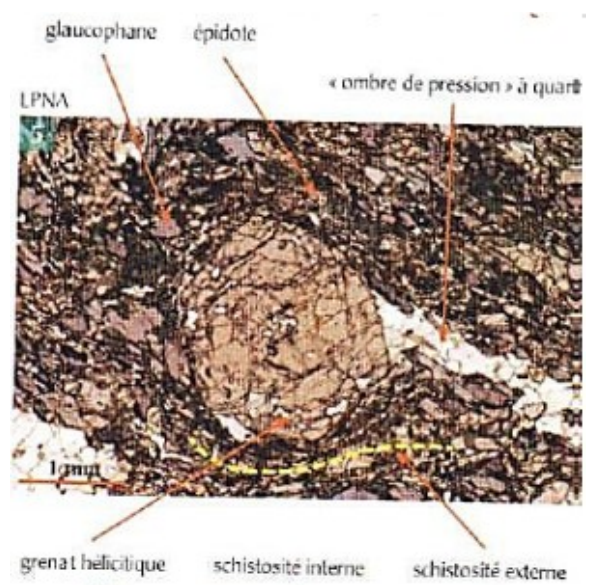
roche :

faciès :



roche :

faciès :



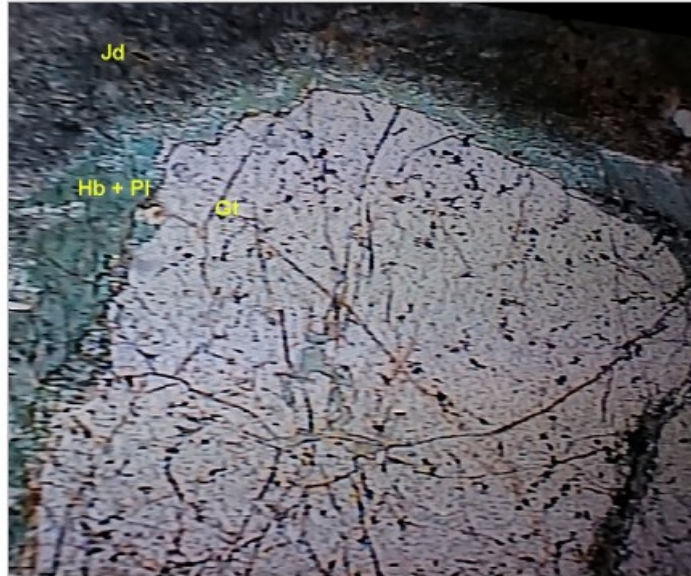
roche :

faciès :

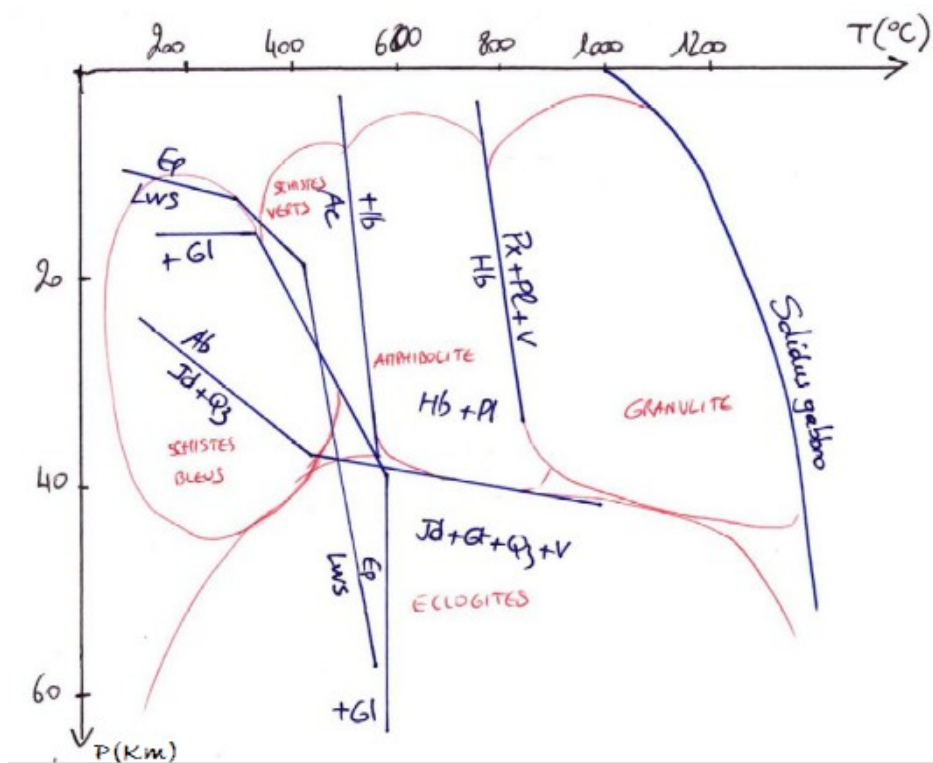
BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

