

PARTIE ST-F TP MÉTAMORPHISME

Capacités exigibles du programme (les items barrés seront mis en œuvre dans le TP Alpes)

- Analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme.
- Exploiter les données des lames minces, les minéraux étant légendés.
- Exploiter des données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations.
- Identifier à l'oeil nu des roches métamorphiques : micaschistes, gneiss, métagabbros, amphibolites, éclogites, migmatites, marbres.
- Situer approximativement les limites des principaux faciès métamorphiques : schistes verts, amphibolite, granulite, schiste bleu, éclogite.
- Exploiter des données de thermométrie et barométrie chimiques.
- Utiliser une grille pétrogénétique fournie.
- Interpréter et exploiter des données montrant l'association métamorphisme – anatexie crustale.
- ~~Exploiter des documents montrant les échanges chimiques avec l'eau de mer.~~
- Analyser et exploiter une carte géologique laissée au choix permettant l'étude d'une série métamorphique.
- Exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes (i.e. ressemblant à un type de roche précis) dans une série métamorphique. Déterminer un gradient métamorphique
- ~~Exploiter des données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en termes de chemin $P, T = f(t)$;~~
- ~~Exploiter des assemblages typomorphes et des chemins $P, T = f(t)$ dans le cadre d'une histoire régionale~~

I. CARTE GÉOLOGIQUE DE FOIX : LOCALISATION ET IDENTIFICATION DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le territoire de la feuille de Foix se situe dans le département de l'Ariège et couvre les premiers contreforts des Pyrénées. Quatre grands ensembles géologiques peuvent être distingués (**Document 1a**) :

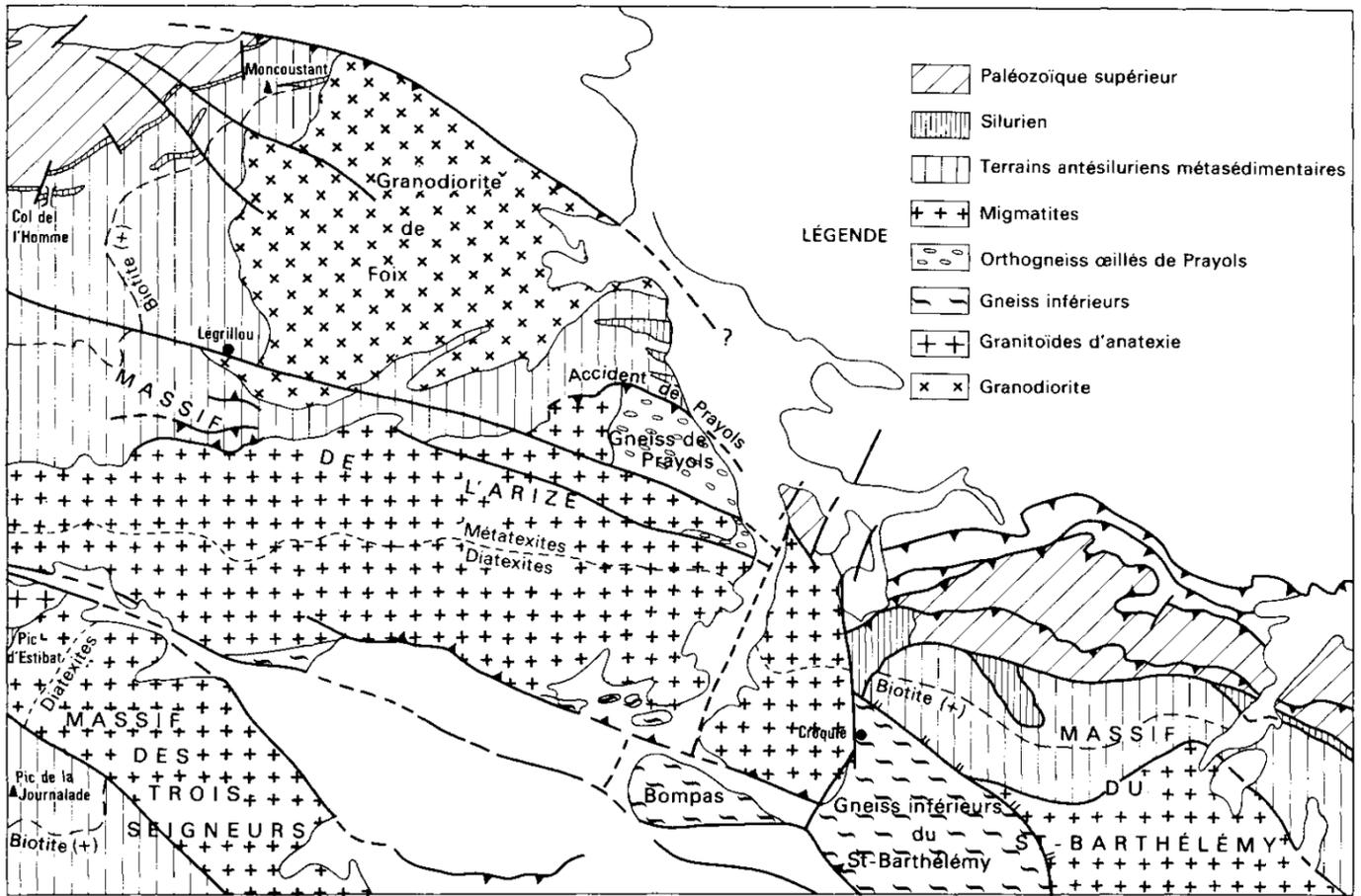
- Les massifs hercyniens de la Zone nord-pyrénéenne, qui portent les points culminants : massif des Trois-Seigneurs (1945m), massif du Saint-Barthélémy (2001m) et massif de l'Arize (1716m).
- Les dépressions intra-montagneuses nord pyrénéennes, ménagées dans les terrains mésozoïques de Tarascon, au Sud-Ouest, et de Nalzen, à l'Est. Un dispositif structural complexe, associé à l'intercalation de barres calcaires ou gréseuses leur confère généralement un aspect très accidenté et désordonné.
- Les reliefs structuraux des chaînons calcaires nord-pyrénéens du Pech de Foix et de la crête sous-pyrénéenne de Plantaurel, avec une érosion différentielle particulièrement marquée selon les orientations W-E à NW-SE culminant à une altitude comprise entre 700 et 1000 m.
- Les collines molassiques sous pyrénéennes, armées par des conglomérats, grès, argiles et calcaires de l'Eocène à dispositif structural monoclinale ; elles apparaissent à l'extrémité nord-orientale de la feuille avec un modelé de dissection fluviale.

