

## Un exemple de métamorphisme régional : le massif de l'Arize (Ariège)

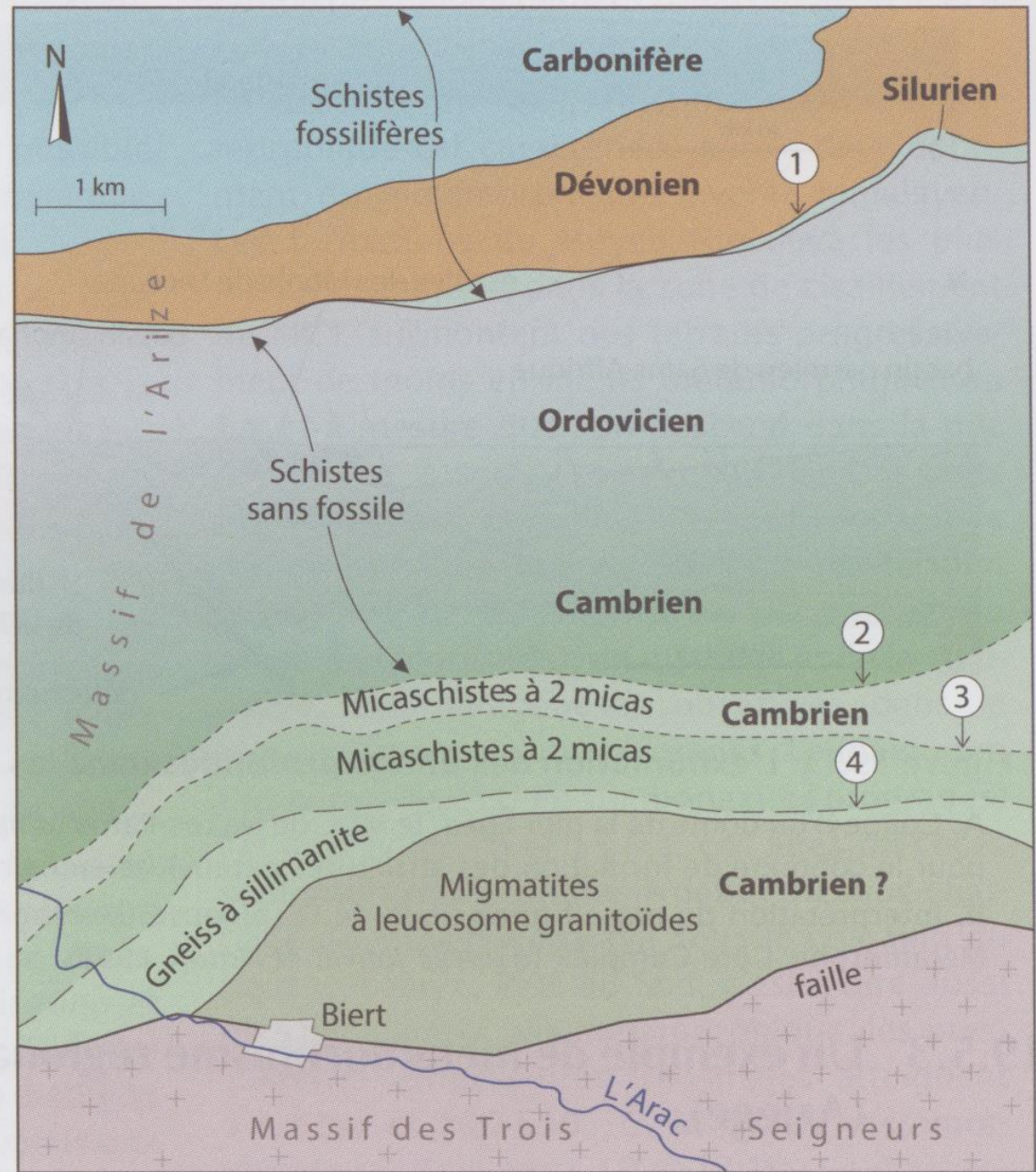
Ce massif, situé sur la carte de Saint-Girons (1/50 000), appartient à la zone structurale nord-pyrénéenne ; un contact tectonique le sépare au sud du massif des Trois-Seigneurs (*fig. 19.13*). Il est principalement constitué d'une série d'âge paléozoïque (allant du Cambrien au sud au Carbonifère au nord). Au nord, la série du Silurien au Carbonifère correspond à des roches sédimentaires peu ou pas transformées, il s'agit principalement de schistes riches en matière organique et de calcaires qui présentent fréquemment des fossiles (Graptolites, Tribolites, Brachiopodes, Polypiers). Cependant, dans les roches de l'assise la plus au sud (Silurien), on observe le développement de minéraux nouveaux : la séricite, la chlorite, qui donnent aux roches un aspect soyeux, et la muscovite. Nous sommes entrés dans le domaine du métamorphisme.

On trouve ensuite un complexe schisto-gréseux, à intercalations de bancs calcaires ; d'âge cambro-ordovicien, il est caractérisé par la paragenèse minérale précédente (séricite, chlorite, muscovite) et par la disparition des restes fossilifères. Plus au sud, la structure des roches change de façon importante ; elles sont formées de lits de nature minéralogique différente, alternativement clairs

On trouve ensuite un complexe schisto-gréseux, à intercalations de bancs calcaires ; d'âge cambro-ordovicien, il est caractérisé par la paragenèse minérale précédente (séricite, chlorite, muscovite) et par la disparition des restes fossilifères. Plus au sud, la structure des roches change de façon importante ; elles sont formées de lits de nature minéralogique différente, alternativement clairs (quartz) et sombres (ferro-magnésiens). Elles présentent alors une schistosité très développée ; ce sont des micaschistes à 2 micas caractérisés par l'apparition d'un minéral nouveau la biotite. Au-delà, les micaschistes s'enrichissent en un nouveau minéral, l'andalousite associée parfois à la cordiérite. Ensuite les feldspaths qui n'étaient que microscopiques dans les roches précédentes se développent et deviennent visibles à l'œil nu. De nombreux changements minéralogiques sont concomitants : disparition de la muscovite et de l'andalousite, apparition de la sillimanite et du feldspath potassique (microcline). Jusqu'aux micaschistes compris, les changements observés ne correspondent qu'à de simples réarrangements minéralogiques ; dans les micaschistes de haut grade, l'apparition du microcline correspond à un début d'anatexie (fusion partielle), cette zone à sillimanite comporte donc des migmatites constituées par un *paléosome* de roches à sillimanite (les restites) et par *un leucosome granitoïde*. L'anatexie se généralisant, on passe ensuite à des migmatites beaucoup plus homogènes, proches des granites d'anatexie, où le paléosome est réduit à des enclaves surmicacées.

