

## EVOLUTION PRECOCE DU MASSIF DE L'ARGENTERA: APPORT DES ECLOGITES ET DES GRANULITES

par Louis LATOUCHE\* et Serge BOGDANOFF\*\*

### RESUME

Les amphibolites à grenat des formations d'Anelle et de Rabuons représentent un faciès de convergence à partir de roches basiques éclogitisées et granulitisées. L'étude des paragenèses rétrogrades montre que ces roches sont montées rapidement puis plus lentement, depuis les zones profondes de la croûte (14 kb-700°C), jusqu'aux conditions des amphibolites à grenat (5 kb-600°C), synchrones des premières structures observables, les plis couchés mégascopiques.

### ABSTRACT

Garnet amphibolites from the Anelle and Rabuons formations are products of a process of metamorphic convergence arising from mafic eclogites and granulites. A study of the retromorphic paragenesis shows that these rocks first rose rapidly, then slowly from deep crust conditions (14 kb-700°C) up to the amphibolite facies (5 kb-600°C), thus latter synchronous with the first visible structures, these being megascopic recumbent folds.

### INTRODUCTION

Dans l'analyse de l'évolution des zones profondes orogéniques, les amphibolites à grenat forment un groupe de roches particulièrement riche en informations potentielles qui se situe, dans l'espace pression-température, à la charnière de trois grands domaines, ceux des éclogites, des granulites et des amphibolites. En effet, par leur résistance aux rétro-morphoses successives qui oblitèrent la plus grande partie de l'histoire polycyclique des gneiss acides associés, les amphibolites à grenat conservent des reliques des événements les plus anciens. Ainsi, dans les massifs externes des Alpes, dont l'histoire varisque est en cours

d'élaboration, des travaux comme ceux de Liégeois et Duchesne (1981) ont montré qu'il était possible de reconstituer une partie du passé crustal des reliques éclogitiques.

Le but de notre travail sur les amphibolites à grenat de l'Argentera est de montrer comment l'évolution rétrograde des éclogites mais aussi des granulites basiques qu'elles contiennent, peut aboutir aux amphibolites en précisant, à partir d'une étude minéralogique détaillée, les conditions de formation des paragenèses successives.

\* Laboratoire de Minéralogie, Muséum d'Histoire Naturelle, 61 rue Buffon, 75005 Paris.

\*\* Laboratoire de Géologie Historique, Structurale et Appliquée, Université Paris-Sud, bat. 504, 91405 Orsay Cedex

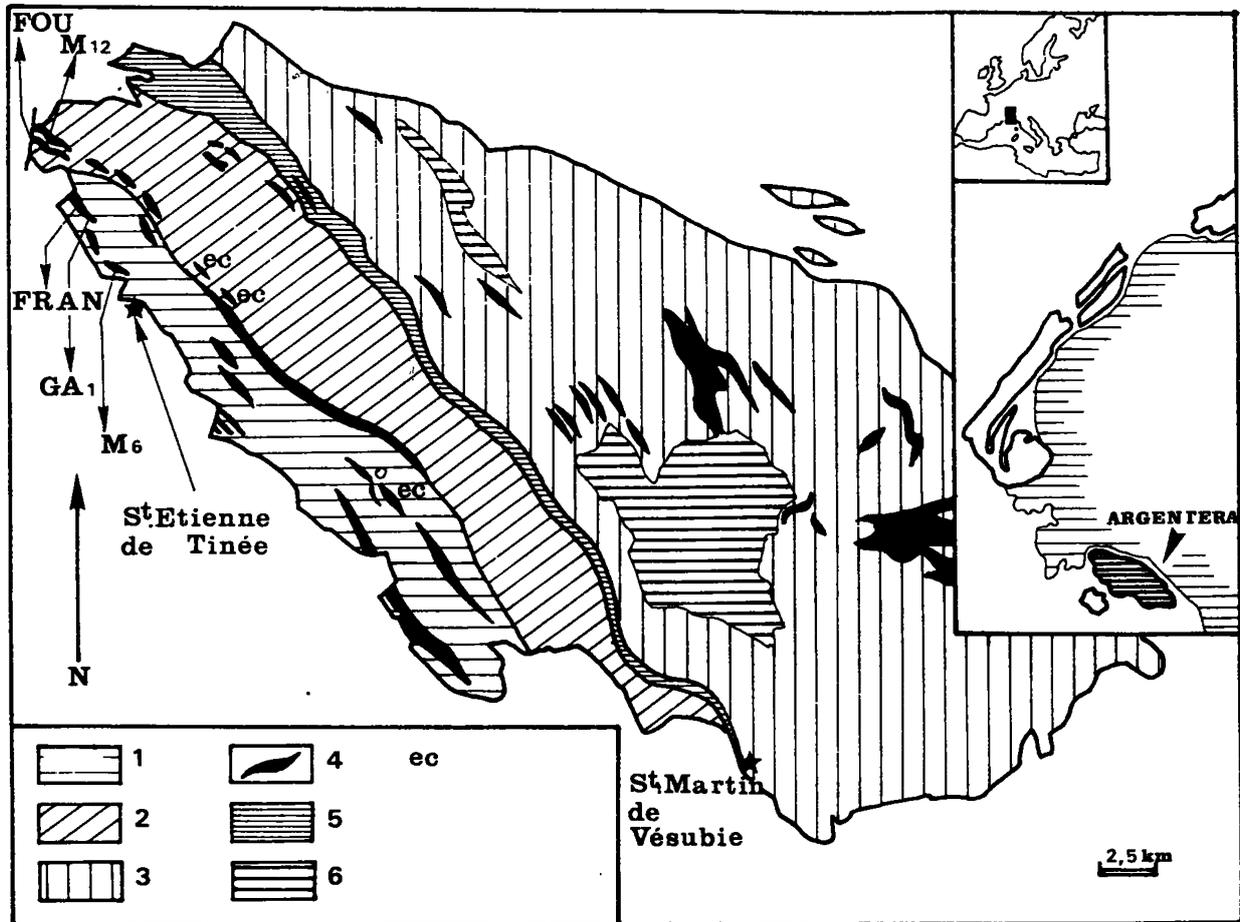


Fig.1 - Schéma du massif de l'Argentera.

1-Formation d'Anelle  
 2-Formation de Rabuons  
 3-Formation de Malinvern  
 4-Amphibolites  
 5-Schistes de La Valetta  
 6-Granitoïdes tardifs.  
 Ec.Eclogites.

Fig.1 - Sketch of the Argentera massif.

1-Anelle formation,  
 2-Rabuons formation,  
 3-Malinvern formation,  
 4- Amphibolites,  
 5-Valetta schists,  
 6-Late granitoïds,  
 Ec.Eclogites.

