

Pétrologie et minéralogie du socle du forage scientifique de Sancerre-Couy

Anne-Marie HOTTIN ⁽¹⁾

Mots-clés : Roche métamorphique (clinopyriclasite), Amphibolite, Gneiss, Migmatite, Cataclasite, Donnée microsonde électronique.
Cher département (Sondage GPF Sancerre-Couy), Bassin parisien.

Introduction

Le forage de Sancerre-Couy traverse un ensemble métamorphique composite, constitué de plusieurs unités lithotectoniques superposées et alternées ; dans ces diverses unités, se retrouvent de manière récurrente, les mêmes types pétrographiques qui ont fait l'objet d'analyses détaillées en microscopie optique (plus de 500 lames minces étudiées) et à la microsonde électronique (une soixantaine de lames minces analysées).

Les études pétrologiques n'ont pu être réalisées que sur les portions carottées, les cuttings étant de dimension trop faible et systématiquement monominéraux.

Métabasites

Les metabasites sont représentées principalement par différents types d'amphibolites. Ces roches ont été recoupées sur des puissances importantes de - 941,85 à - 1 127,15 m et de - 1 538,55 à - 1 800 m ; elles sont par ailleurs intercalées dans les gneiss situés entre ces deux recoupes ; elles constituent enfin l'essentiel des cuttings et des carottes entre - 1 800 et - 2 118 m, et sont intercalées dans les gneiss jusqu'à - 3 000 m. Des clinopyriclasites forment des écaillés tectoniques dans les gneiss et les amphibolites entre - 1 300 et - 1 500 m et des intercalations dans les gneiss entre - 2 169 et - 3 000 m.

Amphibolites

Le type prédominant est une amphibolite plagioclase à clinopyroxène et grenat, qui alterne avec une amphibolite à plagioclase seul et avec une amphibolo-pyroxénite à plagioclase dans laquelle la texture magmatique d'un gabbro est localement préservée. Des passées leucocrates quartzo-plagioclasiques correspondent à des ségrégations métamorphiques.

Description des types pétrographiques

Amphibolites plagioclasiques à clinopyroxène et grenat

Ces roches à foliation plus ou moins nette et de grain moyen à grossier ont une texture granoblastique souvent porphyroblastique (Pl. I, photo 1).

L'*amphibole* brune, minéral prédominant, tend à se déstabiliser en actinote.

Le *grenat* poecilitique (dépassant localement 1 cm de diamètre) est généralement entouré de couronnes (complètes ou non) à plagioclase opacifié où à symplectites de plagioclase (et ou de clinozoïsite) et d'*amphibole* verte. Localement, on l'observe en petits cristaux inclus dans l'*amphibole*. Le *plagioclase* opacifié généralement associé à l'*amphibole* passe à un *plagioclase* limpide. Le *clinopyroxène* incolore (souvent ± déstabilisé en *amphibole*) est irrégulièrement réparti, pouvant matérialiser un litage fruste ; la *biotite* est rare. Le *quartz*, est peu abondant. Les minéraux accessoires sont le *sphène* à inclusions d'ilménite, le *rutile* issu de la déstabilisation d'ilménite, le *zircon* (rare), l'*apatite*, des *sulfures* (pyrite, marcasite, pyrrhotite, chalcopyrite, sulfures de Ni en traces) et des *oxydes ferrotitanés*. *Clinozoïsite* et *calcite* sont des minéraux tardifs.

Amphibolites plagioclasiques

C'est une variante du faciès précédent, la transition s'effectuant par disparition du clinopyroxène et/ou du grenat. On peut observer localement des fantômes de grenat totalement remplacé par l'association de clinozoïsite et de plagioclase.

Amphibolo-pyroxénites plagioclasiques

L'orientation planaire et linéaire est bien marquée dans ce faciès recoupé par exemple à - 977 m mais sur une puissance toujours limitée à quelques mètres. La texture granoblastique à granonématoblastique est de

(1) BRGM, SGN/Département Cartes et synthèses géologiques, Orléans.

type flaser-gabbro ; la texture magmatique initiale est localement préservée, les lattes de plagioclase opacifié subsistant avec leurs contours primitifs dans le fond amphibolique ; mais le plus souvent on observe une recristallisation et l'individualisation de plagioclase limpide néoformé.

Le litage est fréquent mais irrégulier, caractérisé par la proportion d'amphibole brune, de clinopyroxène incolore et de plagioclase basique ; les passées biotiques y sont peu importantes ; les minéraux accessoires sont les mêmes que dans le type précédent.

Composition chimique des phases minérales

La composition du grenat, commune aux trois types d'amphibolites correspond à un almandin-grossulaire relativement riche en pyrope (fig. 1). La teneur (calculée) en pyrope est constante, d'environ 20 % alors que les teneurs en almandin, grossulaire et spessartine varient respectivement de 42 à 56 %, de 26 à 37 % et de 1 à 4 % ; la teneur en andradite est négligeable. Les cristaux présentent une zonation en triple couronne ; par rapport à la zone intermédiaire, le cœur et la périphérie sont légèrement enrichis en almandin et pyrope mais appauvris en grossulaire et en spessartine (R. Boutin, 1987).

Le clinopyroxène a la composition d'une salite (fig. 2). Certaines zonations ont été observées d'un cœur salitique à une bordure diopsidique. La teneur en Na₂O est toujours faible, d'environ 0,5 % avec un maximum de 1,2 %, ce qui correspond à un pourcentage en jadéite calculée de 4 à 7 %.

L'amphibole des différents types d'amphibolites est calcique, mais généralement zonée : hornblende brune à verte évoluant par rétromorphose vers une actinote. Le calcul des formules structurales des amphiboles d'une amphibolite (d'après Leake, 1978) ainsi que la représentation Al⁴/Al⁴ + Fe²⁺ + Ti (R. Boutin, 1987)

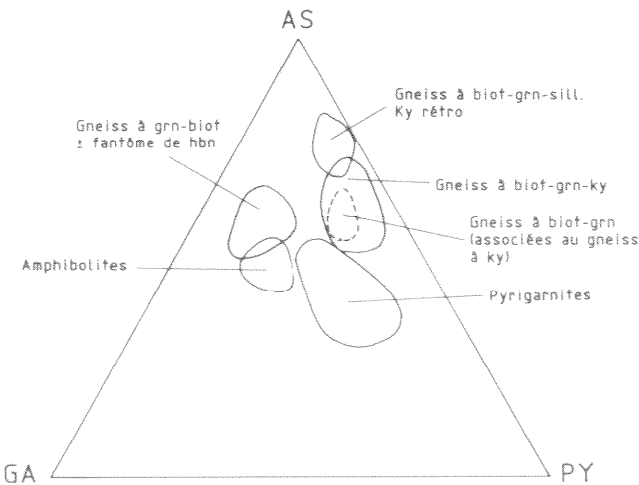


Fig. 1. - Position des grenats des formations métamorphiques du sondage de Sancerre dans le diagramme almandin + spessartine - grossulaire - pyrope.