**Figure 19.13** Le métamorphisme régional du massif de l'Arize (Ariège). Schéma de la carte de Saint-Girons au 1/50 000.

1 : isograde séricite +, chlorite +, muscovite + ; 2 : isograde biotite + ; 3 : isograde andalousite + ; 4 : isograde muscovite -, andalousite -, sillimanite + et feldspath potassique (microcline) +. Le figuré du Massif des Trois Seigneurs ne préjuge pas de sa nature géologique qui est complexe (terrains métasédimentaires et granites paléozoïques).



### III. 2 - métamorphisme de contact

Le métamorphisme de contact, se localise au contact des roches magmatiques, il affecte les terrains traversés par l'intrusion magmatique ainsi que des enclaves. Lié au gradient géothermique et à la durée de l'élévation de température, il est appelé **métamorphisme thermique**, ou **thermométamorphisme**.

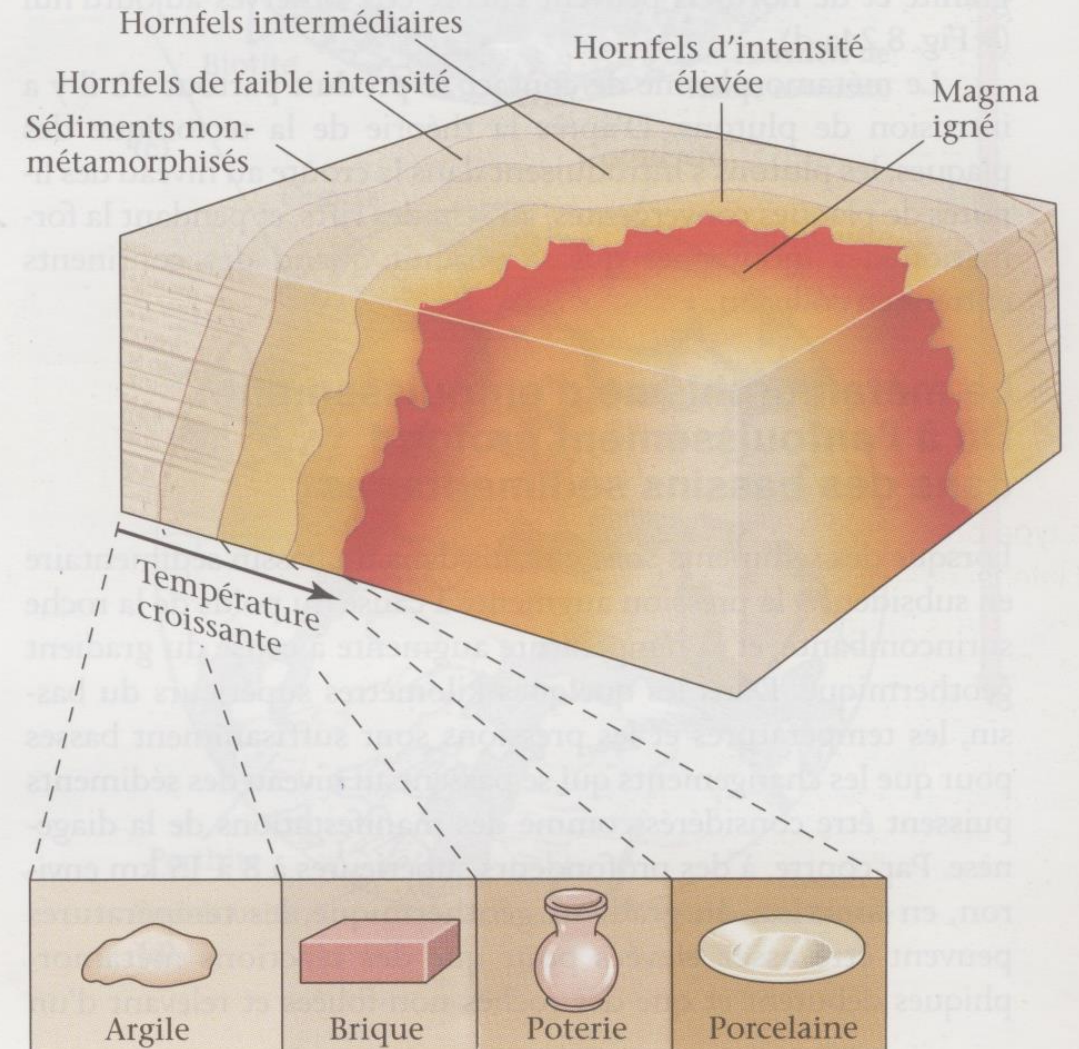
La zone métamorphisée dessine une **auréole de métamorphisme de contact** autour de l'intrusion (cornéennes, skarns, etc.)