La plus grande partie de la feuille s'inscrit dans le bassin versant de l'Ariège, rivière qui traverse le territoire du Nord au Sud et qui recoupe les chaînons du Pech de Foix dans la remarquable cluse de Foix. Ce cours d'eau reçoit divers petits affluents, d'orientation générale transverse, dont les tracés empruntent soit les bassins intra-montagneux mésozoïques, soit des dépressions dans les parties les plus sensibles à l'altération des massifs hercyniens.

1. **Situez ce territoire sur la carte géologique de France au 10⁶ et identifiez les différentes zones en utilisant le schéma structural.**
2. **Complétez le schéma structural situé sur la feuille annexe (document 1b) en faisant apparaître :**
 - Les isogrades de métamorphisme et leur signification.
 - Le métamorphisme de contact.
 - Les différents types de granitoïdes.
 - Les axes des plis principaux.

Le **tableau 1** recense les 6 principales roches présentes sur le schéma structural (**document 1b complété**) et indique les principaux minéraux susceptibles d'être rencontrés dans ces roches.

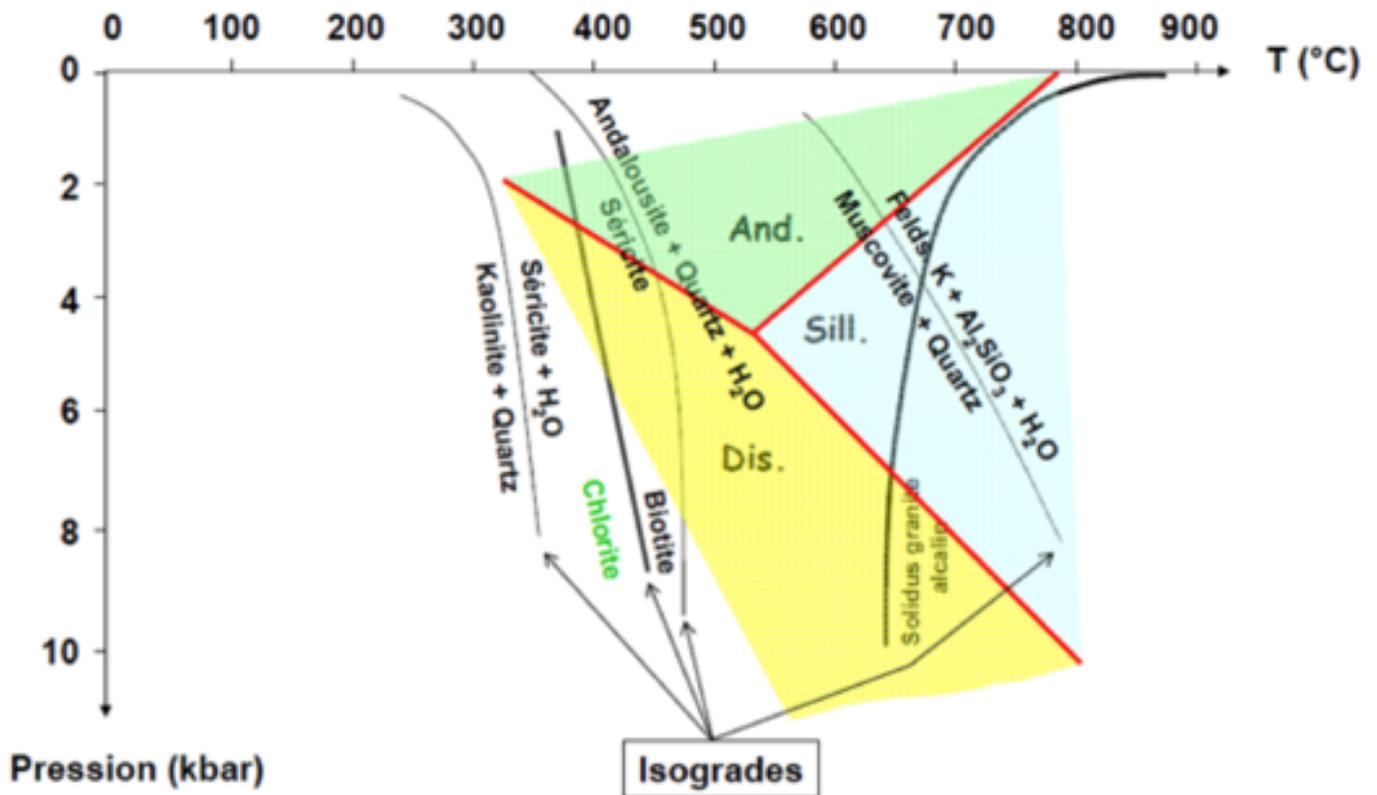
3. **En vous aidant des indications de la carte et de la notice associée, complétez le tableau 1 afin de déterminer les des 6 roches concernées. Quand cela est possible, vous noterez les structures indiquées.**
4. **En vous reportant au diagramme pétrogénétique (Document 2) ci-joint et en utilisant les paragenèses obtenues, positionnez les 6 roches étudiées. On précise qu'il n'y a pas de disthène dans la région.**
