

LES EPIDOTITES DE LIBRAMONT¹

par

S. de BETHUNE²

(5 figures et 2 planches)

RESUME.- Les épidotites de Libramont, interstratifiées dans des phyllades et des quartzites de faciès greenschist du Dévonien inférieur, sont composées, outre l'épidote, de quartz, d'amphibole, de grenat et de graphite, avec accessoirement du sphène.

L'ordre de cristallisation des minéraux : amphibole, pistachite, clinozoïsite, grenat manganésifère, zoïsite, diopside, se déduit des observations texturales. A la suite d'une phase hydrothermale tardive, le pyroxène a été entièrement ouralitisé.

La paragenèse stable, qui correspond au stade culminant du métamorphisme est : clinozoïsite + zoïsite + amphibole + diopside + quartz + grenat + graphite + sphène, qui s'accorde bien avec la composition de ces roches.

Les épidotites étaient à l'origine des marnes sableuses et éventuellement ankéritiques, et se sont formées par une série de réactions de décarbonatation successives.

Le problème de la coexistence de clinozoïsite et de zoïsite, ainsi que de la présence de diopside dans des roches de faciès greenschist est soulevé.

ABSTRACT.- The epidotites found near Libramont (Belgium) are completely recrystallised epidote-quartz-amphibole-garnet-graphite rocks with accessory titanite, interbedded in Lower Devonian phyllites and quartzites of greenschist facies.

The order of crystallization of minerals : amphibole, pistachite, clinozoïsite, manganiferous garnet, zoïsite, diopside, is deduced from textural observations. As a result of a late hydrothermal retro-morphic event, the diopside has been completely uralitised.

The stable mineral paragenesis during the climax of metamorphism is : clinozoïsite + zoïsite + amphibole + diopside + quartz + garnet + graphite + titanite. This is in good agreement with the chemical composition of the rocks.

It is proposed that the epidotites were initially sandy, possibly even ankeritic marls, and were formed by successive decarbonation reactions.

The problem of coexisting clinozoïsite and zoïsite and of the presence of diopside in greenschist facies rocks is discussed briefly.

INTRODUCTION

Quelques bancs d'épidotite interstratifiés dans des amphibolites, des phyllades et des quartzites feldspathiques à biotite, ont été signalés à Libramont. (Denayer, 1938 ; Corin, 1939). Cette roche est connue dans la littérature sous le nom de "roche maclifère" (Dupont, 1895) ou de "roche à ouralite" (Renard, 1897 ; Stainier, 1907 ; Corin, 1931) et correspond à un type pétrographique assez peu courant.

Macroscopiquement, la roche est massive, de couleur bleu-foncé à noire. La matrice à grain fin, de teinte sombre, contient des porphyroblastes centimétriques à structure en sablier, qui prennent par altération l'aspect de taches de teinte plus claire et

¹ Manuscrit reçu le 27 mars 1981, communication présentée le 5 mai 1981.

² Laboratoire de Minéralogie, Place du XX Août, 7-9, Liège.

parfois ocrée, qu'il est commode d'appeler "macules" (P. de Béthune, 1966). Sous le microscope, la mésostase est essentiellement composée de **clinozoïsite**, qu'accompagnent parfois un peu de **zoïsite** et du **quartz** en proportion variable. Elle est fortement obscurcie par un pigment **graphitique** très abondant (P. de Béthune & Martin, 1966) et contient accessoirement des **grenats** millimétriques de type pyrénéite, des aiguilles et des gerbes d'**amphibole**, du **sphène**, et parfois un peu de **chlorite**. Les macules sont constituées de fines aiguilles d'amphibole en position parallèle, entrelardées de quartz microgranoblastique et contiennent des inclusions de grenat et de clinozoïsite identiques à ceux de la matrice. Ces macules correspondent vraisemblablement à des porphyroblastes de **diopside** ouralitisé (Renard, 1897 ; Klement, 1897 ; Wichmann, 1897 ; P. de Béthune, 1966 ; S. de Béthune, 1977 a et b). Les **épidotites** sont parfois traversées par des veinules de quartz millimétriques et centimétriques, où sont venu recristalliser l'épidote et l'amphibole. (Vandendriessche, 1941 ; Antun, 1955).