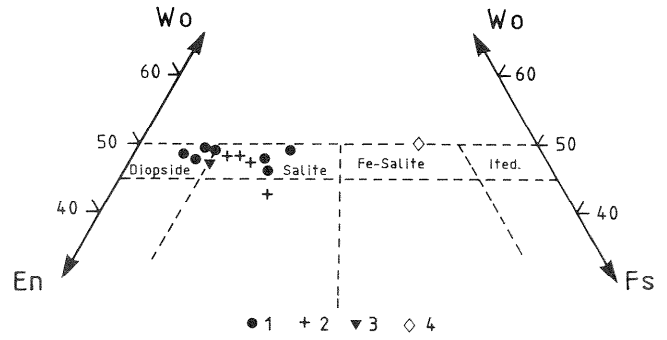


Fig. 2. - Composition des clinopyroxènes des metabasites et gneiss (Poldevaart et Hess, 1951). 1. Clinopyriclasites ; 2. Amphibolites ; 3. Gneiss quartz-dioritique ; 4. Pyroxène d'une veinule tardive (- 2 890,50 m).

(fig. 3) montrent l'évolution suivante : hornblende pargasitique ferrifère « hornblende tschermackitique » magnésiohornblende édenitique actinote. Dans le diagramme de Zakrutkin, 1968 (fig. 4) prenant en compte les teneurs en Ti, Al⁴, Al⁶ et alcalins, les amphiboles évoluent depuis des compositions caractéristiques du faciès granulitique jusqu'à des compositions du faciès des schistes verts.

Dans le plagioclase, les zonations sont peu importantes : An36-48 au cœur, An26-38 en bordure. Le plagioclase trouble imprégné de clinzoïsité est plus acide (An10), car il est déstabilisé.

Relations cristallisation et déformation

Les études structurales sur carottes orientées (C. Castaing et al., 1988) et l'analyse des critères micro-

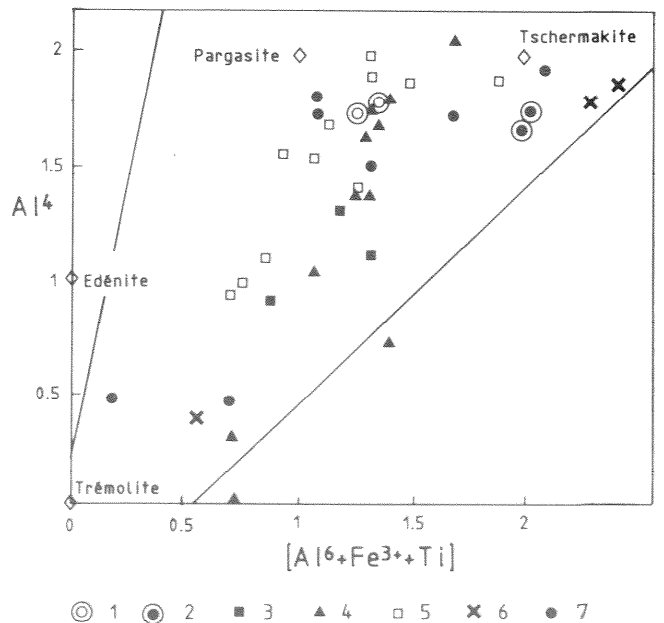


Fig. 3. - Variations de la composition chimique des amphiboles dans les amphibolites et une clinopyriclasite (d'après B.E. Leake, 1978). Amphibolites : 1 - Cœurs ; 2 - Périphéries : 1 085.50 m ; 3 - 1 413.30 m ; 4 - 1 716 m ; 5 - 1 954 m ; 6 - 2 897 m. Clinopyriclasite : 7 - 2 989,50 m.

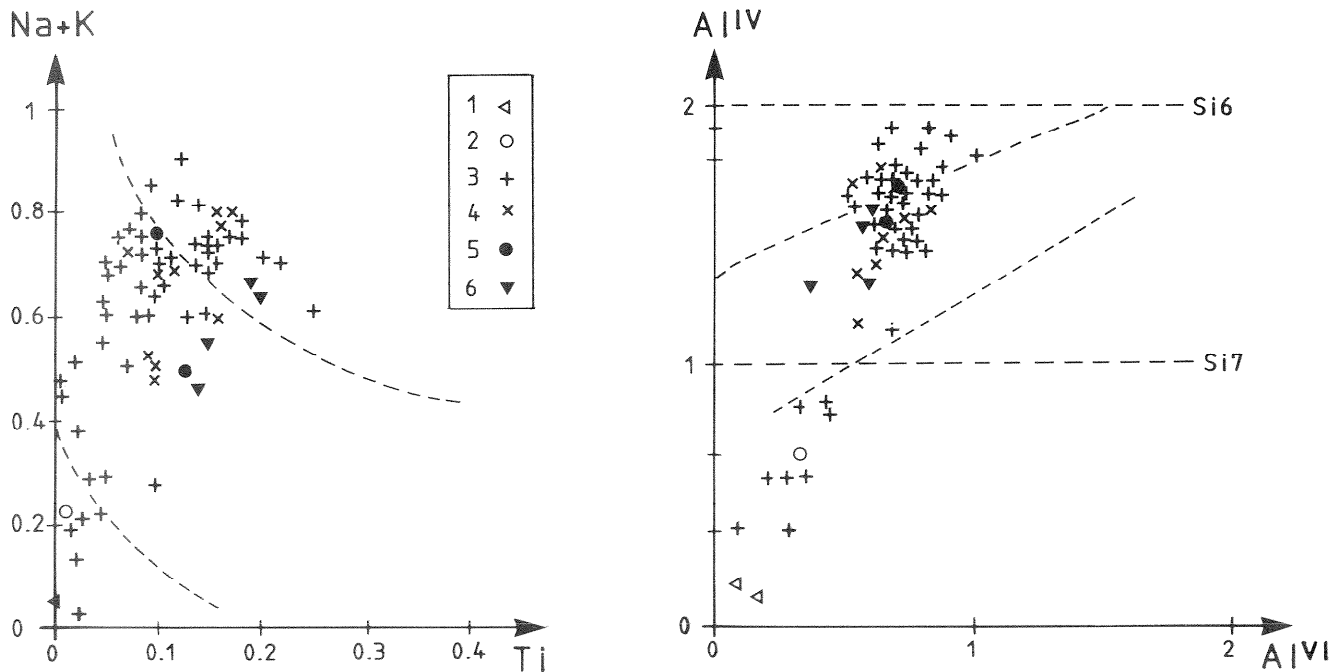


Fig. 4. - Composition des amphiboles dans les métabasites et les gneiss (Zakrutkin, 1968).