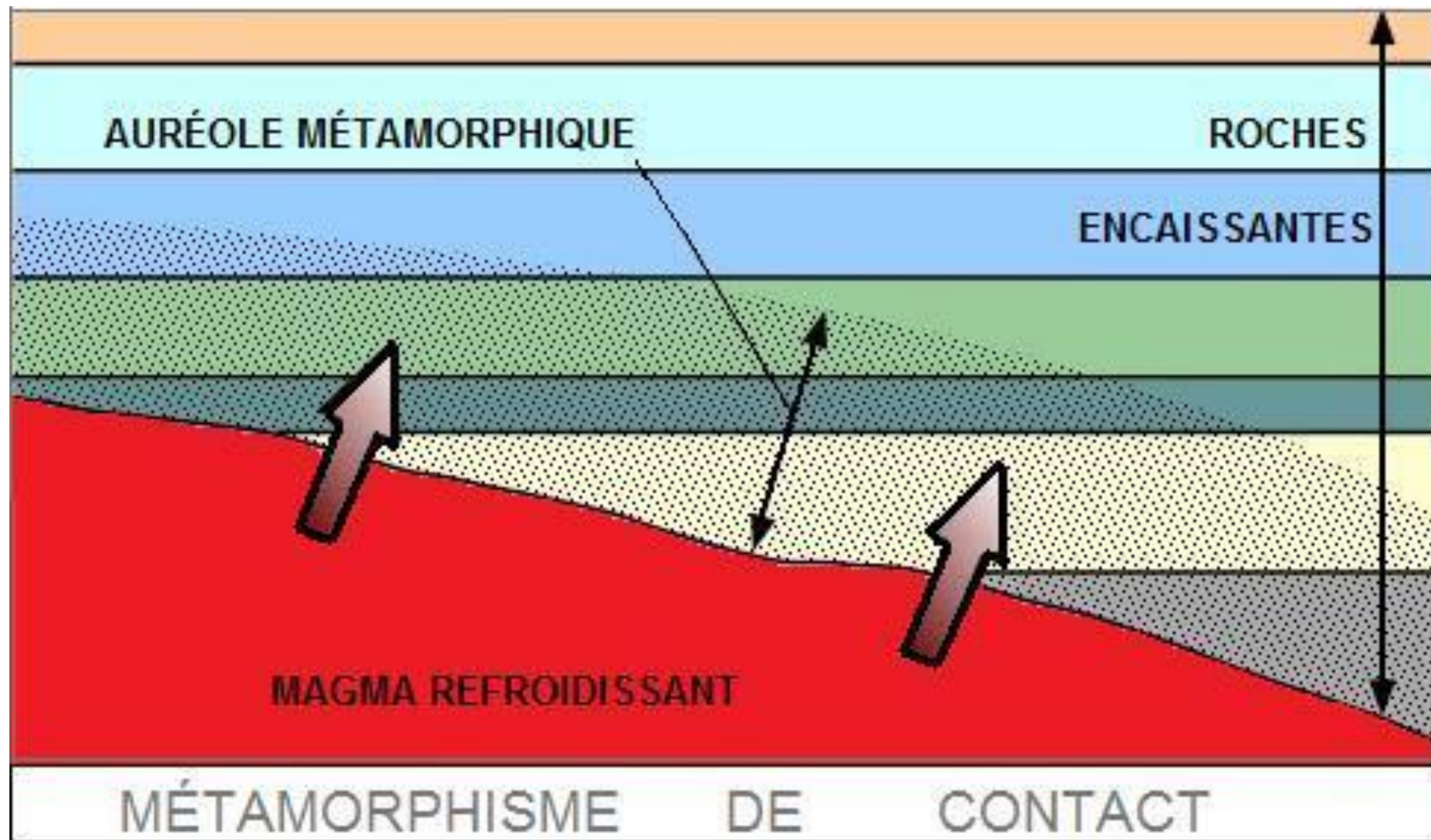
# EXPLICATION

## Métamorphisme thermique ou métamorphisme de contact : Échauffement dû à une intrusion magmatique

Imaginez du magma chaud qui remonte depuis les profondeurs de la Terre jusqu'à la surface terrestre et qui s'introduit dans la roche plus froide de l'encaissant à faible profondeur. La chaleur est transférée du magma vers la roche encaissante, étant donné que la chaleur est toujours transférée des matériaux plus chauds vers les matériaux plus froids. De ce fait, le magma refroidit et solidifie alors que la roche encaissante s'échauffe. De plus, des fluides hydrothermaux circulent à travers l'intrusion et la roche encaissante. À cause de la chaleur et des fluides hydrothermaux, la roche encaissante subit le métamorphisme. Les roches qui présentent le métamorphisme d'intensité la plus élevée se forment immédiatement à proximité du pluton, là où les températures sont les plus élevées. Quant aux roches qui présentent un métamorphisme d'intensité de plus en plus faible, on les trouve en s'éloignant progressivement du pluton. La ceinture distincte de roche métamorphique qui se forme autour d'une intrusion magmatique est appelée **auréole métamorphique** ou auréole de contact (► Fig. 8.23). La largeur de cette auréole dépend de la taille et de la forme de l'intrusion, mais aussi de l'ampleur de la circulation hydrothermique : de plus grandes intrusions créent de plus larges auréoles.

**FIGURE 8.23** Au sein d'une auréole métamorphique bordant une intrusion magmatique, des roches qui ont subi un métamorphisme thermique de la plus haute intensité bordent directement l'intrusion. L'intensité décroît lorsque l'on s'éloigne du pluton. Cette gradation est similaire à celle qui existe depuis l'argile jusqu'à la porcelaine en passant par la poterie, qui est obtenue en cuisant l'argile dans un four.