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)

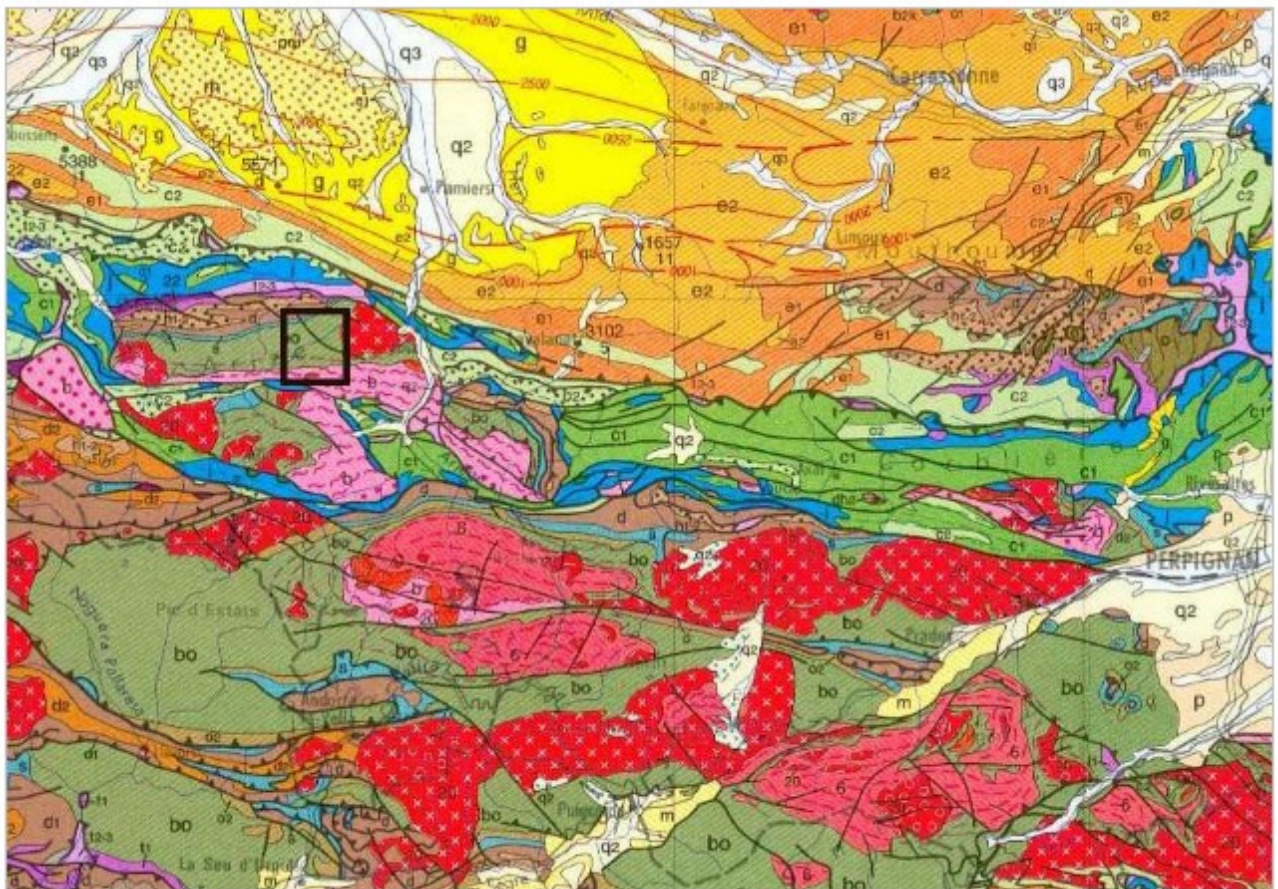


II. L'étude des séries métamorphiques sur les cartes géologiques

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

1.1 Contexte géologique d'ensemble

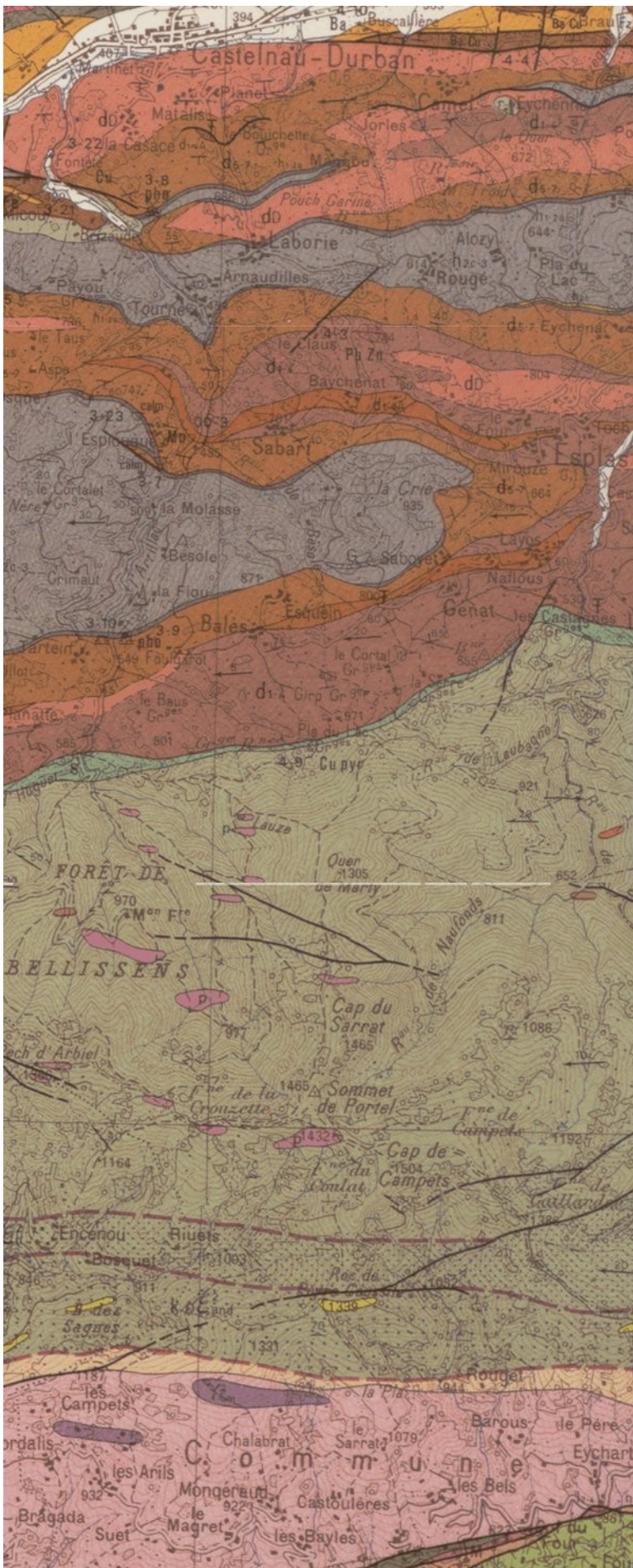
L'image ci-dessous est un extrait de la **carte géologique** à 1/1000000 permettant de localiser la **zone d'étude**, les **Pyrénées Centrales**, puis la carte à 1/50 000 de **Saint-Girons**, qui montre la géologie des **massifs de l'Arize et des 3 Seigneurs** (Pyrénées ariégeoises). La légende nécessaire 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 Castelnau-Durban vers l'extrémité sud de la carte (coupe Nord-Sud).