1. Amphibolite rétomorphosée ; 2. Clinopyriclasite amphibolitisée ; 3. Amphibolites ; 4. Pyroxéno-amphibolites ; 5. Clinopyriclasites ; 6. Gneiss à amphibole.

tectoniques (Boutin, 1987) ont montré que la foliation S bien représentée sur toute la partie carottée correspond à une foliation composite S1-2 de deux phases tectoniques successives, dont la déformation se fait suivant des plans sub-parallèles. Dans les amphibolites, le grenat est moulé dans la foliation par la hornblende verte, et les inclusions dans le grenat (amphibole, clinopyroxène) semblent définir une foliation interne d'orientation différente de celle que l'on peut associer à S1 ; le grenat serait donc syn à post S1 et anté S2.

L'habitus de la pargasite et de la tschermackite varient en fonction du degré de déformation : blastes polycristallins moulés dans la foliation S1 dans les roches à texture granoblastique, cristaux dissociés, fracturés et dispersés dans la foliation S2 dans les zones mylonitiques ; on rencontre également ces amphiboles dans le grenat. Elles sont donc syn S1 à anté S2. Hornblende verte, actinote et trémolite sont allongées ou sécantes sur la foliation, donc syn à post S2 ; elles se développent aux dépens de la pargasite et de la tschermakite et/ou du clinopyroxène.

Comme la pargasite et la tschermakite, le clinopyroxène est syn S1 à anté S2.

Le plagioclase opacifié apparaît dans les clastes d'amphibole et de pyroxène, il est orienté dans la foliation ; il en est de même pour les plages limpides recristallisées ; le premier pourrait être anté S1-2, le second syn S1-2.

Le quartz apparaît dans la foliation sous forme de petits cristaux ; il montre souvent une extinction onduleuse et une importante recristallisation de sous-grains ; il semble donc anté à syn S1-2.

Clinopyriclasites

Ce type de roche a été recoupé par la carotte K5 à - 2 169,50 m, puis par les carottes K11, K12, K13 et

K14. L'observation des cuttings, leur analyse chimique et l'interprétation des diagrammes montrent que c'est le faciès prédominant de - 2 762 m à - 3 000 m, en alternance avec des gneiss alumineux ou basiques et des amphibolites. La texture des clinopyriclasites est granoblastique porphyroblastique et poeciloblastique. Le grenat abondant, toujours très fracturé, rose en macroéchantillon, incolore en lame mince, est inclus (parfois avec une auréole symplectique) dans des plages de clinopyroxène bordées de hornblende brune et partiellement déstabilisées en actinote ; le plagioclase interstitiel cristallise en plages polygonales, le quartz (proportion variable) en plages étirées ; la biotite peut être localement abondante ; les minéraux accessoires sont l'apatite, l'ilménite frangée de leucosène, le rutile et les sulfures (Pl I, photo 4).

Dans la carotte K14 à - 2 989,50 m, un type particulier est une pyrigarnite à amphibole riche en quartz mais pauvre en plagioclase.

Toutes ces roches montrent donc une paragenèse primaire à grenat, pyroxène, quartz, plagioclase et rutile, une paragenèse secondaire à amphibole brune puis verte et plagioclase recristallisé, chlorite et clinozoisite.

La rétomorphose des clinopyriclasites affecte surtout le clinopyroxène qui se déstabilise en amphibole brune, mais la roche est toujours reconnaissable grâce à sa texture poeciloblastique (cas de K5 à - 2 169,82 m). La carotte K11 a recoupé à - 2 675 m une amphibolite à grenat entouré de symplectites à épidote et actinote résultant de la rétomorphose d'une clinopyriclasite (Pl. I, photo 2).

Deux types particuliers de clinopyriclasite ont été recoupés à - 1 387,80 et - 1 478,50 m sous forme d'écaillés tectoniques. La première étant particulièrement affectée par la rétomorphose de basse température ; le grenat se présente en petits cristaux disposés en atolls autour de plages à chlorite et carbonate rempla-

çant les anciens pyroxènes dont on retrouve en revanche quelques reliques associées à de l'amphibole dans la seconde ; la biotite est \pm chloritisée ; le plagioclase interstitiel est associé à du quartz ; rutile et oxydes ferrotitanés sont abondants (Pl. I, photo 3).

Composition chimique des phases minérales

Dans les écailles de clinopyroxènes, la teneur en *pyrope* du *grenat* est beaucoup plus élevée que dans les amphibolites : 46 à 51 % à - 1 387,80 m et 30 à 40 % à - 1 478,50 m. Dans les niveaux importants à partir de - 2 169,50 m, cette teneur est de 37 à 40 %, diminuant avec la rétro-morphose de la roche en amphibolite. Cependant le *grenat* de l'amphibolite à symplectites (- 2 675 m) renferme 47 % de *pyrope* (fig. 1).

Le *clinopyroxène* est une salite ; la proportion de jadéite calculée est globalement plus importante que dans les pyroxènes des amphibolites, atteignant ponctuellement 14 % (fig. 2).

L'*amphibole* brune est une magnésio-hornblende.

Le *plagioclase* est de l'oligoclase andésine (An # 27 %).

Gneiss et migmatites

Différents types de gneiss ont été recoupés en plusieurs passes :

- de - 1 130,40 m à - 1 240 m : ensemble très homogène de gneiss quartzo-dioritiques localement œillés, à biotite, grenat et hornblende surbordonnée dont on retrouve quelques niveaux intercalés dans les amphibolites sous-jacentes ;
- de - 1 284 m à 1 538,55 m : une alternance de gneiss diversifiés est dominée par des gneiss quartzo-dioritiques à biotite, grenat identiques aux précédents mais plus ou moins œillés parfois grossiers, localement à hornblende (alternant avec des amphibolites) avec intercalations de gneiss à silicates d'Al et de pyrogarnites tectonisées. A partir de 1 470 m, les alternances de gneiss et d'amphibolites deviennent très fréquentes ;
- dans la partie partiellement carottée, les gneiss sont représentés par les types à disthène, à hornblende, par des gneiss œillés, par une leptynite et par un faciès anatectique de type diatexite ;
- de - 3 000 à - 3 500 m, les gneiss rubanées \pm anatectiques à biotite et grenat essentiellement, sont affectés par une déformation ductile intense suivie localement d'une cataclase à froid.