## GEOLOGIE

Comme les autres massifs cristallins externes du domaine helvétique des Alpes occidentales franco-italiennes, l'Argentera est un fragment de la croûte continentale varisque (zone interne), peu affecté par l'orogénèse alpine. Les études successives de Faure-Muret (1955), Malaroda et al. (1970), Bogdanoff (1980) ont permis d'avoir une bonne idée de la structure et de l'évolution générale du massif. Quatre formations, actuellement redressées et recouvertes en discordance par une couverture peu ou pas métamorphique débutant au Westphalien D, ont été reconnues (fig.1). Ce sont du Sud-Ouest au Nord-Est, les migmatites plagioclasiques d'Anelle, anciennes grauwakes, les migmatites potassiques de Rabuons, anciennes pélites anatectiques (Bogdanoff et Ploquin, 1979), les micaschistes de la Valetta, et les gneiss et migmatites de Malinvern, ortho et paradérivés.

Dans toutes ces formations existent de minces niveaux de quartzites et d'amphibolites, ainsi que des marbres dont seule la formation de Rabuons paraît dépourvue. Deux épisodes tectoniques majeurs, synmigmatiques, d'âge Dévonien à Carbonifère inférieur, reprenant aussi les amphibolites, ont été identifiés. Un premier épisode de cisaillement superpose, de haut en bas, les gneiss et migmatites de Malinvern sur les micaschistes de la Valetta, qui sont charriés sur les formations de Rabuons et d'Anelle, structurées en plis couchés mégascopiques dans les conditions du faciès amphibolites à grenat (Bogdanoff, 1980), confirmé à 375-350 MA par Monié et Maluski (1983).

Un second épisode verticalise l'ensemble des nappes, toujours dans les conditions du faciès amphibolite. A l'Est du massif, le dernier épisode de migmatisation post-tectonique est recoupé par le granite de l'Argentera (293-285 MA. Ferrara et Maloroda, 1969). Faure-Muret, en 1955 a signalé, la première, la présence d'une lentille d'éclogites au sein d'une amphibolite banale.

## PETROGRAPHIE DES AMPHIBOLITES

Au premier abord, et indépendamment de leurs évolutions rétrogrades lors les anatexies successives, les amphibolites communes d'Anelle et de Rabuons qui se présentent en lentilles rubanées, de dimensions très variables (dam-km), renfermant des lentilles de metabasites reliques.

Parmi celles-ci, on distingue deux familles :

- celles dont le matériel de départ semble avoir été homogène et où la zonation observée est liée aux différents stades d'une rétro-morphose (Sautter, 1983, 1985) ;

- celles dont le rubanement paraît dériver d'un litage primaire distinct du rubanement actuel des amphibolites.

La première famille correspond aux amphibolites du groupe I de Liégeois et Duchesne (1981) et regroupe des roches massives, formées essentiellement de hornblende, de plagioclase et de grenat, les minéraux accessoires étant le quartz, l'apatite, la magnétite, lilménite, le sphène et les sulfures. Le coeur des lentilles les mieux conservées montre des minéralogies primaires d'éclogites, de granulites et de gabbros. Il apparaît ainsi que les amphibolites de l'Argentera résultent de la convergence de ces trois faciès rétro-morphosés.

Le seconde famille, sans doute proche du groupe II de Liégeois et Duchesne (1981), comprend des amphibolites rubanées, où les seules reliques observées semblent être granulitiques.

Nous décrirons séparément les différentes reliques de la première famille et leurs paragenèses primaires.

### A. Les reliques éclogitiques (M6, fig. 1)

Reconnaissables sur le terrain par leur teinte vert-pâle à grise, les reliques éclogitiques ont une texture foliée. Autour des nombreux grenats (1 à 10 mm) de forme variable, souvent brisés, se moulent de grandes plages flexueuses symplectiques (clinopyroxène + plagioclase) et des rubans discontinus de quartz. Le coeur des grenats contient des plages homogènes, pauvres en inclusions de clinopyroxène et de leucoxène, souvent fracturées en lames parallèles assez régulières et souvent parallèles à la foliation. Ces fragments sont entourés de grenat subautomorphe poecilitique, bordé localement d'une frange radiée de hornblende et de plagioclase. Lorsque le grenat est au contact d'une plage de quartz, dans les ombres de pressions ainsi déterminées, il subsiste une mince bordure réactionnelle de plagioclase et de clinopyroxène secondaire en couches parallèles entre elles.

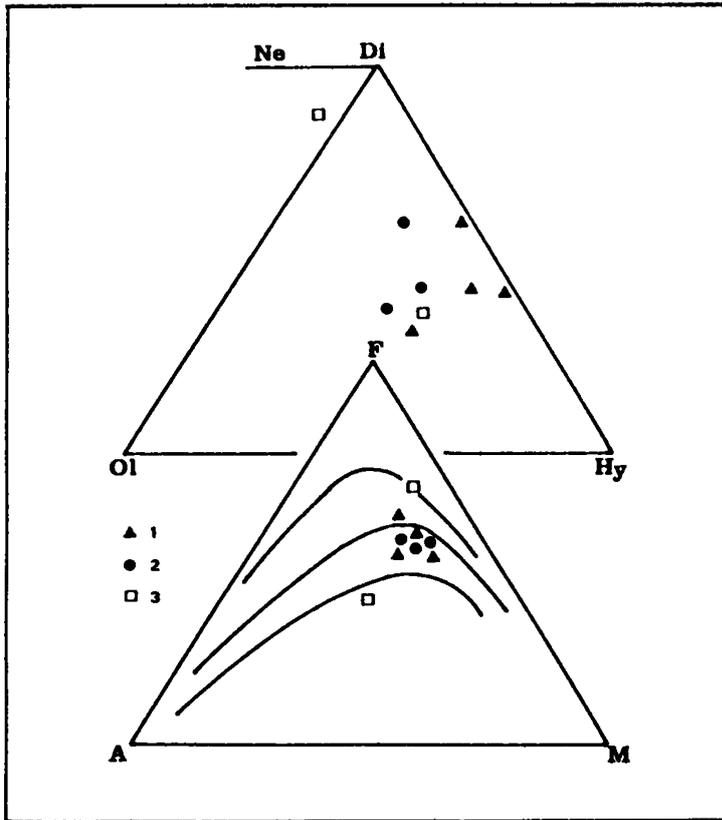


Fig. 2 - Place des amphibolites à grenat étudiées dans un diagramme AFM. Courbes d'après Kuno (1968) et dans le triangle Olivine-Diopside-Hypersthène.

Fig.2 - Studied garnet amphibolites placed in an AFM diagram after Kuno (1968) and the Olivine-Diopside-Hypersthene triangle.

- 1.Eclogites,
- 2.Granulites,
- 3.Banded amphibolites.