5. **L'isograde 3 (Feldspath potassique +, muscovite –) correspond au passage à des roches appelées migmatites (M²). En quoi cette donnée contraint-elle leur position dans le diagramme pétrogénétique ?**
6. **Reconstituez le gradient de métamorphisme correspondant et calculez sa valeur.**
7. **Concluez sur les conditions du métamorphisme régional et de l'anatexie et le contexte géologique vraisemblable pour obtenir ce type de roches.**



Document 1a : schéma structural de l'ensemble de la carte de Foix au 1/50000

| Zones métamorphiques et roches | Z _{se-ch} | Z _{Mu-Bi} | Z _{Bi-And} | M Z _{si-or} | | γ^{2M} |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|---------------|
| | KoS ¹⁻² | KO ξ^{b12} | KO ξ^{and1-2} | M ² | M ¹ | |
| quartz | | | | | | |
| chlorite | | | | | | |
| séricite | | | | | | |
| plagioclases | | | | | | |
| biotite | | | | | | |
| muscovite | | | | | | |
| grenats | | | | | | |
| andalousite | | | | | | |
| cordiérite | | | | | | |
| orthose | | | | | | |
| Sillimanite | | | | | | |
| Structures observées | | | | | | |

Tableau 1 (à compléter) : Roches rencontrées dans la zone du schéma strutral (Document 1b)



Document 2 (à compléter) : Diagramme pétrogénétique

II. IDENTIFICATION MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUE DES ROCHES

En vous aidant du document 3 (clé de détermination et tableau) et du texte ci-dessous, identifiez les roches observées.