Gneiss dioritiques à granodioritiques à biotite, hornblende et grenat

Ce sont généralement des roches à grain fin, localement œillées. Quartz, plagioclase, biotite orientée, amphibole et grenat sont les constituants essentiels. La hornblende vert brun peut former des niveaux millimétriques bien individualisés, notamment dans les termes de passage aux amphibolites. Dans la première recoupe

(- 1 130 à - 1 240 m) l'amphibole disséminée est généralement remplacée par l'association chlorite + carbonate ; le grenat poecilitique inclut biotite, quartz et plagioclase ; le clinopyroxène est présent de manière très sporadique dans des termes de passage aux amphibolites, le feldspath potassique (microcline \pm perthitique) apparaît dans les faciès granodioritiques en phénoclastes et dans le fond de la roche qui devient alors plus leucocrate ; de même dans les faciès œillés les phénoclastes de plagioclase sont souvent antiperthitiques, témoignant d'un métamorphisme antérieur dans des conditions de haute température. Les minéraux accessoires sont : zircon, apatite, ilménite, rutile, allanite, sphène, sulfures et graphite.

Composition des phases minérales

Le grenat est un *almandin-grossulaire* (Alm ~ 57 % Gr ~ 26 %) avec 10 à 12 % de *pyrope* et 2 à 8 % de spessartine. La teneur en anorthite du plagioclase varie de 4 à 29 %. Dans la biotite, TiO₂ va de 3,7 à 2 % (fluctuations liées à une légère rétro-morphose), le rapport FM (Fe/Fe + Mg) est d'environ 50, Al^{IV} ~ 2,5 et Al^{VI} d'environ 0,5/f.u. (fig. 5 a, b, c).

Gneiss à silicate d'alumine

Dans la première partie du sondage, ces gneiss sont intercalés dans les gneiss à biotite et grenat ; leur puissance est limitée à quelques mètres. Des traces de cisaillement ont été observées au contact des deux types de gneiss.

Entre - 1 800 et - 3 000 m, les gneiss à silicate d'alumine constituent les carottes K4, K6, K7, K8 (en partie), K10 et une intercalation dans K14. Enfin les gneiss rubanés recoupés à - 3 433,15 m renferment localement du disthène.

Le type le plus fréquent est un *gneiss à biotite, grenat et disthène*. C'est une roche relativement leucocrate présentant souvent un litage minéralogique. La texture est granolépidoblastique à joints de grains engrenés, ponctuellement porphyrique résiduelle. Le quartz est en plages laminées, le plagioclase (à environ 10-20 % d'anorthite) souvent antiperthitique ; la biotite, vaguement oblique sur le litage est orientée ; le grenat poecilitique est généralement cataclasé et entouré de biotite et de muscovite secondaire ; le feldspath K est fréquent en clastes ou associé au quartz. Le disthène se présente en cristaux automorphes frais ou remplacés par de la muscovite. Accessoirement, on trouve : rutile, ilménite, relique, sulfures, apatite, zircon et graphite (Pl. II, photo 5).

Le disthène peut coexister avec la *sillimanite* généralement sans relations texturales avec elle ; exceptionnellement des cristaux de disthène semblent remplacés par de la sillimanite fibreuse elle-même rétro-morphosée en séricite (- 1 434,09 et - 2 118,10 m) (Pl. III, photo 6).

Les gneiss à sillimanite prédominante sont moins fréquents (1 437,18 m).

Composition des phases minérales

Dans le faciès à sillimanite, la teneur en *pyrope* du *grenat* est de 13 à 18 % avec 5 à 8 % de spessartine.

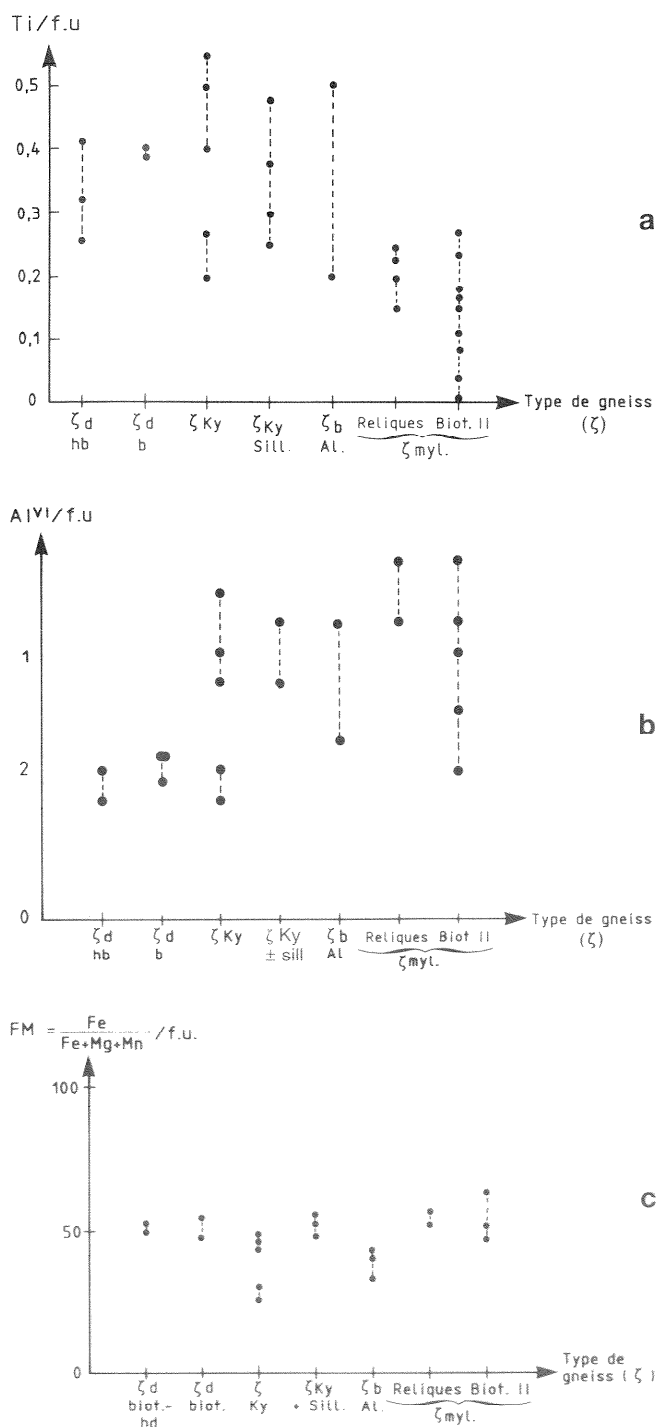


Fig. 5. - Variations des teneurs en Ti, Al^{VI}, Fe et Mg dans les biotites des différents gneiss.