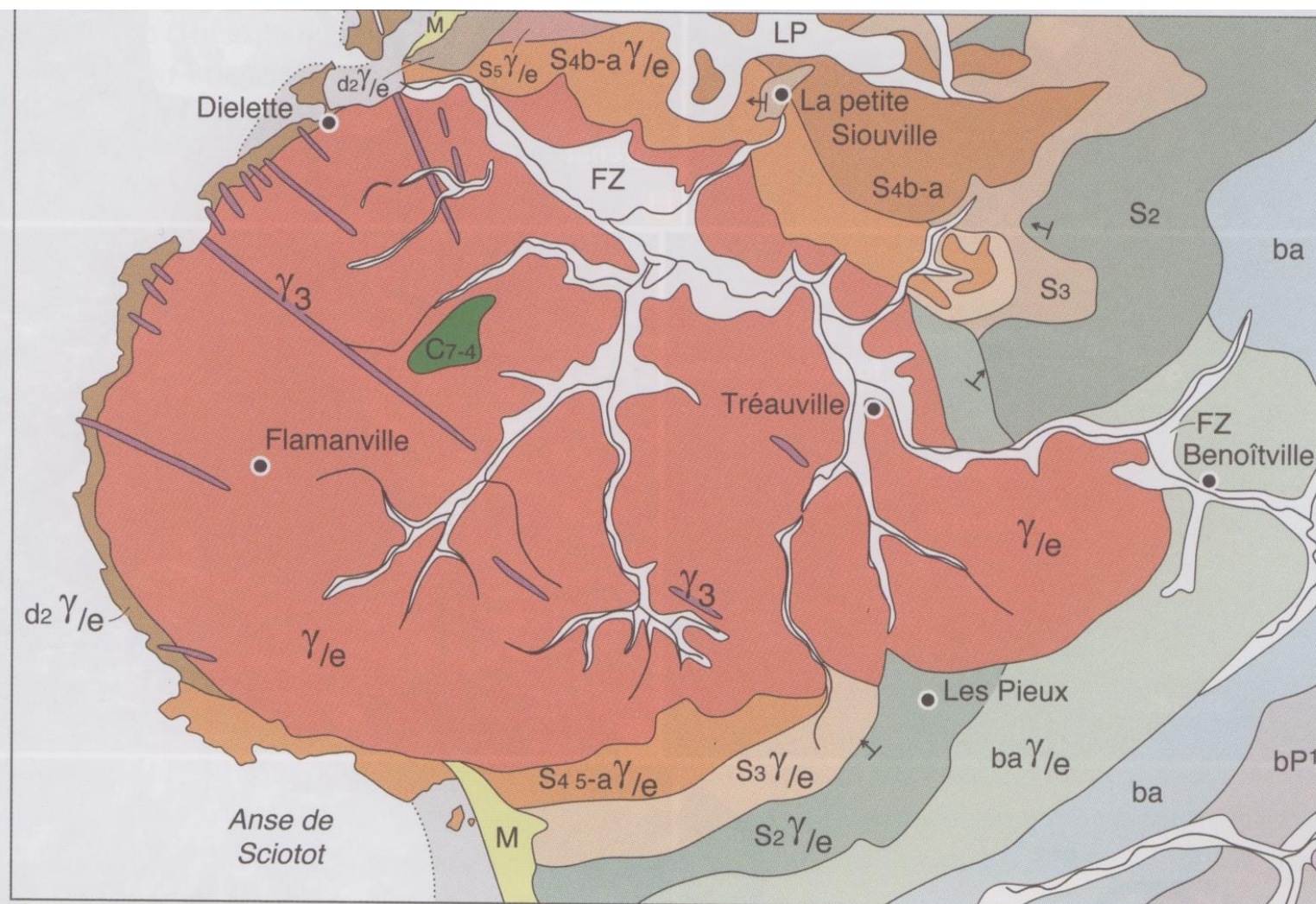


## Un exemple de métamorphisme de contact : l'auréole du granite de Flamanville (Manche, France)

Sur la côte ouest du Cotentin (*fig. 19.14*), le granite de Flamanville (granite à amphibole) est intrusif dans une série sédimentaire plissée constituée de schistes et de calcaires (Silurien et Dévonien). Au contact du granite, sur environ 150 à 200 m, les roches sédimentaires sont affectées de modifications texturales et minéralogiques (auréole de métamorphisme). La nature et l'importance de ces transformations dépendent de deux facteurs : la distance par rapport au granite et la nature de la roche sédimentaire originelle.

Ainsi à partir d'une couche schisteuse, en se rapprochant du granite, on observe la transition suivante :

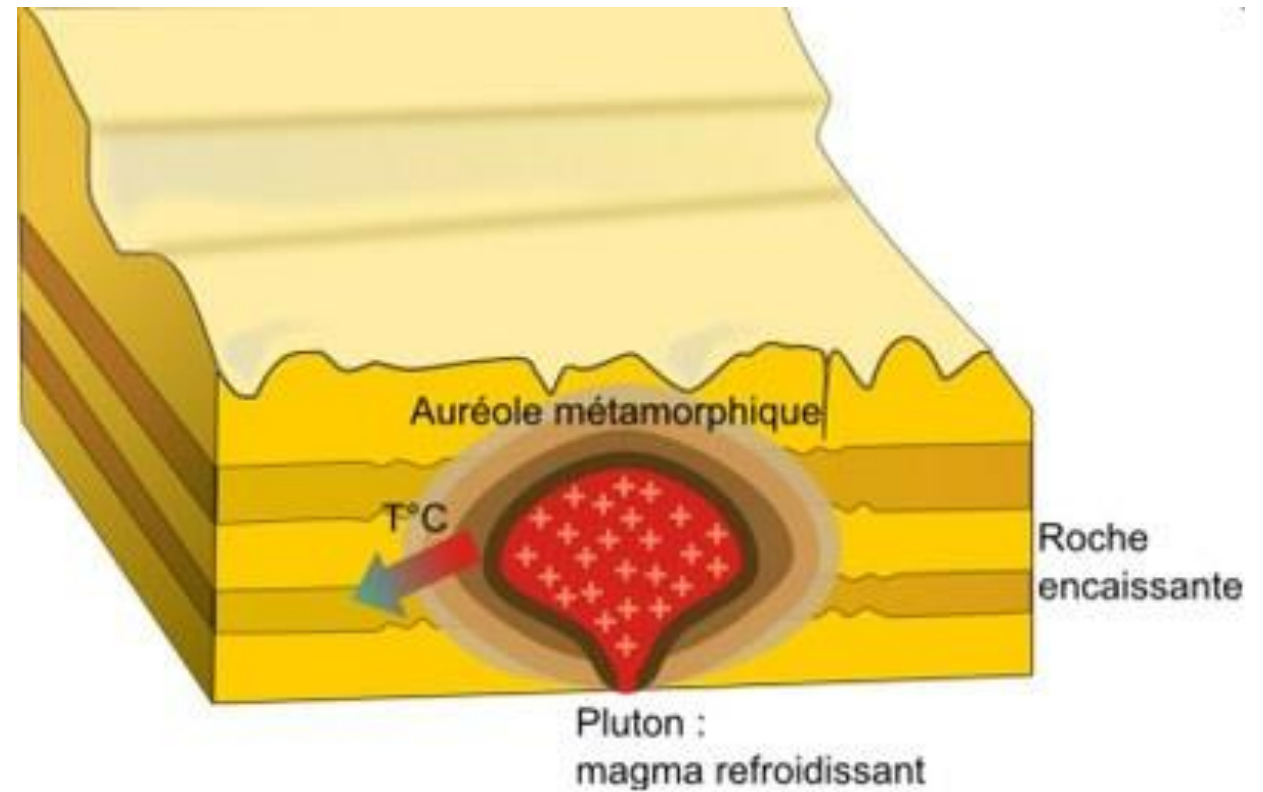
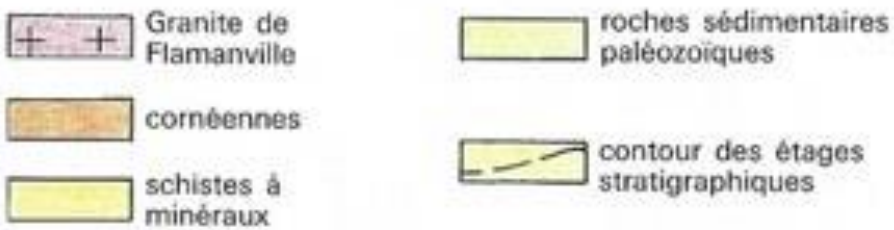
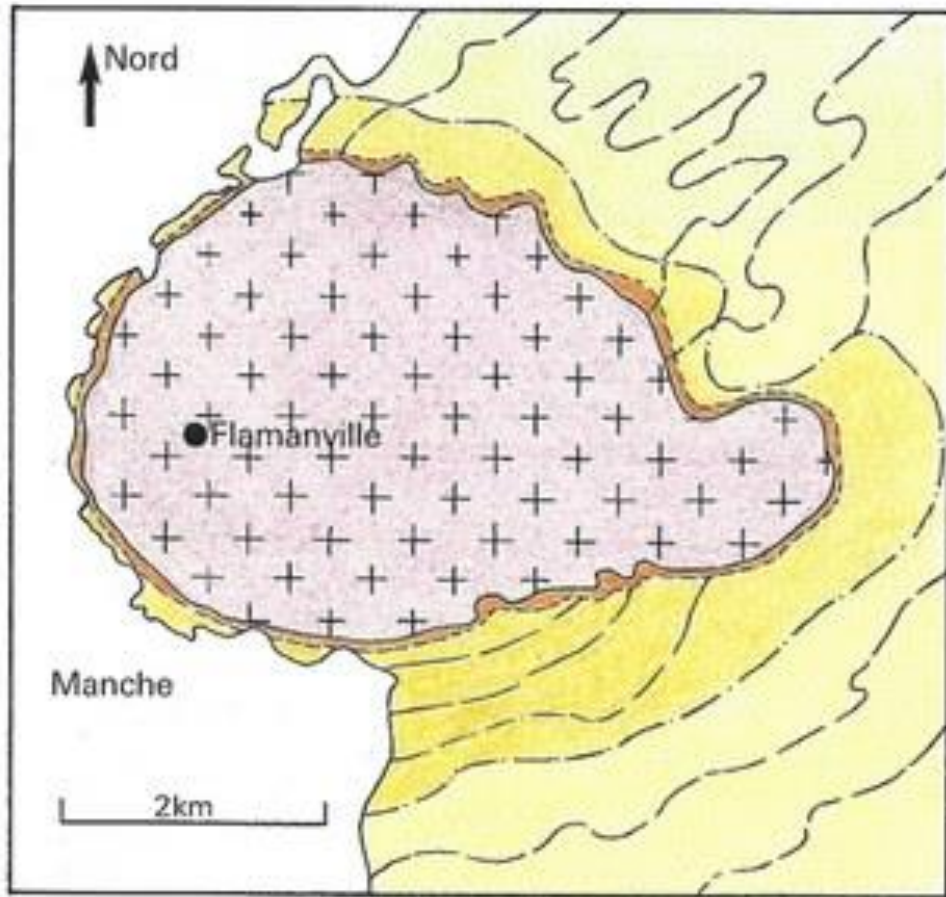
- schistes à texture finement orientée (roche sédimentaire non transformée) ;
- schistes tachetés (les taches correspondant à des petits nodules d'un minéral nouveau : la cordiérite) ;
- schistes noduleux et micacés : la roche perd alors sa texture orientée régulière et il y a développement de micas et d'andalousite ;
- enfin, à proximité du contact, on passe à des roches dures, massives, à grains fins, isotropes (les minéraux de cordiérite et d'andalousite sont dispersés dans toute la masse, il n'y a pas d'orientation préférentielle). On les nomme *cornéennes* car leur aspect rappelle celui de la corne.