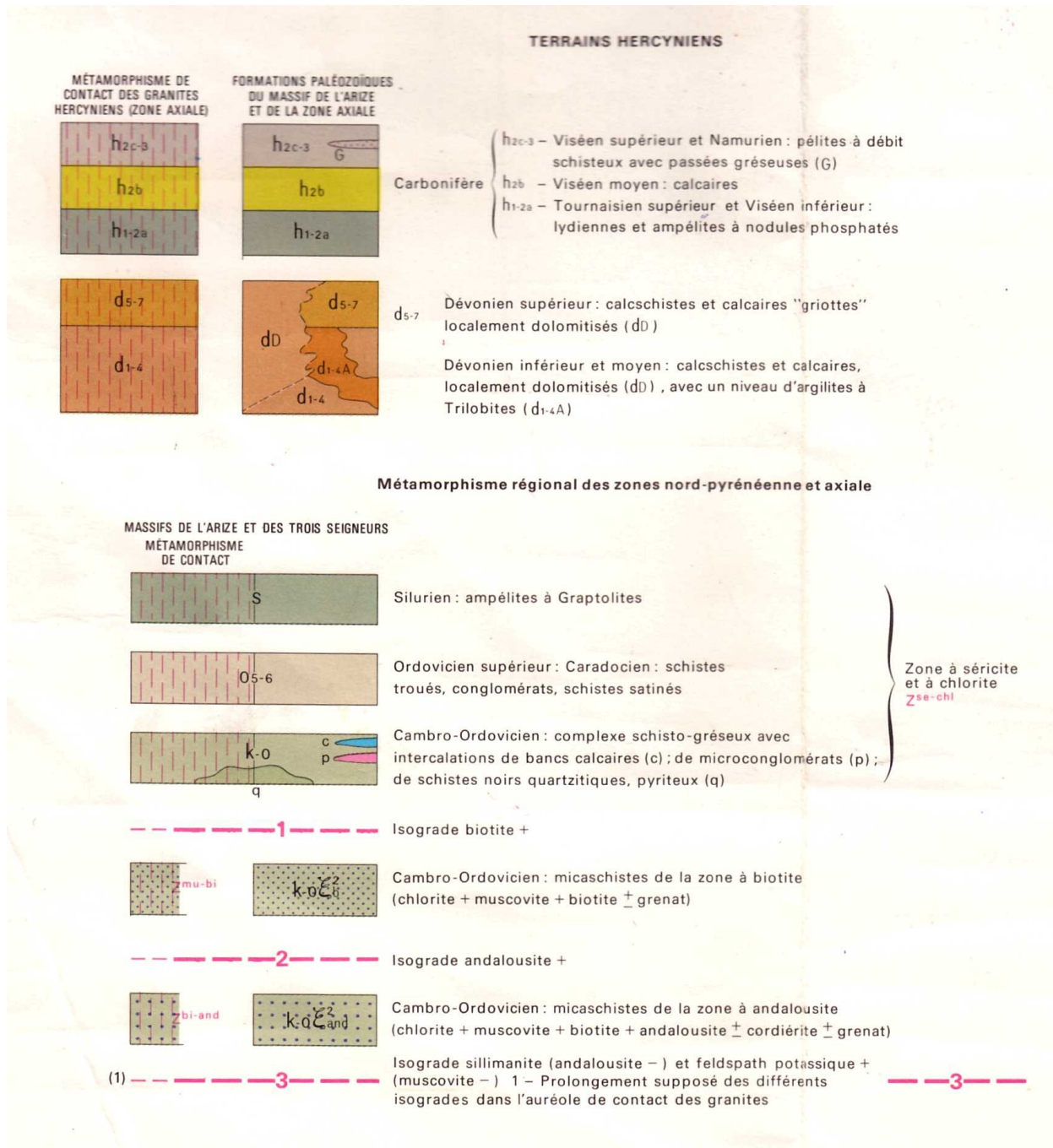
On considérera que le relief, de faible amplitude, est plat tout le long du trait de coupe.

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).

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

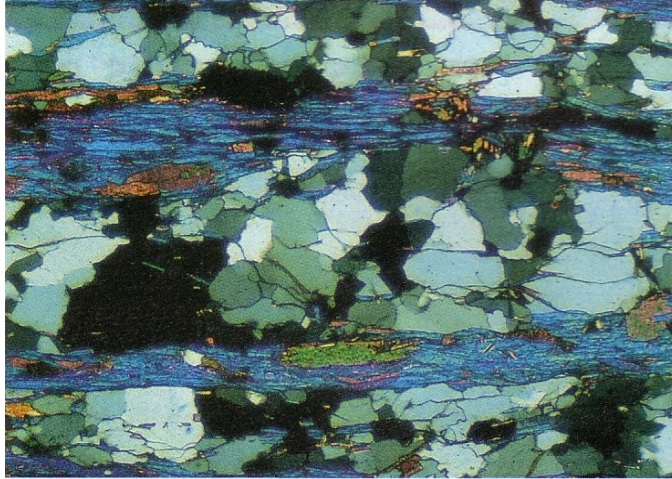
BCPST2

STG LE MÉTAMORPHISME



BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

La déformation de terrains gréso-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