Quartzdioritiques à hornblende et biotite ; idem à biotite seule ; à disthène ; à disthène et sillimanite ; à biotite, intercalés dans les gneiss à silicates d'alumine ; gneiss mylonitiques (3 000-3 500 m).

68 à 76 % d'almandin et 0,5 à 4 % de grossulaire. Dans les cristaux zonés spessartine et almandin (c'est-à-dire Mn et Fe) augmentent vers la périphérie alors que pyrope et grossulaire (c'est-à-dire Mg et Ca) diminuent.

Dans les gneiss à disthène, la teneur en *pyrope* est plus élevée que dans le faciès précédent et augmente avec la profondeur : entre 1 200 et 2 272 m ; la teneur est de 25 à 33 % (avec des fluctuations irrégulières entre cœur et bord) ; à partir de 2 500 m, elle oscille entre 36 à 38 %.

Lorsque la sillimanite coexiste avec le disthène, la teneur en pyrope diminue (16 à 24 %) (fig. 1).

La composition de la *biotite* est différente suivant que ce minéral coexiste avec le disthène seul ou avec l'association disthène-sillimanite surtout en ce qui concerne le rapport FM qui va de 42 à 48 dans le premiers cas et de 50 à 55 dans le second. On a pu également observer une zonation de ce rapport pour des inclusions de biotite phlogopitique incluse dans un grenat : au cœur des cristaux, ce rapport FM est d'environ 22 alors qu'en bordure, il atteint 44-50 ; on a donc là encore une évolution avec enrichissement en fer. Dans les deux faciès, la teneur en TiO₂ présente des fluctuations importantes, atteignant des valeurs plus élevées dans le type à disthène seul. Dans les deux cas, la biotite est plus titanifère que pour les gneiss granodioritiques et la teneur en Al^{VI} est plus élevée (fig. 5 a, b, c).

Gneiss à biotite et grenat

Ce faciès apparaît comme une variante aussi bien des gneiss à hornblende que des gneiss à silicates d'alumine dont ils présentent les mêmes variations texturales et minéralogiques (termes œillés, présence de feldspath K) (Pl. II, photos 7 et 8).

Chimie des phases minérales

La composition du *grenat* et particulièrement la teneur en pyrope est variable ; par ailleurs, pour une même roche, les fluctuations des teneurs en grossulaire et spessartine sont importantes ; ces variations reflètent la diversité d'origine de ces gneiss et l'intensité de leur métamorphisme ; en particulier, pour le grenat des gneiss à biotite intercalés dans les gneiss à amphibole, le rapport pyrope/pyrope + almandin est de 11, alors que pour les mêmes gneiss associés aux gneiss à silicates d'alumine, il varie de 21 à 40 et semble augmenter avec la profondeur (fig. 1).

La teneur en anorthite du *plagioclase* varie de 30 % d'anorthite (dans les gneiss associés au faciès à amphibole) à 20 % dans ces mêmes gneiss situés dans la zone des silicates d'alumine.

La composition de la *biotite* est différente selon que ces gneiss sont intercalés dans le faciès granodioritique à amphibole ou dans le faciès à silicates d'alumine : les premiers ont des biotites plus ferrifères et moins alumi-neuses que les seconds (fig. 5 a, b, c).

Gneiss rubanés ± anatectiques, à biotite et grenat, mylonitiques

Il s'agit des gneiss recoupés par les carottes K15 à K23 entre - 3 000 et - 3 500 m. A la déformation ductile toujours intense (Pl. III, photo 10) peut se superposer une cataclase froide mais toujours orientée broyant littéralement la roche (Pl. III, photo 12).

Ce sont dans l'ensemble des roches à texture grano-lépidoblastique, comprenant *quartz*, *plagioclase* (ponc-tuellement antiperthitique), *microcline* (dans K19 uni-quement) associé au quartz et au plagioclase ou en cristaux xénomorphes déformés, *biotite*, *muscovite II*, *grenat* et minéraux accessoires (sulfures, ilménite, rutile, zircon, sphène apatite, allanite et graphite). Le

disthène a été observé à – 3 433,15 m. La biotite se présente généralement en petits cristaux remplaçant les biotites primaires (subsistant parfois sous forme de reliques ± rétro-morphosées), pseudomorphosant partiellement ou totalement le grenat ou formant des veinules subconcordantes ou sécantes (Pl. III, photos 10 et 11). La *pyrrhotite* est associée à ces biotites secondaires, notamment vers – 3 060 m. Le rubanement observé correspond à l'alternance des niveaux quartzo-feldspathiques et de niveaux biotitiques ; des passées riches en grenat s'individualisent dans la carotte K19.

Chimie des phases minérales

La composition du *grenat* est toujours celle d'un almandin-pyrope-grossulaire avec respectivement 42 à 57 %, 25 à 36 % et 8 à 23 % ; la teneur en spessartine est d'environ 1 %.

Les *biotites* primaires reliques sont plus alumineuses et moins titanifères que celles des gneiss à silicates d'alumine ; dans les biotites secondaires, Ti diminue tandis que FM et Al^{VI} augmentent (fig. 5 a, b, c).

Relations cristallisation-déformation

Jusqu'à – 3 000 m, le grenat des gneiss est moulé par les biotites dans la foliation et il présente des queues de cristallisation de biotite, il serait donc anté S2 comme dans les amphibolites. La biotite couchée dans la foliation et présente dans les queues de cristallisation est syn S2 ; le phlogopite inclus dans le grenat serait lui syn S1. Comme le grenat, le disthène moulé par la biotite dans la foliation apparaît comme anté S2. La sillimanite se développe soit aux côtés du disthène, soit à ses dépens, elle pourrait être syn S2. Les feldspaths (plagioclase et feldspath K) se présentent en inclusions dans les grenats, en clastes moulés par les biotites dans la foliation et en association granoblastique avec le quartz ; ces matériaux sont donc syn S1 à syn S2.