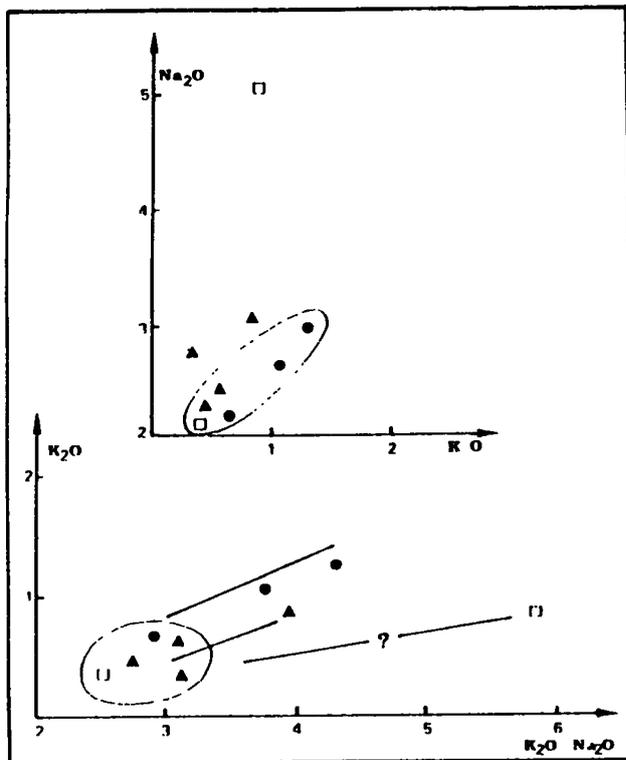


Fig.3- Diagramme de Beach pour les amphibolites à grenat. Mêmes symboles que la fig. 2.

Fig.3 - Diagrams for garnet amphibolites (Beach). Symbols are identical to the figure 2.

En dehors de ces zones réactionnelles, le clinopyroxène primaire omphacitique est presque totalement transformé en symplectites qui se rattachent par leur taille (2 à 10 mm) au type B de Boland et Roermond (1983). A part quelques rares domaines où les joints de grains des anciennes omphacites sont discernables, les symplectites ont une texture en "puzzle" et non le caractère fibreux souvent décrit dans des roches comparables.

Il faut noter que sauf dans les sites réactionnels où il est impliqué (couronnes des grenats, exsolutions dans les symplectites), le plagioclase semble totalement absent des reliques éclogitiques. Enfin, le très petit volume de hornblende secondaire présent dans ces roches implique un matériel de départ relativement anhydre.

#### B. Les reliques granulitiques (GAl, fig. 1)

Ce sont des amphibolites massives, généralement plus sombres, plus ou moins bien foliées renfermant de grandes plages où l'association grenat + clinopyroxène + plagioclase (andesine) est encore bien conservée.

La texture la plus ancienne est typiquement polygonale et le quartz ne constitue pas plus de 5% de cette roche. On peut distinguer un grenat primaire, en grands cristaux massifs, parfois zonés et brisés, et un grenat secondaire réactionnel, dessinant un réseau polygonal aux limites des contacts entre clinopyroxène et plagioclase. Le clinopyroxène forme des amas polycristallins allongés, à contours lobés, caractéristiques des granulites basiques déformées (Olivier, 1977). De la biotite secondaire pauvre en titane, du quartz, de la hornblende verte en symplectite avec du plagioclase, ainsi que du sphène et de l'ilménite se sont développés pendant l'amphibolitisation.

Il faut sans doute associer au même type de roche certains niveaux à clinopyroxène et oligoclase présents dans les amphibolites rubanées (M12, fig. 1). Il s'agit de pyroxénites vert clair, très riches en titane (sphène, ilménite), où la foliation est marquée par des clinopyroxènes et des amas en fuseaux de sphène et d'ilménite. Ces roches sont semblables à celles du groupe II de Liégeois et Duchesne (voir plus haut).

#### C. Des gabbros coronitiques (FRAN, fig. 1)

Assez semblables sur le terrain aux roches précédentes, les amphibolites massives qui forment ce troisième ensemble s'en distinguent nettement au microscope. Les reliques sont constituées uniquement de clinopyroxène plus riche en fer que celui des granulites, et de plagioclase, généralement de l'andesine ou du labrador. La texture polygonale, l'aspect massif des deux phases, ainsi que la fraîcheur des plagioclases aux mâcles bien visibles rappellent tout à fait l'aspect d'une ancienne roche magmatique à peine transformée. Aux joints des grains de clinopyroxène, le grenat forme des chainettes polygonales caractérisant un gabbro coronitique.

Dans les trois groupes de reliques observées au coeur des lentilles basiques, on retrouve donc, avant l'apparition des paragenèses du faciès amphibolite à grenat symigmatique, un épisode statique se traduisant par la formation de couronnes réactionnelles: grenat dans les gabbros et les granulites, pyroxène et plagioclase dans les éclogites. Mais, à la différence des autres roches, le gabbro ne paraît pas avoir subi un métamorphisme antérieur.

#### GEOCHIMIE

Les analyses d'éléments majeurs effectuées sur les principaux types d'amphibolites à grenat permettent seulement, dans l'attente d'un travail plus systématique, de fixer quelques limites. Avec des teneurs en SiO<sub>2</sub> voisines de 48%, il apparaît d'abord que toutes les roches étudiées ont une composition de basalte. Dans un diagramme de Kuno (1968, fig. 2), l'ensemble des analyses se situe à cheval sur la limite entre basaltes alcalins et alumineux, les points représentatifs des reliques éclogitiques et granulitiques paraissant très voisins.

Seule l'amphibolite rubanée riche en sphène et ilménite (M12) se sépare nettement des autres roches, avec des teneurs élevées en Na<sub>2</sub>O (env. 5%) et en TiO<sub>2</sub> (4,5%). Une représentation normative des échantillons (fig. 2) montre que les trois reliques éclogitiques (étoiles) se situent très près de la droite diopside-hypersthène, ce qui correspond bien à l'abondance du quartz dans les trois roches.