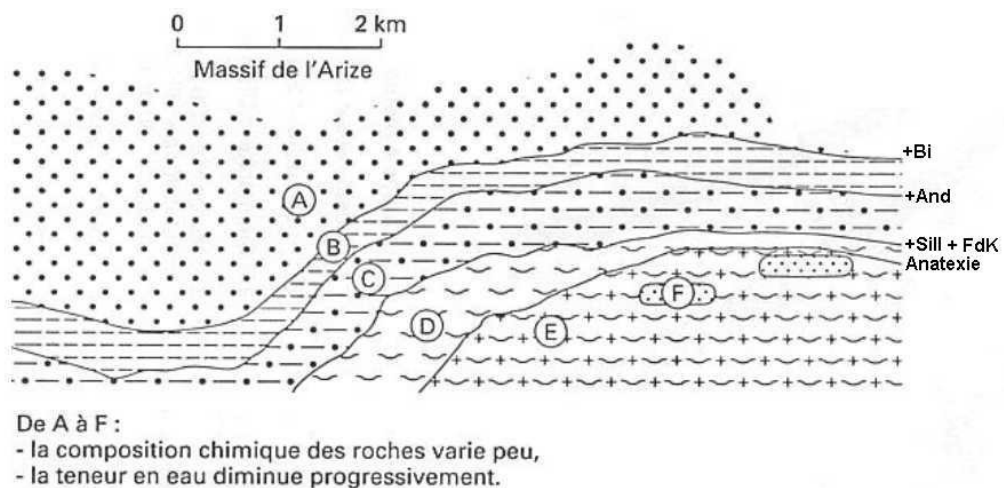
Q5. Proposer une explication pour les déformations et les données métamorphiques observables.

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**



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.

BCPST2
STG LE MÉTAMORPHISME

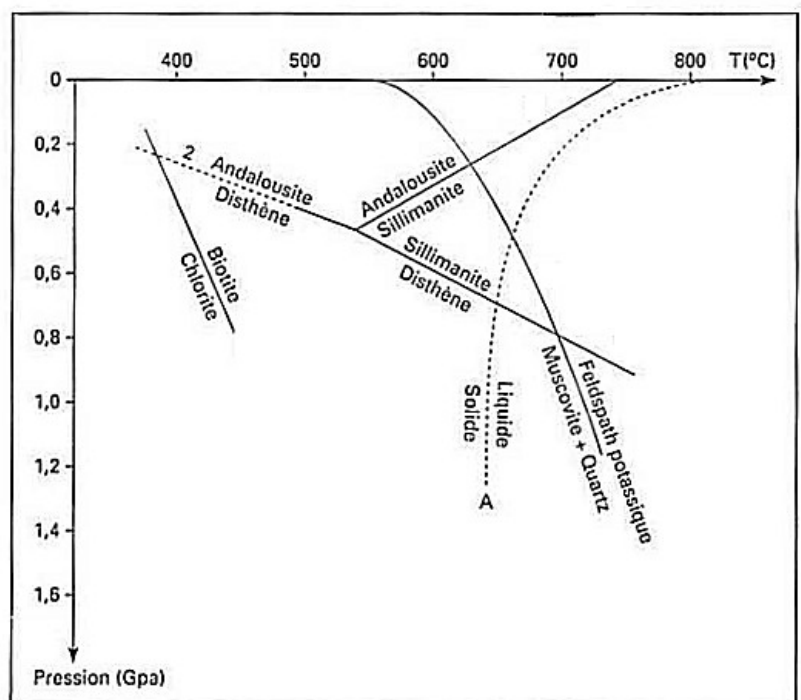
Dans la zone E de l'extrait de carte simplifiée précédent, on constate la présence de roches suivantes :