Faciès anatectiques

Une migmatite à biotite à faciès granitoïde a été recoupée dans K13 à – 2 895,75 m ; elle est intercalée dans une pyriclasite à grenat. C'est une roche à texture granoblastique engrenée qui est constituée d'assemblage de quartz, plagioclase et microcline, avec des amas de biotite, de grenat et de muscovite.

Autres types de roche

Trondhjemites

Ces passées leucocrates sécantes sur la foliation des gneiss ou des amphibolites ont toujours une puissance

réduite d'ordre centimétrique (– 1 199,72, – 1 466,98, – 1 496,67 et – 1 626,17). Toutefois, entre – 2 779,50 m et – 2 785,50 m, les amphibolites et pyrigarnites sont comme emballées dans une trondhjemite à texture pegmatitique. Leur texture est grenue xénomorphe ou hypidiomorphe, leur granulométrie variable. À l'assemblage quartzo-feldspathique s'ajoutent biotite et grenat, muscovite, ou amphibole.

À – 2 987 m une trondhjemite recoupant une pyrigarnite présente des caractères géochimiques (en particulier une très faible teneur en Ta et des rapports Th/Ta et La/Ta élevés) qui s'accordent avec une origine anatectique à partir de matériaux basiques pauvres en Ta (B. Cabanis et D. Thièblemont, 1993).

Leucogranite

Ce type de roche n'a été rencontré qu'une seule fois à – 1 232 m où il recoupe les gneiss à biotite et grenat. Sa texture est grenue hypidiomorphe localement micropegmatitique suggérant une mise en place tardive. La minéralogie est la suivante : quartz, albite, feldspath potassique, rare biotite, muscovite I et II, zircon.

Roches skarnoïdes

Ces roches observées sporadiquement se présentent sous la forme d'amygdales ou de boudins. À – 1 009,06 m, c'est un faciès à calcite, épidote et albite disséminée présentant une bordure à clinopyroxène, épidote et sphène et passant à l'amphibolite encaissante.

Microgranite

Un seul filon a été recoupé de 1 127,15 à 1 130 m, c'est une roche orientée, riche en quartz et feldspath potassique.

Lamprophyres et faciès hypovolcaniques trachyandésitiques

Ces roches ont fait l'objet d'une étude spécifique (C. Wagner et D. Velde, 1993 et ce volume).

Cataclasites

De nombreuses zones de brèches ont été recoupées par le sondage. Les fractures sont remplies de calcite, sidérite, quartz, interstratifiés chlorite-saponite (A. Meunier *et al.*, 1990), zéolites (type laumontite) et pyrite. Dans ces zones, la roche encaissante acquiert une paragenèse de basse température (chlorite, calcite, albite, actinote,...) et se trouve affectée par des phénomènes de silicification et/ou de carbonatation.

PLANCHE I

Photo n° 1. - Amphibolite à grenat et clinopyroxène **1 623,70 m.**
Grenat entouré d'une auréole de plagioclase trouble ; clinopyroxène vert pâle en haut de la photo ; hornblende brune ; plagioclase interstitiel (x 63).

Photo n° 2. - Amphibolite de haute pression **2 675 m.**
Grenat riche en pyrope entouré de symplectites à actinote et clinozoisite (x 63).

Photo n° 3. - Écaille « de clinopyriclasite » rétro-morphosée **1 478,50 m.**

Grenat en atolls autour de clinopyroxènes rétro-morphosés ; plagioclase interstitiel (x 27).

Photo n° 4. - Clinopyriclasite **2 894,33 m.**

Grenat ; clinopyroxène verdâtre ; plagioclase interstitiel (x 63).

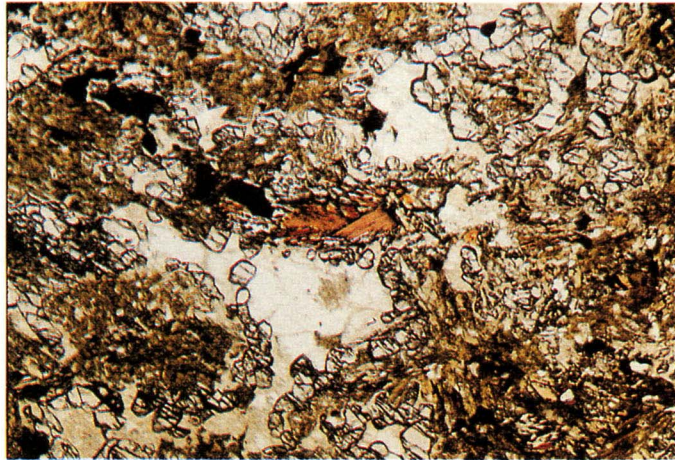
PLANCHE I



1



2



3



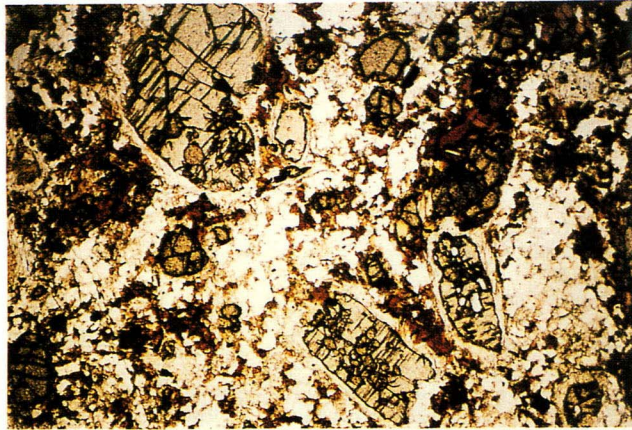
4

PLANCHE II

Photo n° 5. - Gneiss à biotite, grenat et disthène **1 296,05 m.**
Petits grenats subarrondis craquelés ; disthène en bas à droite et vers le haut à gauche (x 27).
Photo n° 6. - Gneiss à biotite, grenat, sillimanite et disthène **1 437,18 m.**
(x 63).

Photo n° 7. - Orthogneiss à biotite et grenat **1 324,60 m.**
Claste de microcline dans un fond granoblastique (x 27).
Photo n° 8. - Orthogneiss à biotite et grenat **1 431,13 m.**
Claste de plagioclase antiperthitique (x 63).