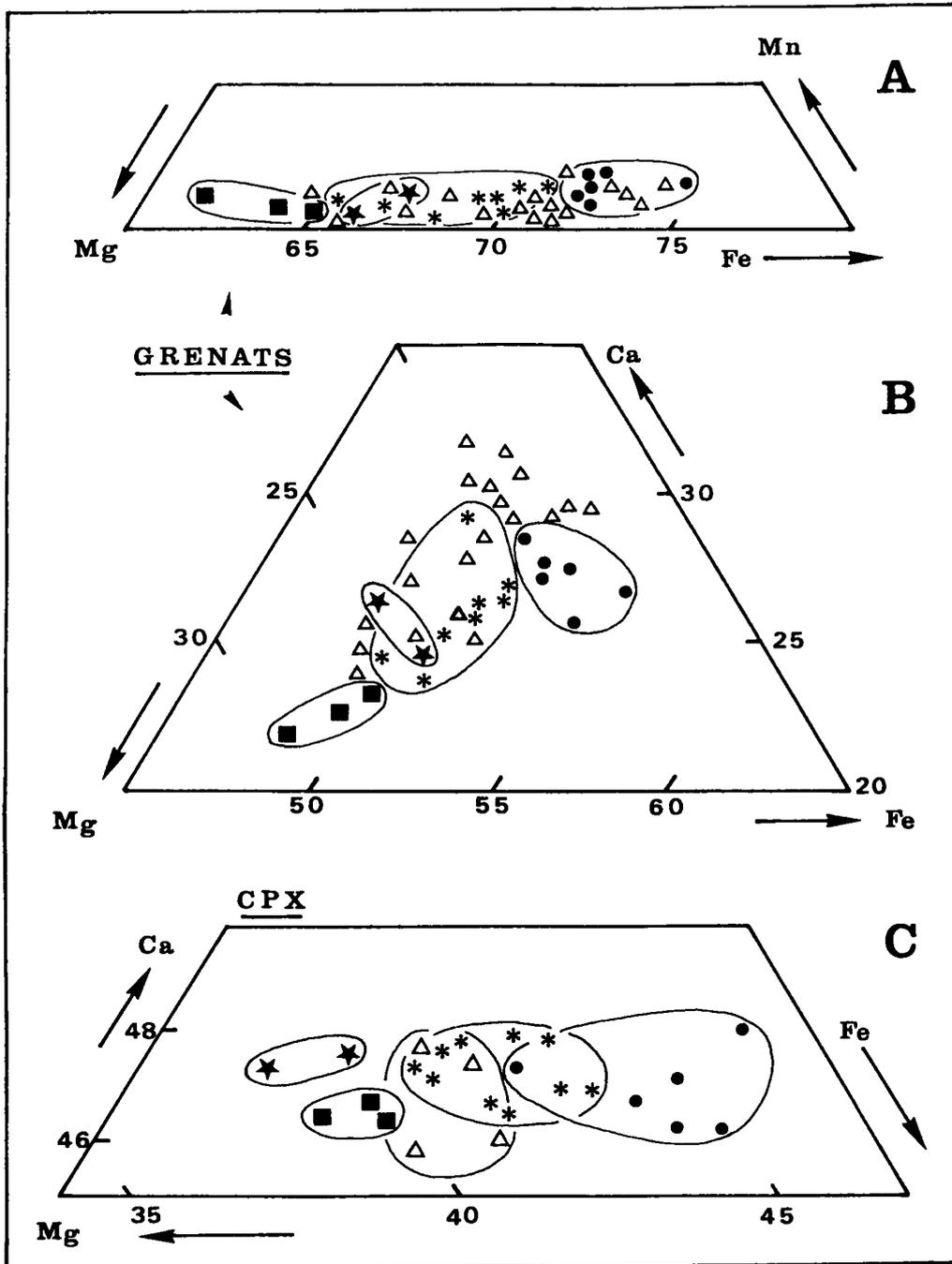


Figure 4. Composition des grenats et des clinopyroxènes eclogitiques dans les triangles Mn-Fe-Mg (fig. 4A) et Ca-Mg-Fe (fig. 4B et 4C). Les petits triangles vides représentent les grenats reliques. Les symboles noirs (étoiles, carrés, triangles, points) correspondent aux équilibres grenats-clinopyroxènes site par site. (fig.4B et 4C).

Figure 4. Eclogitic garnets and clinopyroxenes composition plotted in the Mn-Fe-Mg (fig.4A) and the Ca-Mg-Fe (fig.4B and 4C) triangles. Open triangles : relict garnets. Black symbols (stars, squares, triangles, dots) represent garnet-pyroxene equilibrium in each site.

En admettant que toutes les amphibolites ont subi une rétro-morphose au cours des déformations intenses pénétratives, on doit donc se demander quel a été le degré d'ouverture des systèmes chimiques. L'utilisation des diagrammes  $Na_2O=f(K_2O)$  et  $Na_2O=f(K_2O+Na_2O)$  selon la méthode de Beack (1976), permet d'estimer l'ampleur de ces modifications. Si la distribution des points représentatifs (fig. 3) indique un enrichissement notable en alcalins de certains échantillons, on voit aussi que les reliques éclogitiques se situent parmi les roches les moins transformées, tout en ayant des teneurs en  $Na_2O$  plus élevées que celles des granulites basiques. Dans toutes les représentations utilisées, deux roches sont totalement isolées (M10 et M12). Ce sont les clinopyroxénites à oligoclase et sphène des faciès rubanés (Rabouons). Une étude chimique ultérieure permettra seule de savoir si leurs caractères particuliers (importance de  $Na_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ) sont originels ou bien s'ils proviennent d'échanges pendant la déformation.

## MINERALOGIE

### *Technique analytique*

Toutes les analyses ont été effectuées sur la microsonde CAMEBAX du Laboratoire de Minéralogie du Muséum. Conditions opératoires: 15 KV; courant échantillon 20 mA.

### L. Grenats

#### **a. Reliques éclogitiques**

Au microscope, les grenats apparaissent agencés en sac de billes de 1 à 10 mm de diamètre. Chaque minéral, souvent brisé, est constitué de grains et sous-grains homogènes, plus ou moins jointifs, sans zonation observable, emballés par une matrice remplie d'inclusions de leucoxène.

La composition des sous-grains d'aspect homogène varie dans des limites qui sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur les bordures des différents grenats composites (pyrope de 1 à 30%). Dans ces conditions, seule une approche statistique permet de définir, dans des diagrammes ternaires Mn-Fe-Mg et