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

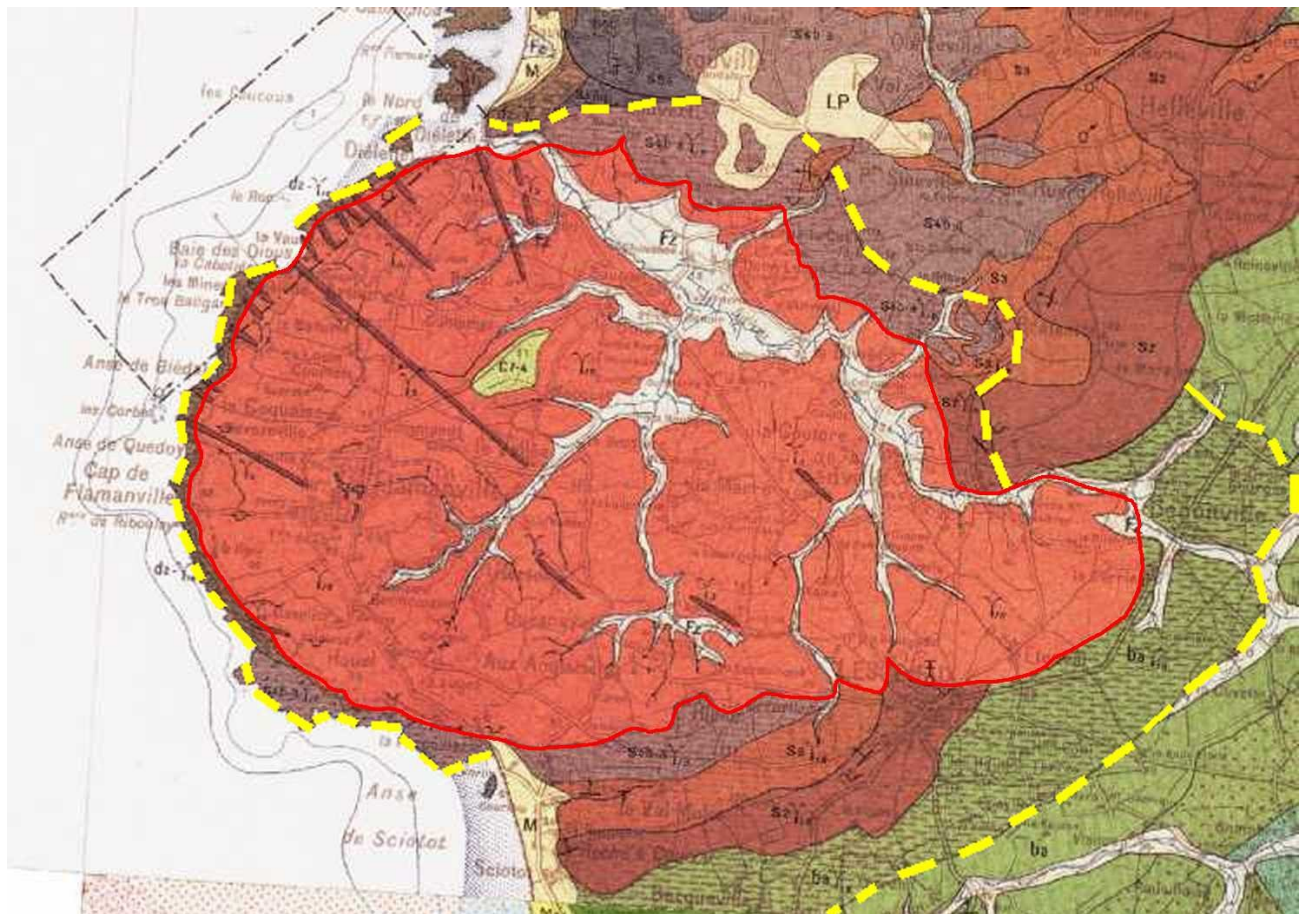


Grille pétrogénétique simplifiée pour les roches d'origine continentales (métapélites).

2. Cas particulier du métamorphisme de contact ou thermo-métamorphisme (THT- TBP)

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 **tirétés horizontaux**.