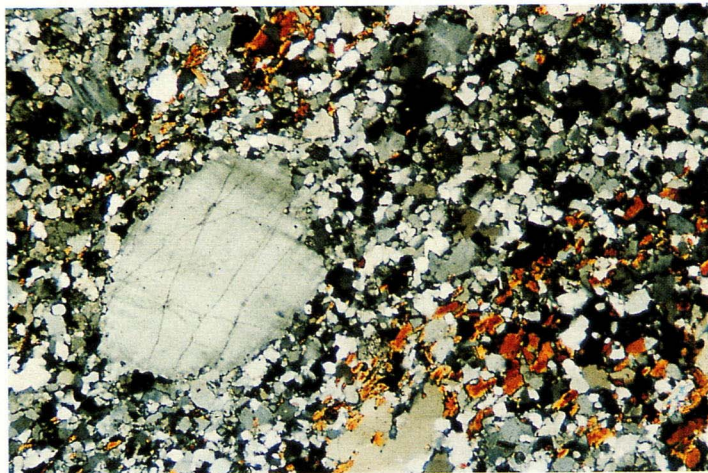
PLANCHE II



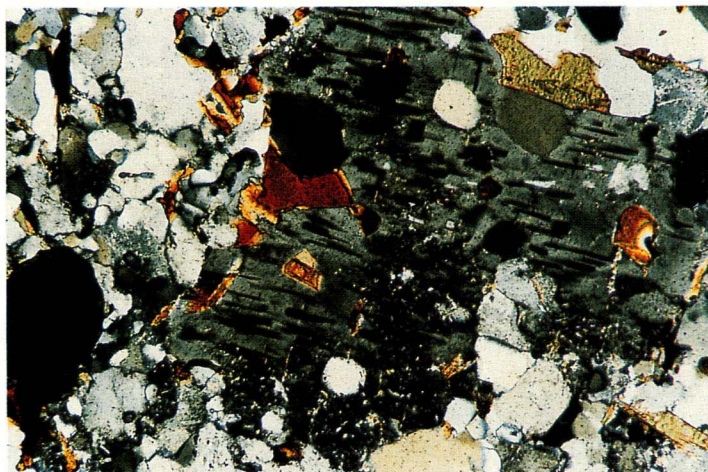
5



6



7



8

PLANCHE III

Photo n° 9. - Gneiss à biotite et grenat hydrothermalisé **2 492,75 m.**
Pyrrhotite disséminée et filonienne (x 27).

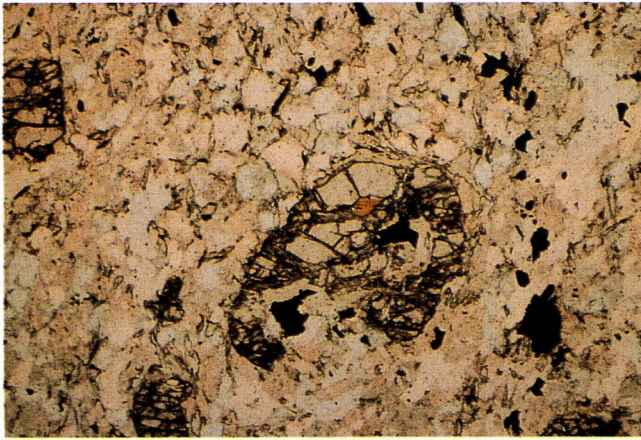
Photo n° 10. - Gneiss rubané **3 060,50 m.**
Pyrrhotite incluse dans un grenat, lui-même remplacé par de la biotite secondaire (x 27).

Photo n° 11. - Idem. Veinule à biotite secondaire et pyrrhotite.

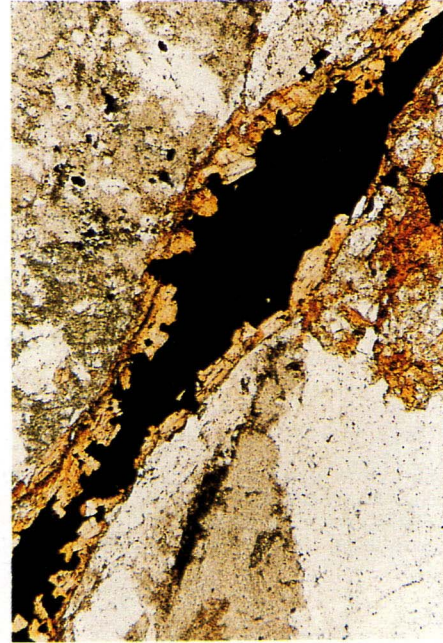
Photo n° 12. - Cataclasite orientée à biotite, actinote et clinopyroxène **2 890,50 m** (x 63).

Photo n° 13. - Amphibolite à clinopyroxène **1 755 m.**
Pyrrhotite disséminée entourée d'une paragenèse de base T^a (x 63).

PLANCHE III



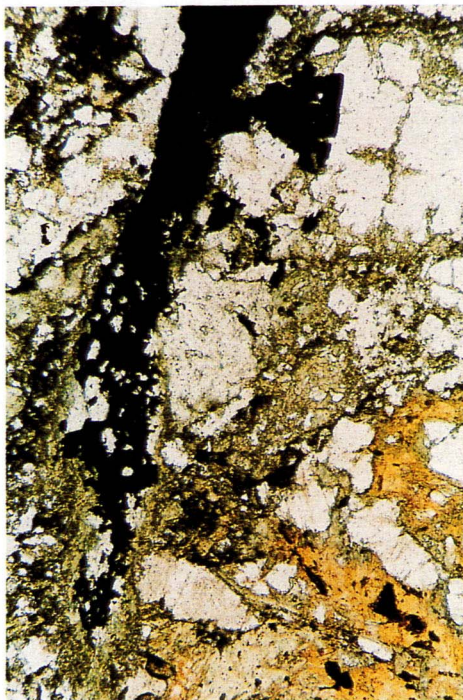
9



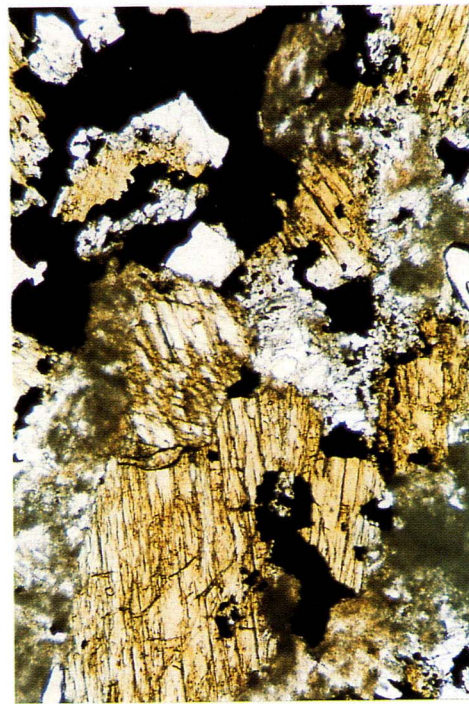
11



10



12



13

PLANCHE IV

Photo n° 14. - Gneiss rubané **3 060,50 m.**

Pyrrhotite (blanche) et chalcopirite (jaune) (x 120).