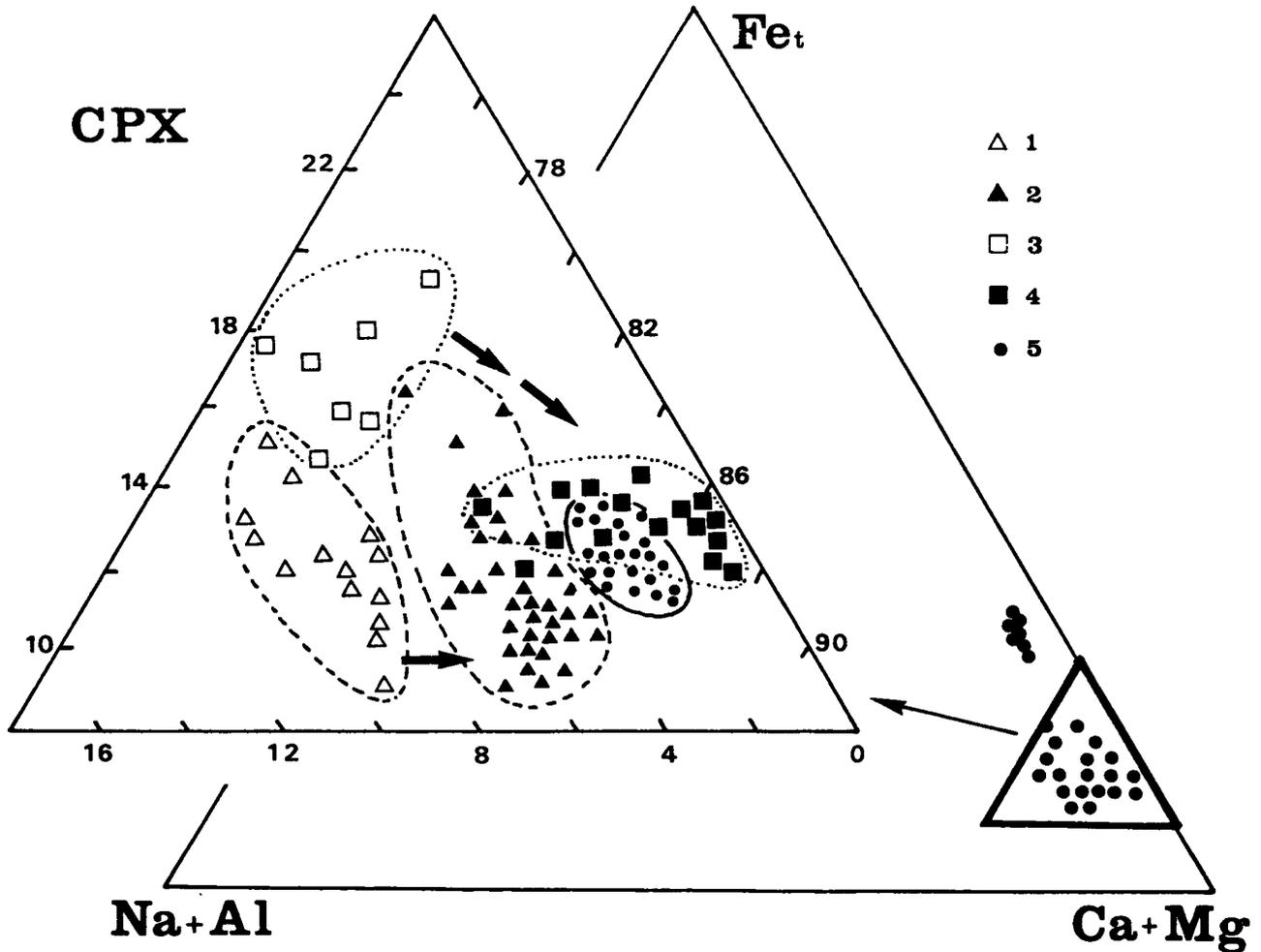
Ca-Fe-Mg, le type de trajectoire correspondant à l'évolution des grenats.

Dans le triangle Mn-Fe-Mg (fig. 4A), on remarque d'abord la très faible proportion de Mn dans les grenats, et une courbe d'évolution rectiligne caractéristique des roches de haute température comme les granulites (Tracy, 1982). Dans le diagramme Ca-Fe-Mg (fig. 4B), on observe une variation linéaire continue, correspondant à une évolution rétrograde unique depuis des teneurs en pyrope proches de 30% jusqu'à 18%. Avec les mêmes représentations on peut également constater que les variations entre les parties internes de grains de grenat reliques sont du même ordre (fig. 4B) que celles mesurées dans chaque site de bordure où le grenat est en équilibre soit avec le clinopyroxène, soit avec une couronne de plagioclase et de clinopyroxène. Toutes ces observations suggèrent une variation continue des conditions P-T pendant la recristallisation des grenats. L'existence d'équilibres mosaïques à fortes hétérogénéités d'un site à l'autre et à l'intérieur même d'un grenat indique de plus (selon Ghent, 1986) que cette recristallisation s'est achevée à une température inférieure à 750-700°C, au-dessous de laquelle les hétérogénéités sont effacées.

Compte-tenu de l'aspect en fuseau étiré présenté par certains grenats sacs, d'indices de rotation présentés par d'autres, ils pourraient bien avoir acquis leur habitus actuel au cours de la déformation précoce qu'a subie l'éclopite selon un modèle proposé par Tracy (1982) pour expliquer l'origine des zonations irrégulières (observées ici à la microsonde). Ce modèle évoque soit la fracturation de grains primaires brisés puis ressoudés, soit leur rotation avec croissance simultanée.

#### **b. Reliques granulitiques (GAI)**

Deux types de grenat existent dans les reliques granulitiques : de grands cristaux primaires et des chaînettes aux joints des grains de clinopyroxène et de plagioclase. La zonation optique décrite plus haut dans les grands cristaux primaires ne correspond pas à une zonation chimique. Tout en ayant des teneurs moyennes en pyrope pratiquement identiques, ces deux catégories sont bien discernables par leur teneur en grossulaire, les grenats "primaires" étant nettement plus calciques. Le passage d'un type à l'autre,



**Figure 5.** Place des grenats des différents groupes dans un diagramme  $X_{Mg}/X_{Ca}$ .  
 1. Grenat écolitique relict, 2. Grenat bordure, 3. Grenat granulitique relict,  
 4. Chainettes secondaires, 5. Grenats des gabbros.

**Figure 5.** Different garnet groups located in an  $X_{Mg}/X_{Ca}$  diagram.  
 1. Eclogitic relict garnet, 2. Garnet edge, 3. Granulitic relict garnet,  
 4. Secondary small chains, 5. Gabbro-garnet.

représenté dans un diagramme XMg/XCa (fig. 5) ne se fait pas de façon continue comme pour les grenats d'éclogites, mais correspond à des fractionnements différents de CaO entre le grenat et le plagioclase, à une pression sensiblement constante. Il est donc possible d'admettre que les deux populations de grenat caractérisent deux épisodes thermiques successifs.

### c. Gabbros (FRAN)

Dans les gabbros coronitiques, un seul grenat secondaire en chaînettes a été observé, beaucoup plus calcique et pauvre en MgO que ceux des autres amphibolites à grenat. Indépendamment du fait que le chimisme global de la roche est différent, nettement plus ferrifère que les éclogites et les granulites, ce qui stabilise le grenat à des pressions relativement basses (Green et Ringwood, 1967), on n'observe pas l'évolution en deux stades comme dans les granulites. La recristallisation en milieu anhydre du grenat se fait dans chaque site réactionnel à des températures suffisamment basses pour conserver l'hétérogénéité des équilibres mosaïques.

## II Clinopyroxènes

À la différence des grenats qui présentent des types d'évolution et des compositions variées dans les trois groupes de reliques distingués, les clinopyroxènes, sauf dans les gabbros coronitiques où il s'agit de ferrosalite, se situent tous, dans un diagramme Ca-Mg-Fe, à la limite des diopsides et des salites, avec des compositions très voisines. Cette représentation ne rend donc pas compte, pour les éclogites et les granulites, d'une évolution en deux stades qui, en revanche, est bien mise en évidence dans un diagramme ternaire (Na+Al)-(Ca+Mg)-Fe (fig. 6). On distingue ainsi les cristaux relativement riches en Na+Al des symplectites, les pyroxènes en équilibre avec le grenat primaire des granulites, et les salites des coronites et des bordures réactionnelles. Mais ce sont les reliques éclogitiques qui ont enregistré le plus d'étapes rétro-morphiques et c'est pourquoi nous détaillerons leur évolution.