1. Les roches métamorphiques de la zone étudiée mais pas que !

Cornéenne : Roche très dure, à cassure et patine d'aspect corné et à cristaux fortement engrénés. Elle résulte d'un métamorphisme au contact de granitoïdes. Selon la roche initiale, on obtient des cornéennes variées.

Schiste vert : C'est une roche à schistosité bien marquée et de ce fait, bien clivable en fins feuillets. Les phyllosilicates y sont abondants et en particulier les chlorites, séricites (cf stage de terrain à Força réal). Absent dans la zone étudiée ici.

Schiste tacheté : Comme précédemment, schistosité bien marquée, présentant des minéraux épars (andalousite) donnant un aspect tacheté.

Marbre : Roche métamorphique qui dérive d'un calcaire ou d'une dolomie. Un calcaire pur se transforme en marbre blanc à grands cristaux engrénés de calcite. Calcaires et dolomies impurs donnent des marbres variés et colorés, souvent veinés. Les veines correspondent à d'anciens lits argileux ou riches en oxydes métalliques qui dessinent des plis synmétamorphiques.

Micaschiste à biotite : C'est une roche à **schistosité** bien marquée et de ce fait, bien clivable en fins feuillets. Les micas y sont abondants, d'où leur nom. Ils peuvent contenir d'autres minéraux comme les grenats. Pas ou peu de feldspath.

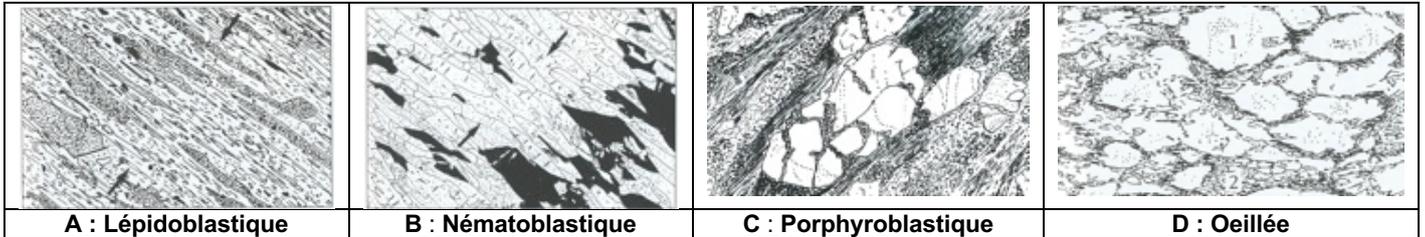
Paragneiss : Ce sont des roches peu clivables, car les feuillets sont plus grossiers, et constitués d'une alternance de niveaux sombres de nature micacée et de niveaux clairs quartzeux et feldspathiques. On parle ici de **foliation**. Le préfixe **para** indique qu'elle protolithe était une roche sédimentaire.

Orthogneiss : Le préfixe **ortho** indique que le protolithe est d'origine magmatique. La roche diffère de la précédente par la présence de nodule quarto-feldspathique ou « œil » d'où le terme de gneiss oeilé parfois. Présence éventuelle de sillimanite fibreuse de couleur gris violacé et de cordiérite (vert bouteille souvent) et de grenat.

Migmatite : Roche à la limite des roches métamorphiques catazonales et des roches magmatiques. La genèse des migmatites est due à un phénomène de fusion partielle : certaines parties de la roche fondent, donnant un magma de composition granitique (appelé mobilisat), alors que d'autres, enrichies en minéraux réfractaires (ferromagnésiens), restent solides (= restite). En réalité, les migmatites s'identifient mieux à l'échelle de l'affleurement, et se reconnaissent par l'association d'un composant granitique et d'un composant gneissique.