Photo n° 15. - Idem.

Pyrrhotite et chalcopirite incluses dans un grenat ; en haut à gauche : lamelles de graphite (x 120).

Photo n° 16. - Idem.

Minéralisation filonienne à pyrrhotite et chalcopirite (jaune vif).

A droite et à gauche : lamelles de graphite (x 120).

Photo n° 17. - Idem.

Pyrrhotite (blanc crème), chalcopirite (jaune) et blende (grise).

A droite : lamelles de graphite (x 295).

Photo n° 18. - Gneiss rubané **3 162,10 m.**

Pyrrhotite à exsolutions de pentlandite (flammèches blanches) (x 295).

Photo n° 19. - Idem.

Pyrrhotite (blanche) et blende (grise) à exsolutions de chalcopirite (x 295).

Photo n° 20. - Amphibolite cataclasée **2 894,97 m.**

Pyrrhotite (crème), chalcopirite (jaune) et blende (grise) (x 95).

Photo n° 21. - Idem.

Agrégat de blende (gris clair) dans de la chalcopirite (x 380).

Photo n° 22. - Cataclasite orientée à actinote **2 890,50 m.**

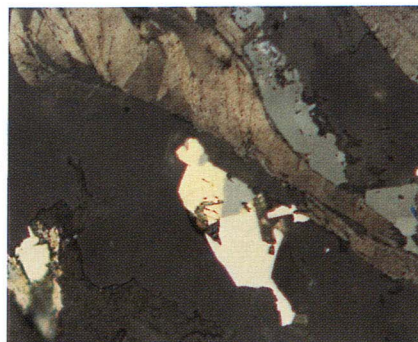
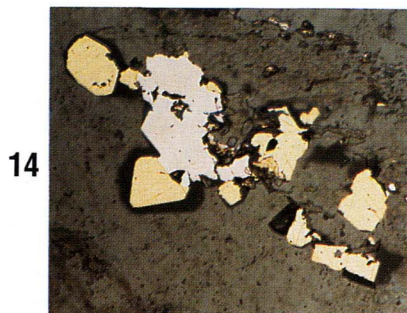
Filonnet à pyrrhotite.

Ilménite (I) résiduelle dans l'association rutile (R) et sphène (S) (x 120).

Photo n° 23. - Gneiss cataclaté **3 456,80 m.**

Microinclusion de galène (G) dans de la pyrrhotite (x 295).

PLANCHE IV



15

18

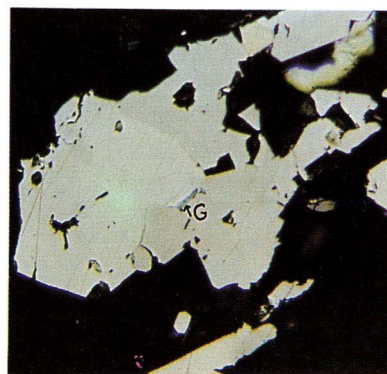
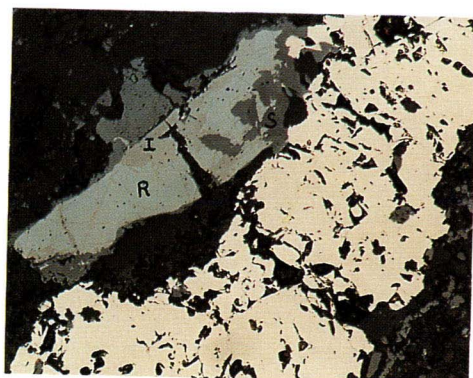
19



16

20

21



22

23

Références

- BOUTIN R. (1987). - Étude pétrostructurale de deux séries métamorphiques à termes basiques : les gneiss du sondage de Couy (Cher) ; les gneiss de Villefranche-de-Rouergue (Aveyron). DEA, Montpellier, USTL.
- BURG J.-P., KIENAST J.-R., HOTTIN A.-M., BOUTIN R., LEYRELOUP A., VEZAT R., BALÉ P., BODINIER J.-L., DUPUY C. (1988). - Résultats préliminaires de l'étude pétrostructurale sur le forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 155-174.
- BURG J.-P., CASTAING C., CHANTRAINE J., HOTTIN A.-M., KIENAST J.-R., MÉGNIEN C., TURLAND M., VEZAT R., WEBER C. (1988). - Les formations métamorphiques traversées par le sondage de Sancerre-Couy (programme GPF). Nouveau jalon de la chaîne varisque. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **307**, pp. 1819-1824.
- CABANIS B., THIÉBLEMONT D. (1993). - Les formations orthodérivées du forage GPF de Couy-Sancerre : leurs caractéristiques géochimiques et leur place dans l'évolution du domaine interne varisque au Paléozoïque. *Bull. Soc. géol. Fr.*, n° 1, pp. 27-38.
- CASTAING C., MARTIN P., BALE P., BOUTIN R., WYNS R. (1988). - Résultats préliminaires de l'étude structurale des carottes orientées du socle du forage de Sancerre-Couy (AMBP). Documents du BRGM, n° 137, pp. 127-146.
- LEAKE B.E. (1978). - Nomenclature of amphiboles. *Canadian Mineralog.*, **16**, pp. 501-520.
- MEUNIER A., BEAUFORT D., VIEILLARD P., FOUILLAC A.-M., THOMASSIN J.-H., TURPAULT M.-P., MERCERON T., DUDOIGNON P. (1990). - Apport des forages GPF (Échassières, Cézallier, Sancerre-Couy) à la conception des modèles des paléocirculations hydrothermales dans les socles cristallins ou cristallophylliens fracturés. *Bull. Soc. géol. Fr.*, n° 5, pp. 809-817.
- POLDEVAART A., HESS H.H. (1951). - Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. *J. Geol.*, **59**, pp. 472-489.
- WAGNER C., VELDE D. (1993). - Paleozoic olivine-bearing lamprophyre from the Couy (Cher, France) borehole. Mineral composition and alteration phenomena. *Eur. J. Mineral.*, **5**, pp. 85-96.
- ZAKRUTKIN V.V. (1968). - The evolution of amphiboles during metamorphism. *Zap. Uses. Mineral. Obsch.*, **96**, 1, pp. 13-23.