**Figure 19.14** Le granite de Flamanville. Schéma de la carte de Cherbourg 1/50 000).

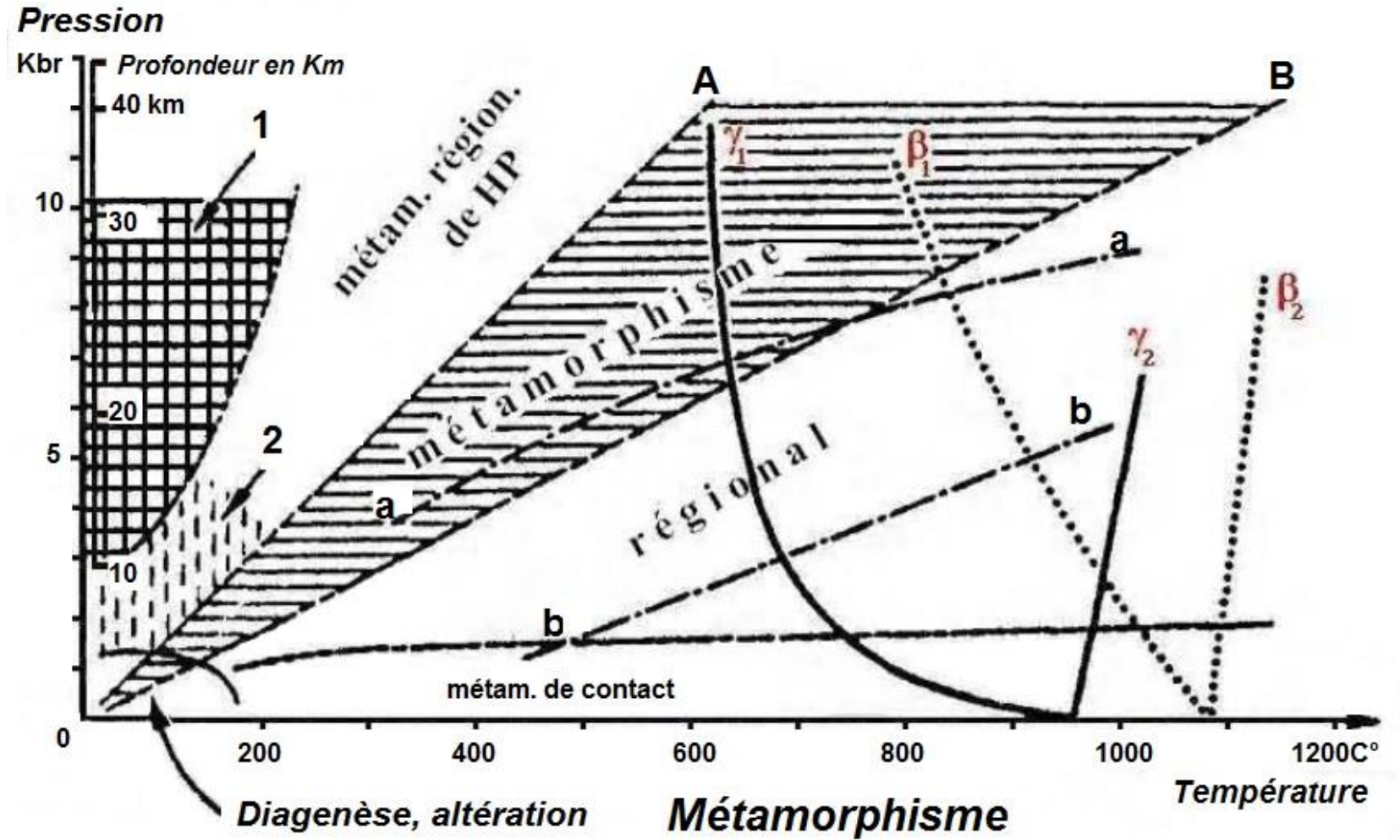
γ/e : granite de Flamanville ; ba : schistes et grès (Cambrien) ; S2 : grès armoricain (Ordovicien inférieur) ; S3 : schistes (Ordovicien moyen) ; S4 b-a : schistes et grès (Ordovicien supérieur) ; S5 : schistes et grès du Silurien ; d2 : calcaires et schistes du Dévonien. L'auréole de métamorphisme de contact est représentée par un figuré de tiretés horizontaux en surcharge et par l'association du sigle γ/e à celui du terrain (S2 γ/e = S2 métamorphisé). On notera, notamment au nord du massif, que l'étendue de l'auréole est beaucoup plus réduite dans les grès (S2) que dans les formations schisteuses.