Antérieurement au stade des symplectites fines de type B (Boland et Roermund, 1983), seules quelques plages

de pyroxènes de plus grande dimension, à traces de clivage encore visibles, correspondent aux omphacites décrites dans certains gisements du massif. En l'absence de plagioclase dans la roche qui est caractérisée par un excès de quartz, nous avons essayé de recalculer la composition de l'omphacite.

### *Technique utilisée (mise au point par L. Latouche).*

L'analyse systématique à la microsonde des symplectites nous a montré que ni la défocalisation ni le balayage ne permettaient d'obtenir les compositions compatibles avec des formules structurales, même imprécises, de pyroxène. Étant donné l'homogénéité générale des domaines à clinopyroxène et plagioclase, nous avons adopté une technique photométrique qui reproduit la photographie après opacification. Le principe en est le suivant :

Après avoir photographié la symplectite, on dessine sur un transparent de taille fixe, la limite des grains qui la constituent. On passe ce transparent devant une cellule photoélectrique à réponse linéaire, une première fois, ensuite on opacifie les surfaces correspondant à l'une des phases et l'on repasse le transparent à nouveau devant la cellule. En admettant que le rapport des surfaces mesurées peut être corrélé à celui des volumes, il est alors possible d'avoir la composition moyenne de l'omphacite, dans l'hypothèse d'une transformation en système fermé.

Par cette méthode nous avons trouvé une proportion constante de plagioclase dans les symplectites de M6 (fig. 1), comprise entre 28 et 32%, ce qui correspondrait à une omphacite originelle ayant entre 3 et 3,5% de Na<sub>2</sub>O (soit 26% de jadéite).

Comme l'ont montré Boland et Roermund (1983), la finesse des exolutions serait l'indication d'une transformation ou rapide ou à relativement basse température. L'évolution du chimisme des grenats nous fait préférer la première interprétation.

Postérieurement à la formation des symplectites, des couronnes de clinopyroxène et de plagioclase se sont développées le long des contacts grenat-quartz. La comparaison site par site des compositions de grenats et de clinopyroxène impliqués dans la réaction

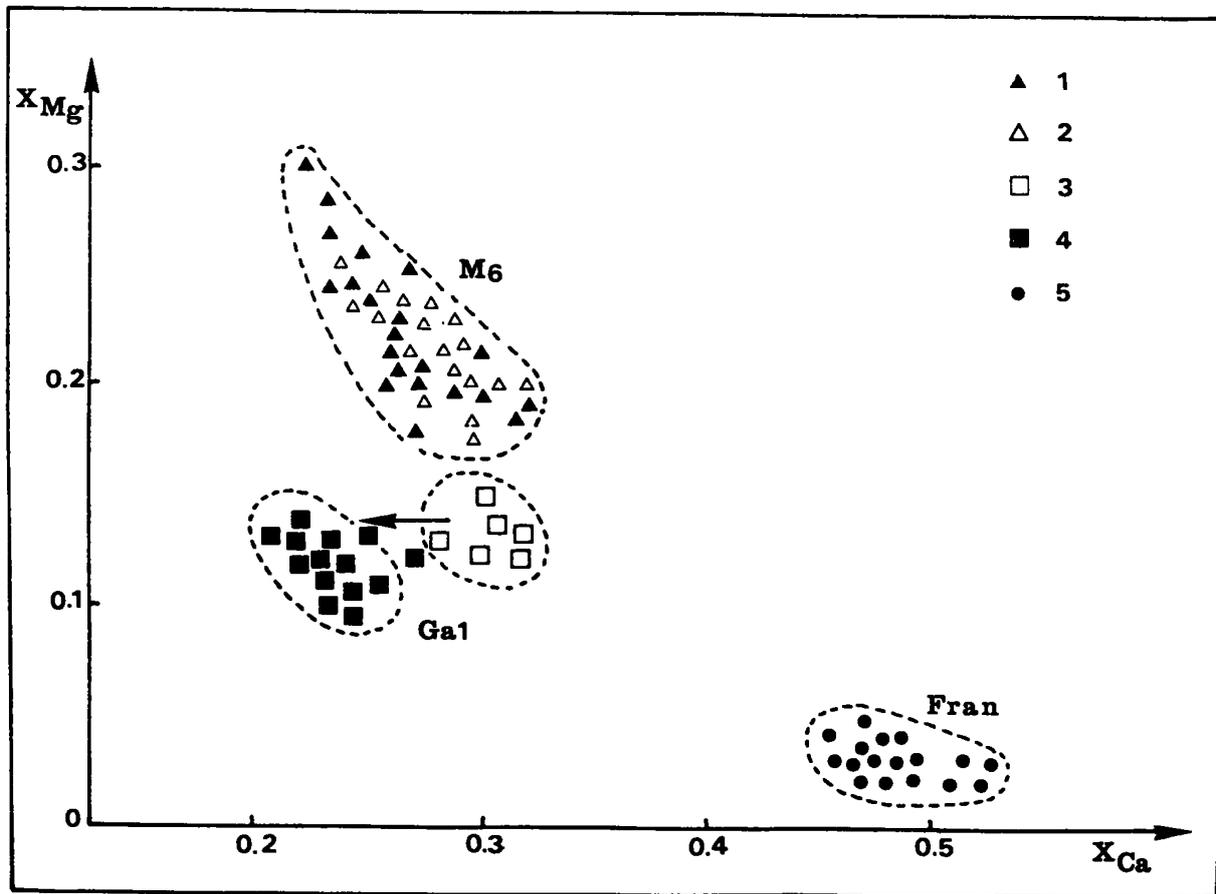


Figure 6. Diagramme ternaire (Na + Al)-(Ca + Mg)-FeT.

1. Grenat éclogitique relique, 2. Grenat bordure, 3. Grenat granulitique relique,

4. Chainettes secondaires, 5. Grenats des gabbros.

Les points en dehors du triangle correspondent aux clinopyroxènes du gabbros (FRAN).

Clinopyroxènes des granulites rubanées M12 (situées dans l'angle droit du triangle de gauche).

Figure 6. Ternary diagram (Na + Al)-(Ca + Mg)-FeT.

1. Eclogitic relict garnet, 2. Garnet edge, 3. Granulitic relict garnet,

4. Secondary small chains, 5. Gabbro-garnet.

The dots situated outside the small triangle correspond to the gabbro clino pyroxenes (FRAN).

5. Clinopyroxenes of the banded granulites M12 (right angle of the left side triangle).

clinopyroxène + plagioclase — grenat + quartz

montre d'abord (fig.4B) que le rapport Fe/Fe+Mg du clinopyroxène formé est exactement corrélé avec les variations du chimisme du grenat voisin. Si, dans le cas des éclogites, il y a un déplacement de l'équilibre en sens inverse de celui observé dans les granulites, les deux groupes de clinopyroxène ont des compositions très voisines (fig. 6).