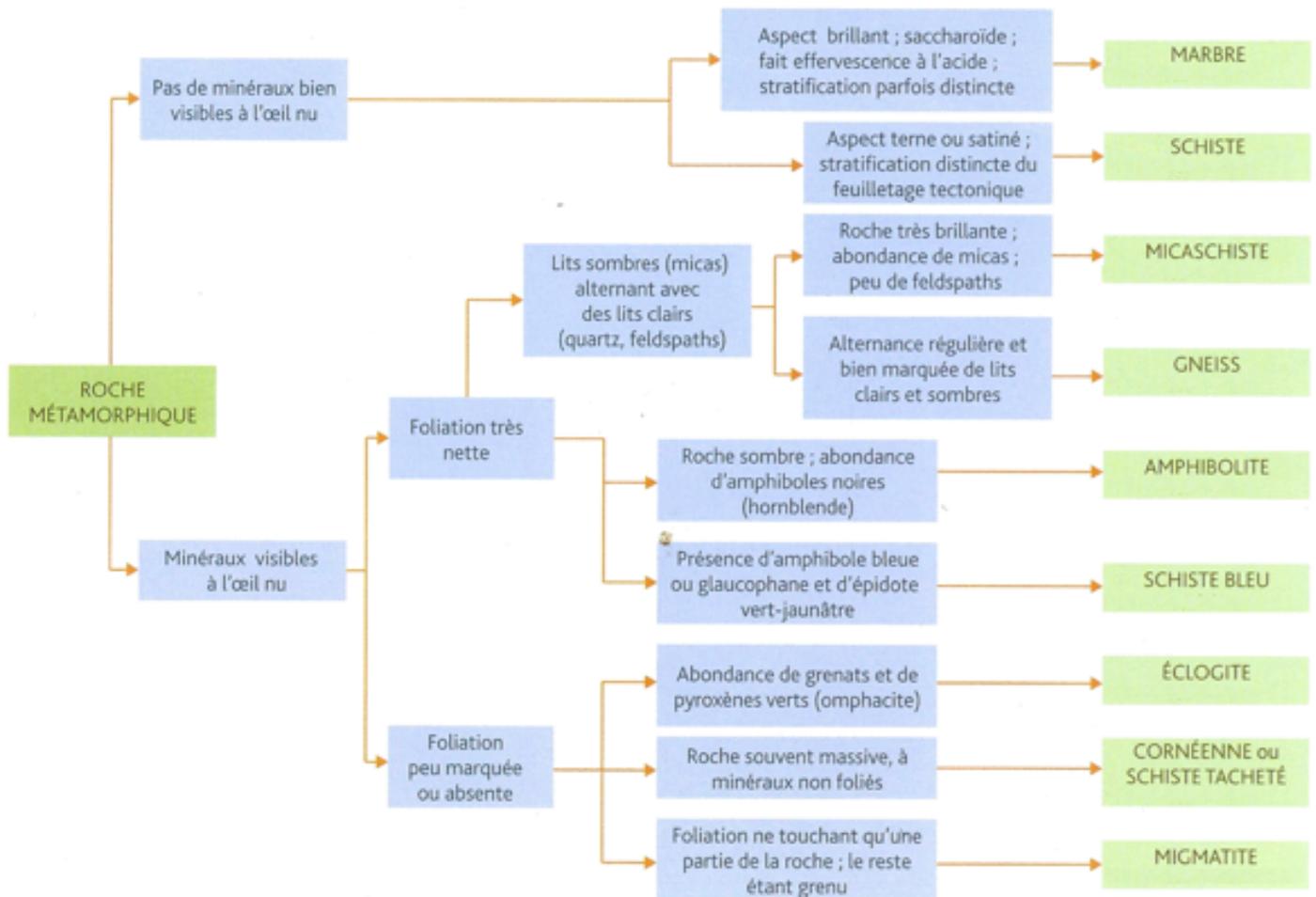
2. Texture de quelques roches métamorphiques

- **Les roches sans orientations minéralogiques préférentielles : textures granoblastiques isogranulaire** (minéraux xénomorphes et de même taille) ou **hétérogranulaire** (minéraux de tailles différentes).
- **Les roches dont la texture est contrôlée par l'habitus (la forme) des minéraux la constituant.**
 - **Lépidoblastique (A)** : Les minéraux dominants sont en feuillets ou lamelles (type micas) et plus ou moins orientés.
 - **Nématoblastique (B)** : Les minéraux dominants sont en aiguilles ou en prismes allongés (forme aciculaire typique des amphiboles) déterminant une linéation minérale.
 - **Porphyroblastique (C)** : La roche contient de nombreux porphyroblastes dans une matrice plus fine.
 - **Oeillée (D)** : Minéraux sphériques et étirés englobés dans une matrice fine foliée.