**Fig.3 -métamorphisme de contact**

**Conclusion:**  
**Types de métamorphismes**



TYPES DE METAMORPHISMES - 1: conditions non réalisées dans la nature; 2 : métamorphisme dynamique. Dans le métamorphisme régional, la zone hachurée entre A et B correspond à un gradient géothermique normal; les courbes aa et bb limitent approximativement de haut en bas les zones de métamorphisme dites de haute pression (HP), de pression intermédiaire et de basse pression (BP).

$\gamma_1$ : début de la fusion (solidus), en allant vers la droite du diagramme, du granite en présence de vapeur d'eau saturante.

$\gamma_2$ : début de la fusion du granite en l'absence de vapeur d'eau.  $\beta_1$  et  $\beta_2$  Courbes équivalentes pour le basalte

La classification et la nomenclature des roches métamorphiques sont complexes car interviennent les caractéristiques des roches originelles et celles du métamorphisme.

Ce dernier présente différents **degrés**, définis par les conditions de T et P, et caractérisés par des **faciès minéraux**, avec apparition et disparition de certains minéraux.

Les principales distinctions ainsi faites sont les suivantes :

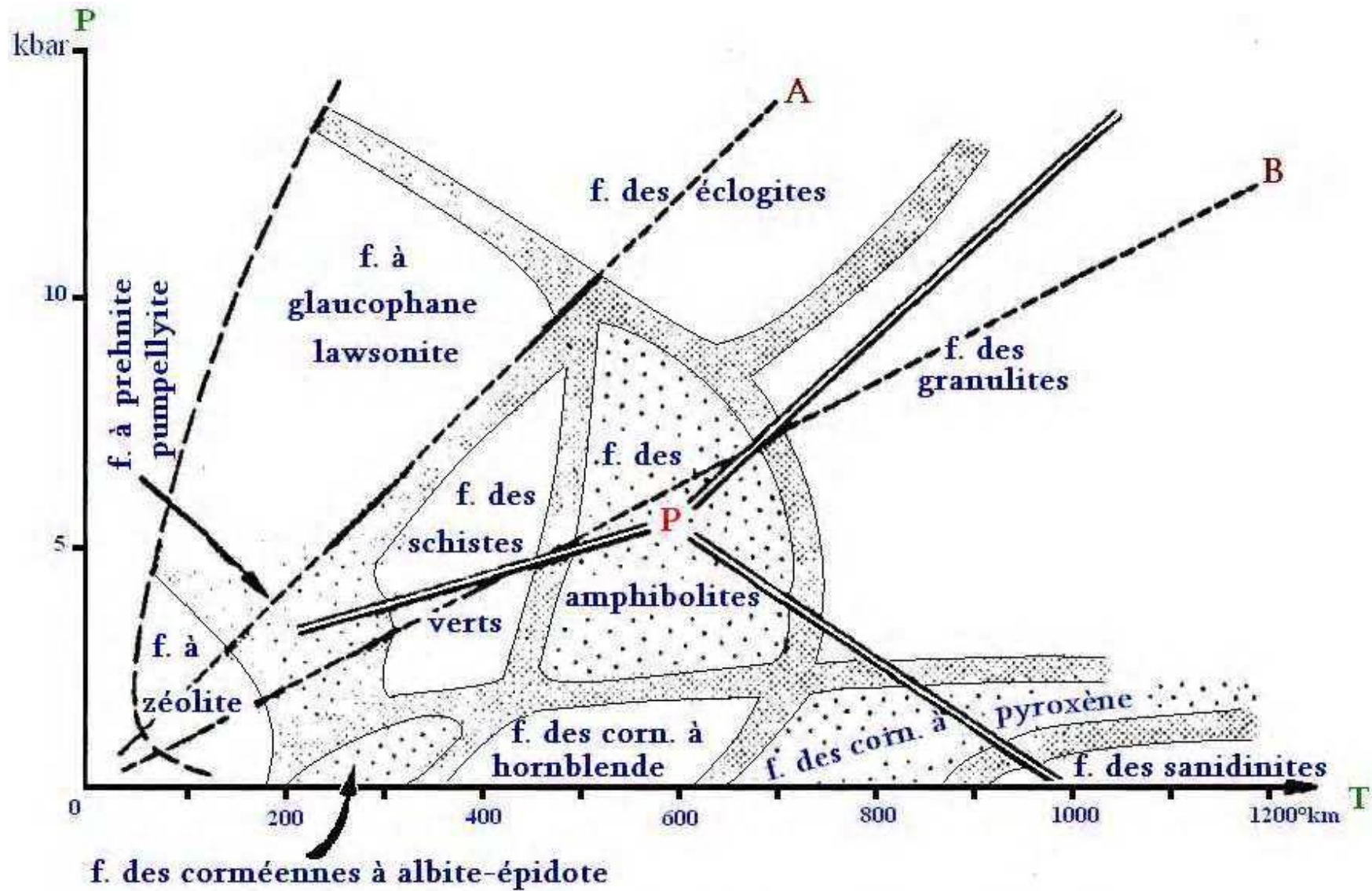
- 1. **Selon les faciès minéraux**
- 2. **Selon les zones et les isogrades du métamorphisme**
- 3. **Selon les séquences métamorphiques**

**-1. Selon les faciès minéraux :** un faciès minéral est défini par l'association de certains minéraux (la paragenèse) caractérisant le chimisme d'une roche et le degré de métamorphisme qu'elle a subi.

L'étude expérimentale a permis de délimiter plus ou moins bien les champs de T et P où un minéral est stable, et de déterminer, lorsque T et/ou P varient, les réactions chimiques, avec apparition de nouveaux minéraux.