2.2 Les roches de l'encaissant et leurs paragenèse

On distingue dans le détail deux auréoles de métamorphisme :

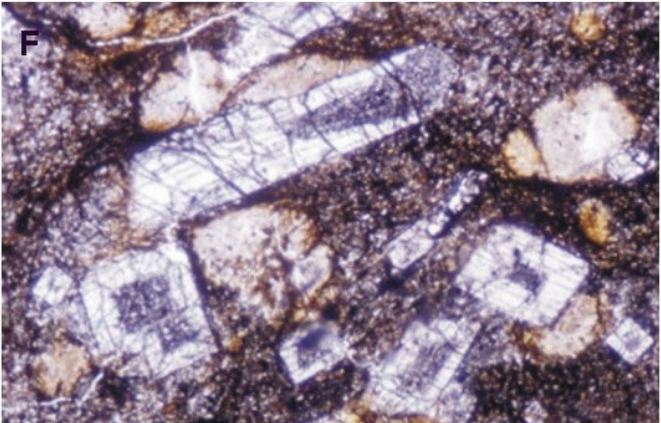
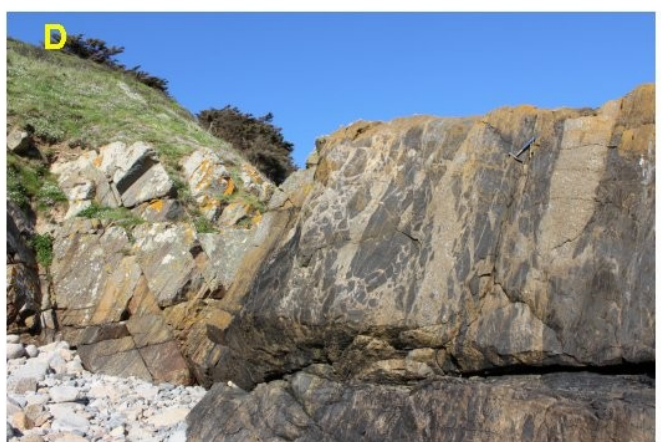
- Une auréole proximale, au contact du granite. Elle est constituée de roches plus ou moins sombres, d'aspect assez lisse et homogène et dont la stratification voire la schistosité initiales ont été en grande partie effacées : ce sont des cornéennes.
- Une auréole distale contenant majoritairement d'anciennes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

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

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 :

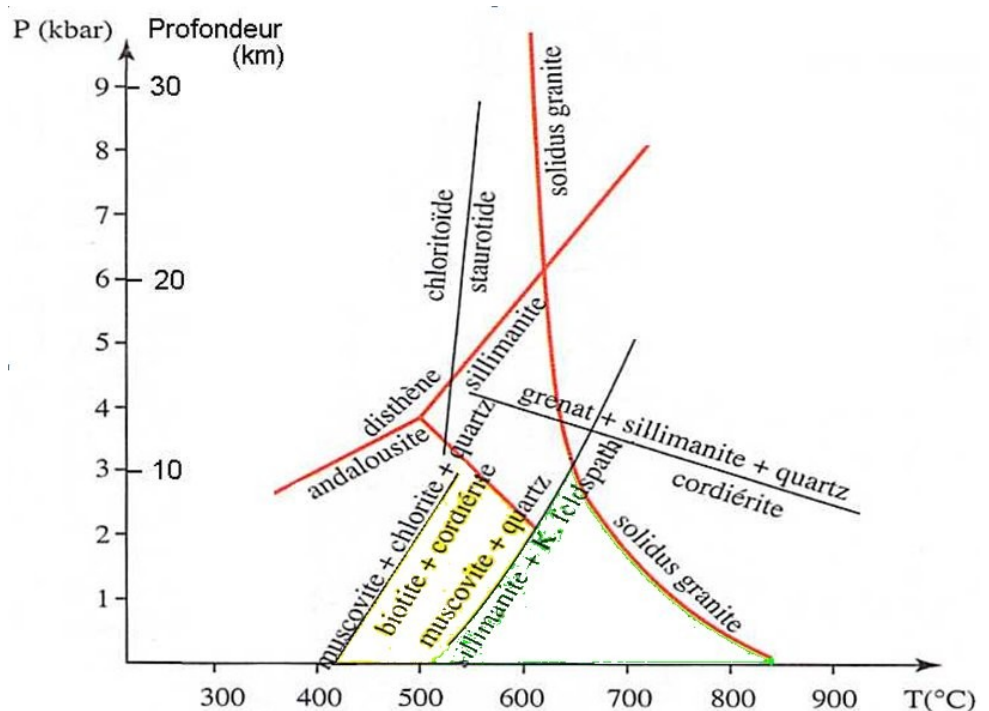
- des **cornéennes sombres** issues du **métamorphisme des schistes et grès** de l'Ordovicien (nord et sud du massif) ;
- des **cornéennes claires** issues du **métamorphisme des schistes et calcaires** de Néhou.

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.



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