Remarque 1 : Ces termes, un peu anciens, ne sont pas exigés par le programme de BCPST. Ils peuvent toutefois vous être demandés lors des oraux ENS ou G2E, ce qui explique leur présentation.

Remarque 2 : Revoyez votre cours et votre TP sur la déformation car certaines dispositions entre minéraux ont été vues (notion de schistosité et de foliation, figures C/S, minéraux anté, syn et post-cinématiques...)



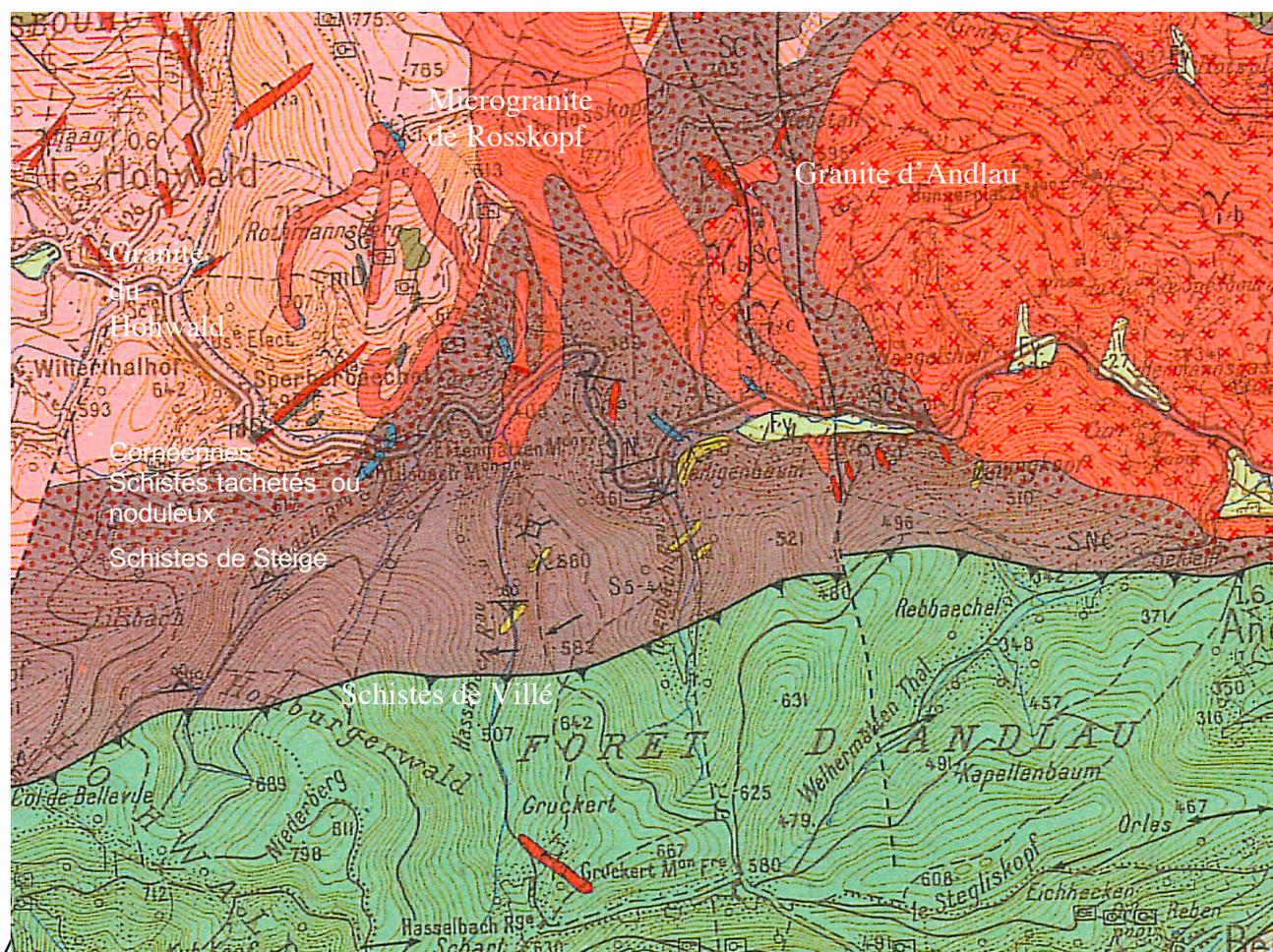
Document 3a : Clé de détermination des roches métamorphiques à partir d'un examen macroscopique (in JF. Beaux & al, Atlas de géologie et pétrologie, Dunod, 2015)