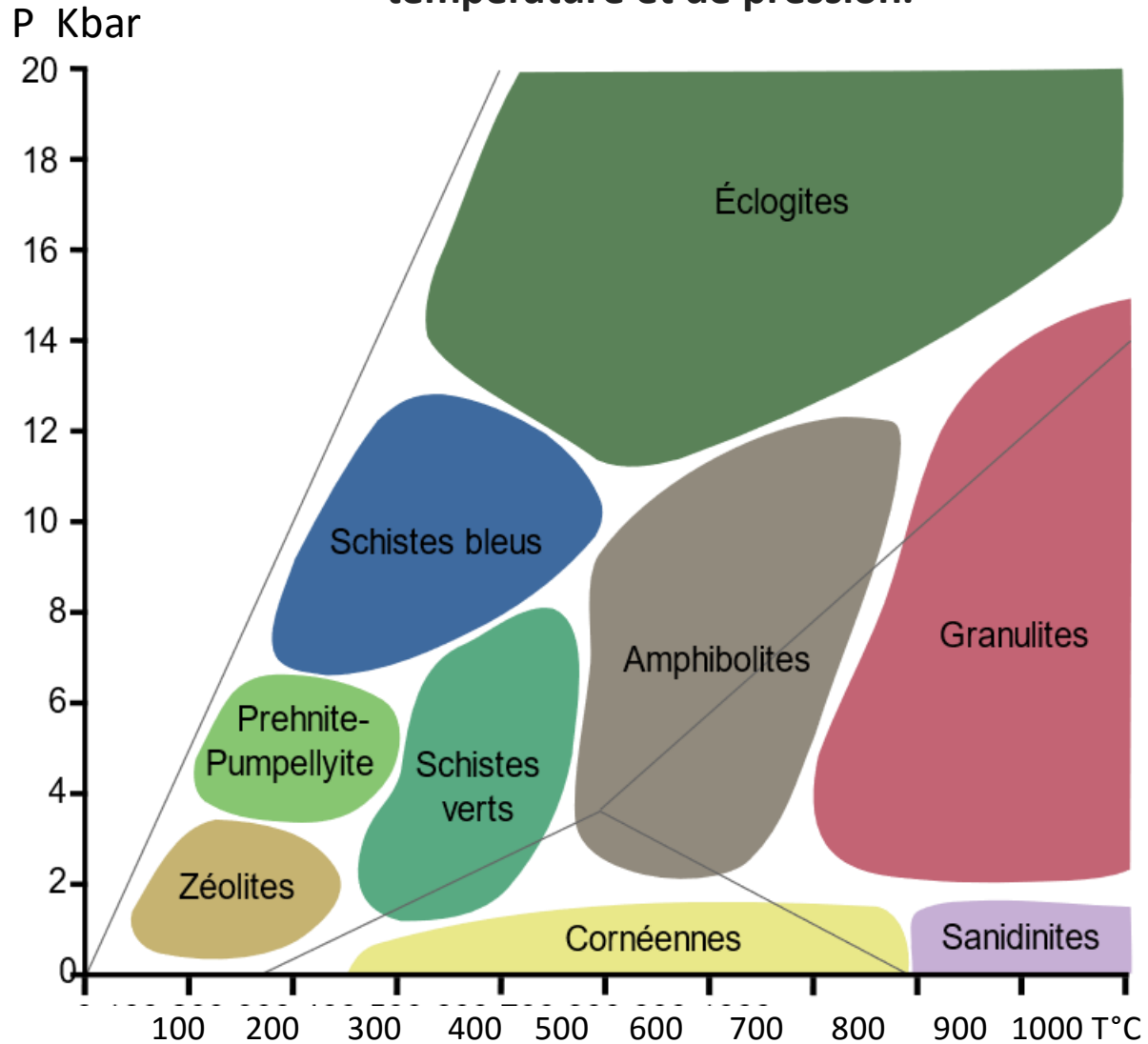
À la suite des travaux du finlandais P. Eskola, les principaux faciès minéraux, souvent divisés en sous-faciès, sur lesquels on s'accorde sont les suivants :

- 1.1. faciès à zéolites** : avec un sous-faciès à heulandite ou à analcime + quartz et un autre, de degré plus élevé, à laumontite + quartz ;
- 1.2. faciès à prehnite et à pumpellyite** : avec ces minéraux, du quartz et apparition possible de l'épidote;
- 1.3. faciès des schistes verts** à chlorite, muscovite, amphibole (trémolite, actinote), plagioclases acides ( $An < 20$  : albite, oligoclase) et à la limite supérieure apparition de biotite;
- 1.4. faciès des schistes à glaucophane – lawsonite** (schistes bleus) avec des sous-faciès à pumpellyite vers la limite inférieure, à jadéite et quartz à P plus élevée;
- 1.5. faciès des amphibolites** à hornblende verte, avec épidote et albite dans le sous-faciès inférieur, ou avec plagioclase plus basique ( $An > 20$ ) dans le sous-faciès supérieur ; les micas sont stables et c'est la zone de P-T où se situe le point triple des silicates d'alumine (andalousite, sillimanite, disthène);
- 1.6. faciès des granulites** avec orthopyroxène, plagioclase basique et grenat (almandin - pyrope), et suivant les cas disthène ou sillimanite;
- 1.7. faciès des éclogites** avec omphacite et grenat (almandin - pyrope);
- 1.8. faciès des cornéennes** qui suivant la température contiennent albite et épidote, ou hornblende verte, ou pyroxène et grenat (grossulaire);
- 1.9. faciès des sanidinites** avec feldspaths sanidine et albite.



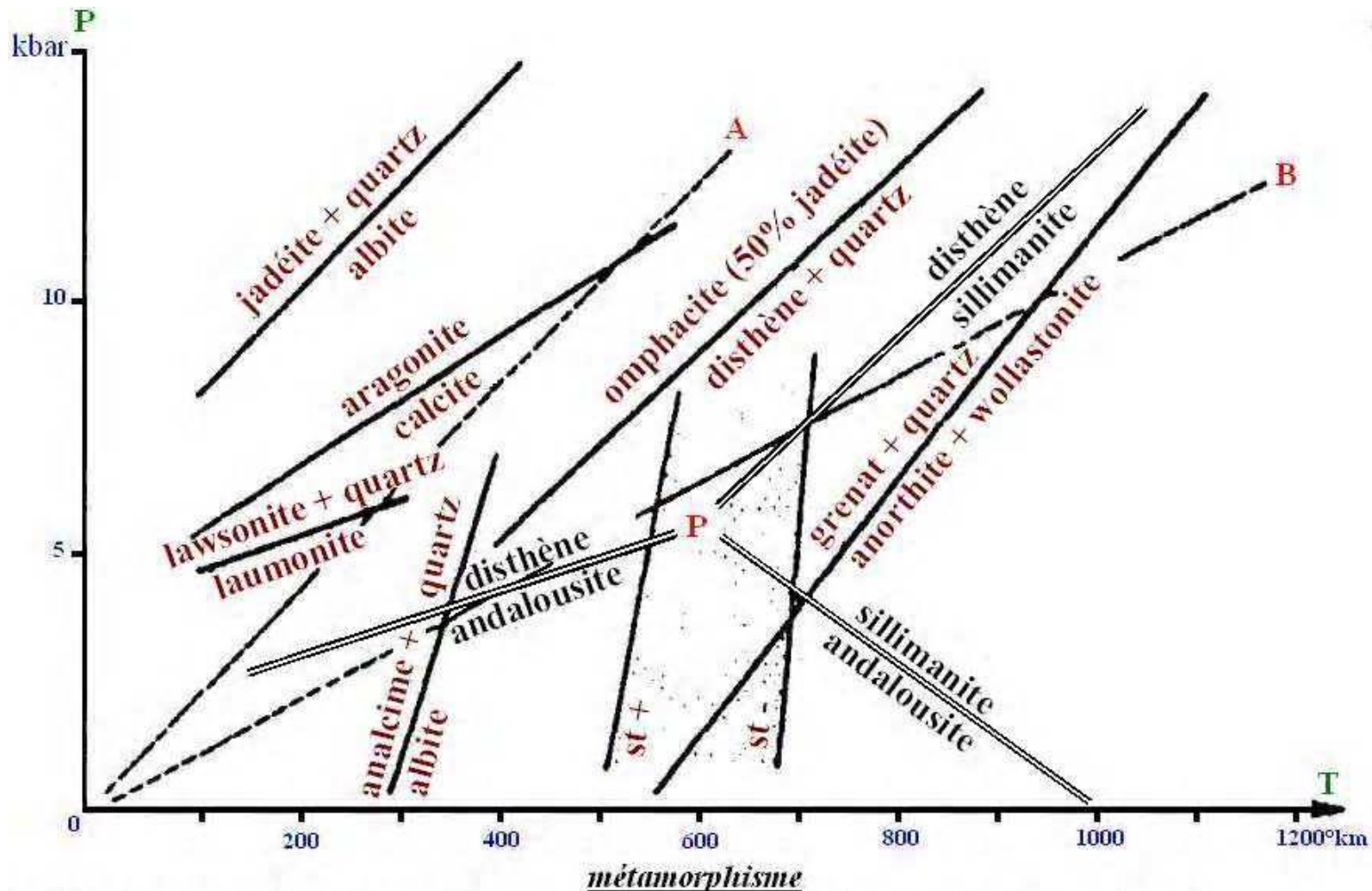
Champs des principaux faciès minéraux du métamorphisme