Finalement, l'évolution du chimisme des clinopyroxènes des éclogites et des gabbros coronitiques montre qu'il y a une réduction du nombre des paragenèses successives observables, conservées, avant la transformation générale en amphibolites à grenat. Les équilibres observés permettent une estimation des conditions physiques d'apparition de ces paragenèses successives.

### THERMOBAROMETRIE

L'estimation des températures métamorphiques (éclogites et granulites) a été faite en utilisant le fractionnement de Fe et Mg entre grenat et clinopyroxène coexistant, selon la méthode d'Ellis et Green (1979). La relation empirique qu'ils ont établie à partir de données expérimentales tient compte de l'effet déterminant des teneurs variables en grossulaire dans le grenat sur le partage Fe-Mg. Malgré des critiques portant sur les mesures faites lorsque XCa est supérieur à 0,30 (Brown et Forbes, 1986), et sur la corrélation entre la teneur en jadéite et le KDFe-Mg (Koons, 1984), le thermomètre de Ellis et Green nous semble être en bon accord avec les températures obtenues à partir des isotopes de l'oxygène, car les grenats utilisés, sauf ceux des gabbros coronitiques, ont un XCa compris entre 0,2 et 0,3.

Pour les éclogites, plusieurs groupes de résultats ont été obtenus. A partir des couples grenats-clinopyroxènes correspondant aux grenats les plus magnésiens au contact du diopside sodique en inclusion, une température moyenne de 730°C a été obtenue, les extrêmes étant de 660 et de 800°C, pour une pression fixée à 8Kbar.

De la même façon, dans les granulites, pour la même pression, les couples pyroxènes reliques-grenats pri-

maires donnent des températures équivalentes comprises entre 670°C et 790°C, avec une moyenne d'environ 700°C.

Dans les coronites des éclogites, correspondant à l'apparition de clinopyroxène et de plagioclase en bordure des grenats, il est difficilement envisageable d'appliquer cette méthode. Par contre, les contacts grenats-bordures de clinopyroxène dans les granulites indiquent, pour la formation des chainettes de grenat, des températures comprises entre 540° et 600°C, alors que les gabbros coronitiques paraissent être formés à plus haute température (moyenne à 700°C).

En ce qui concerne l'estimation de la pression de formation de l'omphacite, il ne peut s'agir que d'une valeur minimum. En effet, les éclogites étudiées sont pratiquement dépourvues de plagioclase en dehors des symplectites, et il est possible que le déficit de Na<sub>2</sub>O n'ait pas permis la formation d'omphacite en quantité suffisante. Dans ces conditions, le calibrage de Holland (1980) indique à 700°C une pression de 14 Kbar. En tenant compte des critiques formulées par Ghent et al. (1987) et en utilisant son calibrage, on obtient pour des valeurs de Xjadéite comprises entre 0,27 et 0,31 des pressions sensiblement identiques de 14 Kbar.

Le baromètre de Newton et Perkins (1982) est particulièrement bien adapté aux calculs de la pression dans les granulites et les coronites secondaires. Les assemblages grenat-pyroxène-plagioclase-quartz des cristaux reliques de granulites indiquent des pressions de  $9 \pm 1$  Kbar à 700°C.

Dans les coronites à clinopyroxène-plagioclase des grenats éclogitiques, en admettant une décompression isotherme des grenats correspondant à leur trajectoire d'évolution, l'application du baromètre donne aussi des pressions de 9 Kbar à 700°C. Les grenats secondaires des granulites dont on a vu qu'ils s'étaient apparemment formés à des températures beaucoup plus basses (550°-600°C), ont cristallisé entre 7 et 8 Kbar, ainsi que les coronites des gabbros.

L'ensemble de ces résultats peut être replacé dans un diagramme P.T. (fig. 7), en distinguant les évolutions rétrogrades (éclogites, granulites) de l'évolution prograde des gabbros. Ces derniers peuvent soit appartenir à un ensemble rapproché tectoniquement des deux

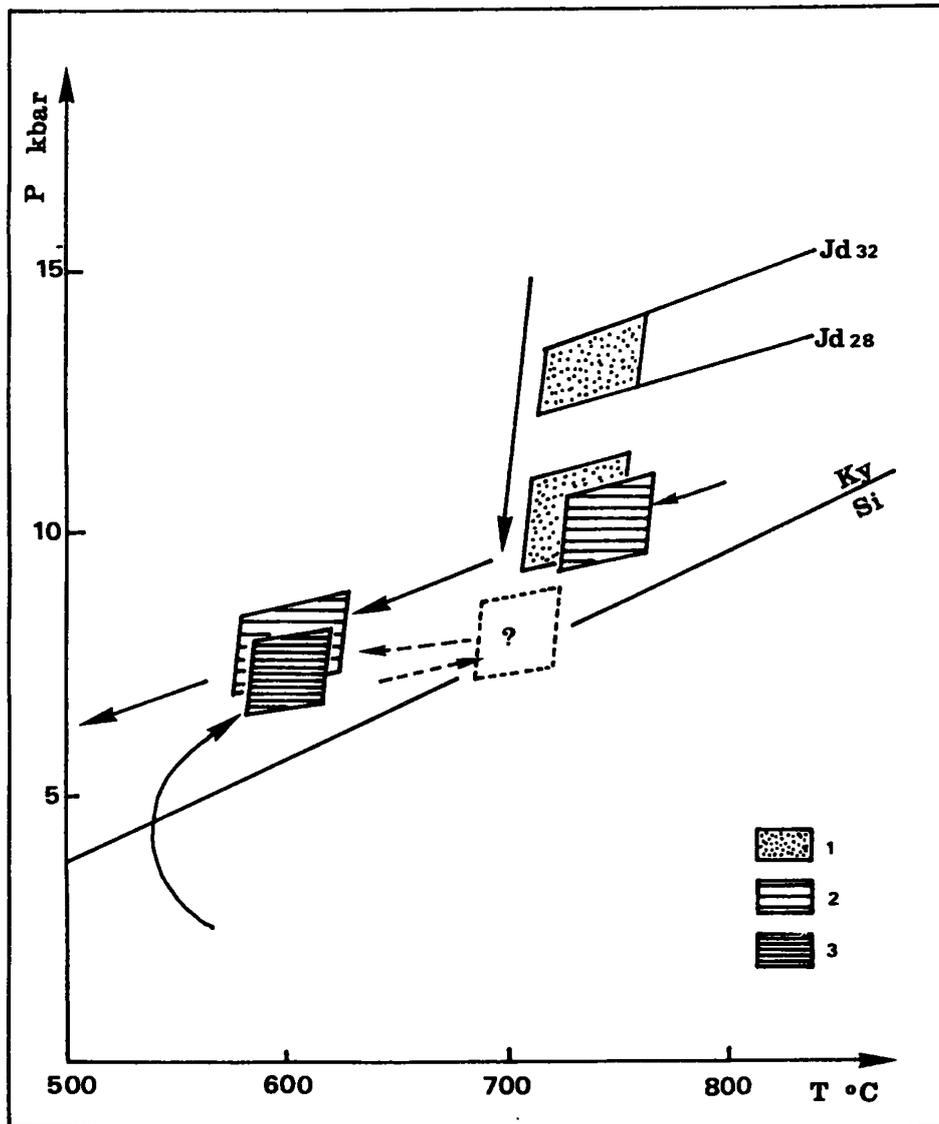


Figure 7. Evolution des amphibolites à grenat.  
 1.éclogites, 2.granulites, 3.gabbros.  
 Températures: Ellis et Green (1979).  
 Pressions : Holland (1980).Ghent et al. (1987). Newton et Perkins (1982).