| Critères utilisés Roches décrites | Couleur Densité Dureté* | Minéraux visibles | Structure | Déformations visibles |
|---------------------------------------|---|---|-------------------------------|--|
| Cornéenne | Grise rayable par le fer. Aspect homogène | Généralement non Andalousite parfois | Granoblastique à grain fin | Généralement non |
| Schiste tacheté à andalousite. | Gris sombre, rayable par le fer | Andalousite (chiastolite rare, damouritisée souvent), biotite | Lépidoblastique | Schistosité nette. |
| Marbre | Claire, rayable par le fer | Non | Granoblastique à grain fin | Diaclases parfois |
| Schiste vert | Vert plus ou moins foncé, rayable à l'ongle | Non | Lépidoblastique | Schistosité très marquée |
| Micaschiste à biotite | Gris à marron par le fer | Biotite et muscovite donnent un aspect brillant | Lépidoblastique | Schistosité, microplis |
| Gneiss oillé | Gris, peu ou non rayable par le fer | Quartz, Feldspath, micas | Granolépidoblastique | Foliation, Ombres de pression, figures C/S |
| Gneiss à sillimanite | Gris, peu ou non rayable par le fer | Quartz, Feldspath, micas, sillimanite (baguettes) | Granolépidoblastique | Foliation, Ombres de pression, figures C/S |
| Migmatite | Gris plus ou moins foncé, peu ou non rayable par le fer | Quartz, feldspath, biotites | Paléosome et néosome | Foliation, structure fluidale irrégulière |

Document 3b : critères d'identification de quelques roches métamorphiques

III. LE MÉTAMORPHISME DE CONTACT : EXEMPLE DE LA SÉRIE DU HOWALD

Les affleurements sont situés sur le versant alsacien des Vosges. Dans la région du Hohwald, la rivière Andlau a incisé profondément le socle vosgien magmatique et métamorphique. Au nord, se trouve le massif de granite du Hohwald mis en place à la limite entre le Dévonien et le Carbonifère.



Document 1 : Extrait de la carte de Sélestat au 1/50 000 (BRGM)

1. *Situez cet extrait de carte sur la carte au millionième de la France.*

Les images ci-dessous montrent les roches à l’affleurement et le tableau 1 indique leur composition normative.



Le schiste de Steige = pélite argilo-quartzreuse rouge (quartz, muscovite, minéraux argileux, hématite) = roche présentant des **niveaux gréseux clairs, riches en quartz, et des niveaux argileux sombres, riches en silicium et aluminium**



Le schiste tacheté = roche constituée essentiellement de microcristaux de **micas blancs**, de cristaux de couleur noir pluri millimétriques correspondant de la **cordiérite et d'andalousite**. Les petits minéraux noirs sont composés de **magnétite**



La cornéenne = roche entièrement recristallisée, très dure et compacte, évoquant la corne, composée de **micas blanc et noir, quartz, cordiérite, andalousite et magnétite** fortement enchevêtrés.



Le granite de Hohwald = roche grenue, à **plagioclases, orthose, quartz, biotite et hornblende**. C'est donc une **granodiorite** (plus riche en plagioclases et pauvre en quartz par rapport à un granite)

Document 2 : Photographies des roches à l’affleurement

| | Schistes de Steige | Schistes noduleux | Cornéennes | Granite |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|------------|---------|
| SiO ₂ | 57,3 | 57,9 | 58,8 | 68,5 |
| Al ₂ O ₃ | 25,3 | 25,3 | 24,4 | 15,4 |
| Fe ₂ O ₃ + FeO | 7,7 | 8,3 | 7,9 | 3 |
| CaO | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 2,8 |
| MgO | 0,7 | 1,1 | 1,7 | 1,3 |
| K ₂ O | 2,6 | 1,6 | 2,5 | 4,2 |
| Na ₂ O | 1,3 | 1,6 | 1,0 | 3,5 |
| H ₂ O | 4 | 3,3 | 2,8 | 1,3 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tableau 1 : Composition élémentaire en pourcentage d’oxydes des roches