**Diagramme des champs des différents faciès métamorphiques en fonction des conditions de température et de pression.**



Notons que ces faciès minéraux ont été définis dans des séries métamorphiques (séquences) de roches magmatiques basiques (basaltes, gabbros,...) mais s'appliquent aux roches d'autres séquences.

Les termes utilisés définissent alors seulement un champ de P et T : ainsi une roche appartiendra au « faciès des amphibolites » si ses minéraux indiquent les P et T de ce faciès, alors même que, pour des raisons de chimisme, elle ne contient pas d'amphibole.



métamorphisme

Droites d'équilibre de réactions expérimentales entre quelques minéraux de métamorphisme.  
 P. ex. : la transformation albite → jadéite + quartz se produit vers 200 °C lorsque P passe de 9 à 10 kbar.  
 - Le point P est le point triple, situé très approximativement, des silicates d'alumine (andalousite, disthène, sillimanite) -st : staurotide, avec son champ de stabilité (en pointillés) imité par les courbes d'apparition st+ et de disparition st- lorsque T augmente.



**-2. Selon les zones et les isogrades du métamorphisme** : en liaison avec les faciès minéraux précédents, une zone correspond à un volume de terrain présentant un certain degré de métamorphisme ; sur une carte, les limites de ces zones sont des isogrades (courbes de même degré) que l'on nomme, en général, d'après un minéral. P. ex. l'isograde «chlorite» correspond à la disparition de la chlorite au passage dans une zone de plus fort degré, l'isograde, «biotite +» correspond à l'apparition de la biotite.

La reconnaissance et la représentation de ces zones est la **zonéographie**.

Classiquement dans le métamorphisme général, et en se référant à la séquence pélitique, on distingue :

**-2.1. L'anchizone**, formant la transition entre la diagenèse et le métamorphisme net, pour  $T = 100^{\circ}$  à  $200^{\circ}\text{C}$ , et  $P = 1$  kbar. Difficile à déceler (études aux RX), et marquée par l'évolution des minéraux des argiles : disparition de la kaolinite et des interstratifiés au profit de l'illite et/ou de la chlorite, puis recristallisation de l'illite qui passe à la muscovite; la plupart des ardoises sont anchimétamorphiques.

**-2.2. L'épizone** (métamorphisme faible) avec des roches riches en minéraux hydroxylés (mica blanc, talc, chlorite, épidote, actinote); c'est la zone des schistes sériciteux et chloriteux (cf. faciès des schistes verts); limite supérieure vers  $T = 500^{\circ}\text{C}$  définie par l'isograde « biotite ».

**-2.3. La mésozone** (métamorphisme moyen) avec des roches à biotite et muscovite, épidote, amphibole, staurotide, certains grenats, disthène possible ; c'est la zone des micaschistes et des gneiss à deux micas (cf. faciès des amphibolites); limite supérieure vers 650°C, définie par l'isograde « sillimanite + feldspath potassique ».

**-2.4. La catazone** (métamorphisme fort) avec des roches à feldspath potassique, plagioclase basique, sillimanite, pyroxène, grenat, biotite encore stable ; c'est la zone des gneiss à sillimanite et biotite (cf. faciès des granulites et des éclogites) ; limite supérieure au-delà de 700°C avec le début de la fusion (anatexie).

**-2.5. L'ultrazone** (terme peu usité) avec leptynites à cordiérite et/ou grenat, la biotite ayant disparu.

Ces limites sont plus ou moins nettes, et les corrélations avec les faciès minéraux plus ou moins aisées, si bien que la zonéographie est complexe et que des flous importants subsistent.

# Intensité du métamorphisme

faible

moyen

intense

zéolites

talc

trémolite-actinote

chlorite

serpentine

épidote

andalousite

disthène

staurotide

sillimanite

wollastonite

spessartine

almandin

pyrope

muscovite

biotite

corindon

### -3. Selon les séquences métamorphiques :

une séquence est l'ensemble des roches métamorphiques, de degré variable, issu d'un même type de roche originelle caractérisé par une composition chimique moyenne.

#### 3.1- La séquence pélitique :

issue du métamorphisme d'argiles et/ou de pélites, il est à l'origine d'une séquence dite pelitique.

Au cours d'un métamorphisme croissant, cette séquence peut donner :

**schistes** ---> **micaschistes** ---> **gneiss** ---> **leptynites**.

Elle est aussi à l'origine de nombreuses autres roches comme les **pyroxénites** ou encore les **amphibolites** ...

### **3. 2- La séquence carbonatée :**

la transformation métamorphique de certains **calcaires** va pouvoir donner, entre autres, du **marbre** et du **cipolin**.

**3.3- La séquence basique** : transformation des **basaltes** et **gabbros** en **amphibolites** et **pyroxénites**.

**3.4- La séquence granitique** : le métamorphisme du **granite** donne entre autres des **orthogneiss** et de la **protogine**.

Il existe de nombreuses autres séquences et sous-séquences métamorphiques.

- **Le métamorphisme hydrothermique (al)** : il est lié à des circulations de fluides (eau surtout) à température élevée, en relation avec des volcans ou des massifs plutoniques, et qui, d'une part réchauffent les roches traversées, et d'autre part leur apportent des éléments chimiques particuliers.

- **Le métamorphisme d'impact** : il est exceptionnel et dû à la chute de grosses météorites (impactites).