Figure 7. Evolution of the garnet amphibolites.  
 1.Eclogites, 2.Granulites, 3.Gabbros.  
 Temperatures : Ellis and Green (1979).  
 Pressures : Holland (1980), Ghent et al. (1987), Newton and Perkins (1982).

autres, soit être mis en place avant le dernier épisode de métamorphisme correspondant à l'apparition des coronites. Nous préférons la seconde interprétation, les gabbros étant inclus, comme les éclogites et les granulites, dans la formation d'Anelle (fig. 1).

## CONCLUSIONS

Les amphibolites à grenat des formations d'Anelle et de Rabuons présentent un faciès de convergence résultant de l'évolution antérieure rétrograde ou prograde de plusieurs groupes de roches basiques, d'histoires nettement différentes.

La structuration en plis couchés mégascopiques dans les conditions du faciès amphibolite à grenat, au Dévonien, a été précédée par la formation de coronites rétrogrades dans les éclogites et les granulites, progrades pour les gabbros, ces derniers mis en place dans un ensemble déjà tectonisé.

L'évolution rétrograde des paragenèses les plus anciennes, caractérisée par le rôle très réduit des fluides, s'est faite en deux temps.

Le premier épisode, correspond à une remontée sans doute rapide des metabasites à partir de domaines profonds, juxtaposant des éclogites et des granulites au sein des futures formations d'Anelle et de Rabuons, chose classique dans les provinces éclogitiques de haute température. Ensuite, la vitesse de remontée a dû être plus lente, permettant une baisse des températures, la pression s'abaissant moins vite. La question restant ouverte est celle des relations chronologiques entre l'évolution des éclogites et des granulites et le début du faciès amphibolite de haute pression.

## BIBLIOGRAPHIE

1. BEACH A. (1976) - The interrelations of fluid transport, deformation, geochemistry and heat flow in early protozoic shear zones in the Lewisian complex. - *Phil. Trans. R. Soc. London. A.* 280: 569-604.
2. BOLAND J.N., ROERMUND H.L.M. van (1983) - Mechanisms of exsolution in omphacites from high temperature, type B eclogites. - *Phys. Chem. Minerals.* 9.30.37.
3. BOGDANOFF S. (1980) - Analyse structurale dans la partie occidentale de l'Argentera- Mercantour (Alpes Maritimes) - *These Sciences, Orsay*, 316p.
4. BOGDANOFF S., PLOQUIN A. (1979) - Les migmatites et les gneiss du Massif de l'Argentera (Alpes Maritimes). Apport de deux coupes géochimiques. - *Bull. Soc. Géol. Fr. (7).* t XXII n°3 pp 353-358.
5. BROWN E.H., FORBES R.A. (1986) - Phase petrology of eclogitic rocks in the Fairbanks District, Alaska. - *Geol. Soc. Am. Mem.* 164: 155-167.
6. ELLIS D.J., GREEN D.H. (1979) - An experimental study of the effect of Ca upon Garnet-Clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 71: 13-22.
7. FAURE-MURET A. (1955) - Etudes géologiques sur le Massif de l'Argentera.-Mercantour et sur ses enveloppes sédimentaires. - *Mém. Carte Géol. France*, 336 p., Paris.
8. FERRARA G., MALARODA R. (1969) - Radiometric age of granitic rocks from the Argentera massif (Maritim Alps). - *Bull. Soc. Geol. It.* 88 : 311-320.
9. GHENT E.D. (1986) - A review of chemical zoning in eclogites garnets. - In: Smith D. (ed). *Eclogites and Eclogite facies. Developments in Petrology* (sous presse).
10. GHENT E.D., BLACK P.M., BROTHERS R.N., STOOT M.Z. (1987) - Eclogites and associated albite-epidote-garnet paragneiss between Yarube and Cape Colnett, New Caledonia. - *J. Petrol.* 28: 627-643.
11. GREEN D.H., RINGWOOD A.E. (1967) - An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. - *Geochim. Cosmochim. Acta.* 31: 164-176.

12. HOLLAND T.J.B. (1980) - The reaction albite=jadeite+quartz determined experimentally in the range 600-1200°C. - *Am. Miner.* 65: 129-134.
13. KOONS P.O., RUBIE D.C., FRUEH-GREEN G. (1987). - The effects of disequilibrium and deformation on the mineralogical evolution of quartz diorite during metamorphism in the eclogite facies. - *J. Petrol.* V.2: 679-700.
14. KUNO H. (1968) - Differentiation of basaltic magmas. - In: *The Poldevaart treatise rocks of basaltic composition.*, Vol.2, 623-698, New-York.
15. LIEGEOIS J.P., DUCHESNE J.C. (1981) - The Lac Cornu retrograded eclogites (Aiguilles Rouges Massif, Western Alps, France): evidence of crystal origin and metasomatic alteration. - *Lithos.* 14: 35-48.
- 15bis MALARODA R., CARRARO F., DAL PIAZ G.V., FRANCESCHETTI B., STURANI C. et ZANELLA E. (1970) - Carta geologica del Massiccio dell'Argentera alla scala 1/50 000ème. - Note illustrative *Mem. Soc. Geol. It.*, vol. IX, p. 557-663.
16. MONIE P., MALUSKI H. (1983) - Données chronologiques  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  sur le socle antépermien du massif de l'Argentera-Mercantour (Alpes maritimes - France). - *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7) t. XXV. p. 247-257.
16. OLIVIER J., (1977) - Feldspatic-hornblende and garnet-granulites and associated anorthositic pegmatites from Doubtful Sound, Fiordland, New-Zealand. *Contr. Mineral., Petrol.*, 65, 111-121.
17. SAUTTER V. (1983) - Les éclogites et les amphibolites à grenat des terrains précambriens de l'Aleksod: leur signification dans le cadre de l'orogénèse Pan africaine. - Thèse 3 è cycle. Paris VI. Muséum, 166p.
18. SAUTTER V. (1985) - An eclogite paragenesis from the Aleksod basement, Central Hoggar, South Algeria. - *Chemical Geol.* 50 : 331- 347.
19. TRACY R.J. (1982) - Compositional zoning and inclusions in metamorphic minerals. - In: Ferry J.M. (Editor), *Characterization of metamorphism through mineral equilibria.* - *Reviews in Mineralogy*, 10: 355-397.