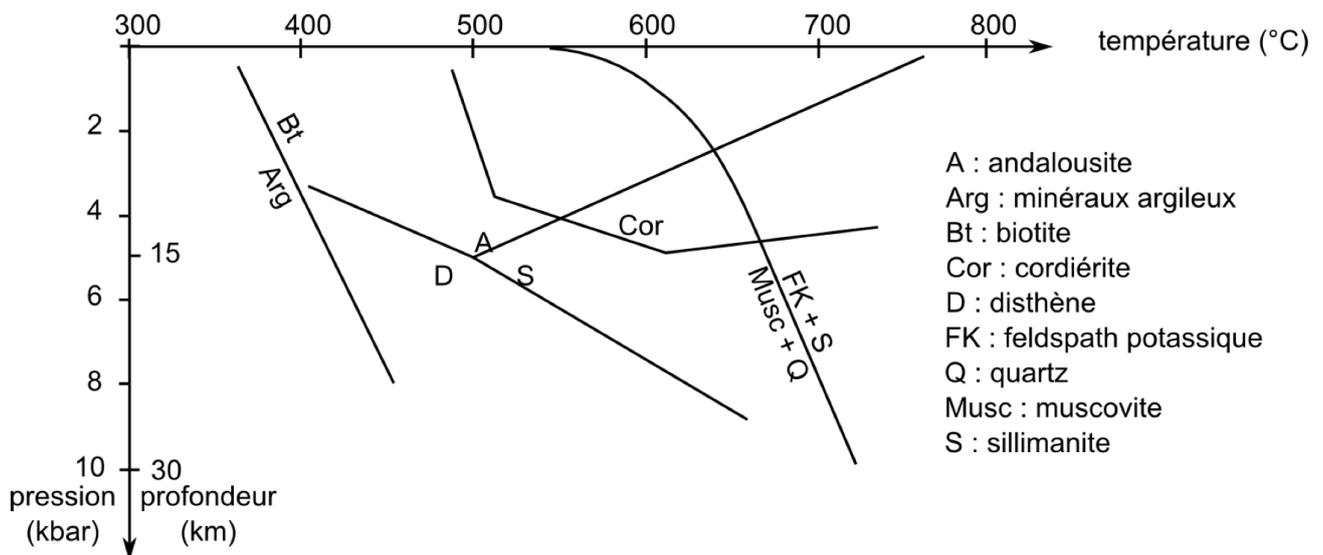
2. *A partir de l’analyse des roches échantillonnées et de leurs compositions chimiques, déterminez quel est le protolithe et explicitez les transformations métamorphiques des roches concernées.*

Le **tableau 2** indique les associations minéralogiques des schistes et de la cornéenne

| | Schistes de Steige | Schistes noduleux | Cornéennes |
|--|--------------------|-------------------|------------|
| quartz | + | + | + |
| argiles | + | - | - |
| biotite | - | + | + |
| muscovite | + | + | + |
| cordiérite* | - | + | + |
| andalousite* | - | + | + |
| hématite Fe ₂ O ₃ | + | - | - |
| magnétite Fe ₃ O ₄ | - | + | + |

Tableau 2 : Association minéralogiques (+ : minéral présent ; - : minéral absent)

- Analysez les associations minéralogiques de la série du Hohwald. Déterminez quels sont les minéraux index de la série du Hohwald.
- À l'aide du diagramme pétrogénétique ci-dessous, déterminez les conditions de pression et de température dans lesquelles la roche a été portée.



Document 3 : Diagramme pétrogénétique à compléter

- Proposez une chronologie relative des événements qui se sont succédés dans cette région entre le Hohwald et Andlau et indiquez les causes probables des transformations.
- Placez dans cette chronologie le métamorphisme de contact en lien avec la mise en place du granite intrusif d'Andlau. Des cornéennes à sillimanite borde le granite d'Andlau.
- Réalisez un schéma structural de l'extrait de carte proposé (document 1) en positionnant notamment l'isograde cordiérite + de la série du Hohwald et en intégrant l'ensemble des observations.