La nature et l'origine de cette roche ont fait l'objet de plusieurs hypothèses. Pour Schoep (1931), Vandendriessche (1941) et Denayer & Mortelmans (1954), les macules correspondent à des phénocristaux de plagioclase pseudomorphosés, d'une roche porphyrique gabbroïque, qui aurait été injectée en filon couche entre les assises sédimentaires. La présence abondante d'épidote serait le résultat de la sausréduction du feldspath.

Pour notre part, et à l'instar de plusieurs auteurs (Stainier, 1907, 1929 ; Corin, 1931b ; Antun, 1955 ; P. de Béthune & Martin, 1966), nous y voyons le résultat de la transformation métamorphique d'une intercalation marneuse dans les phyllades et les quartzites du Dévonien inférieur.

Les affleurements d'épidotite ne sont actuellement plus observables. Les échantillons étudiés sont des blocs éboulés provenant des anciennes ballastières situées le long de chemin de fer à 1500 mètres au sud-est de la gare de Libramont. Les analyses des minéraux ont été effectuées par J. Wautier sous la microsonde du Laboratoire de Pétrographie de l'U.C.L., et ont fait l'objet d'un travail antérieur (S. de Béthune, 1977b). Les analyses des roches sont dues à Mr. Herman et à Mme Ledent du Laboratoire d'analyse de Tervueren. Grâce à l'obligeance de Mr. le Professeur Stoops, ainsi que de Messieurs Geets et De Paepe, nous avons eu accès aux collections de lames minces de Vandendriessche, entreposées à la R.U.G.

LES MINÉRAUX ET LEURS RELATIONS TEXTURALES

La roche a entièrement recristallisé sous l'effet du métamorphisme et n'a conservé intact aucun de

ses minéraux sédimentaires originels. Seule, la stratification, soulignée par l'alternance de petits lits millimétriques, plus riches en quartz, est parfois encore reconnaissable à l'échelle macroscopique. Les macules recoupent cette stratification et correspondent donc manifestement à la cristallisation d'un minéral porphyroblastique néogène (S. de Béthune, 1977 a et b).

Les relations texturales entre minéraux permettent de reconstituer les étapes successives de cristallisation.

La **clinozoïsite** (Ps10) microgranoblastique renferme fréquemment un noyau de **pistachite** (Ps15). La limite entre le noyau et la couronne externe est toujours tranchée et parfois soulignée par de fines inclusions graphiteuses. Ce type de zonation suggère l'existence d'une lacune de solubilité entre la clinozoïsite et la pistachite. Une légère zonation continue s'observe également à l'intérieur du noyau et de la couronne externe de certains grains, et correspond à une diminution progressive de la teneur en Fe^{3+} du centre vers le bord.

La **zoïsite**, de composition comprise entre Ps0 et Ps5, apparaît parfois et se présente en grains isolés, souvent poeciloblastiques, renfermant des inclusions de clinozoïsite. L'assemblage clinozoïsite-zoïsite, suggère également l'existence d'une lacune de solubilité pour la clinozoïsite, vers les basses teneurs en Fe^{3+} (Ackermann *et al.*, 1973 ; S. de Béthune, 1977b).

Outre le quartz, le graphite et le sphène, les **épidotes** contiennent des inclusions d'amphibole (Pl. II, C-D). A une seule reprise, dans une lame mince des collections pétrographiques de la R.U.G. (Lame V127) nous avons observé un porphyroblaste idioblastique de **zoïsite** renfermant du grenat.

Les grains d'épidote sont soit jointifs, soit séparés par du quartz interstitiel. Le contour des grains est fréquemment souligné par un liseré plus ou moins épais de graphite, comme si celui-ci avait été refoulé lors de la croissance de l'épidote. (Pl. I : A, II : C).

Le **grenat** de type pyrénéite est porphyroblastique, atteignant une taille millimétrique (Pl. I : A). Il développe parfois une forme rayonnante formée de 3 à 6 branches (Pl. I : C) qui sont à leur tour ramifiés, suggérant un mode de cristallisation rapide de type dendritique (Atherton, communication personnelle). Les inclusions sont piégées entre ces bras ; il s'agit de quartz, de sphène et plus rarement vers la périphérie, de clinozoïsite. La présence d'un peu de calcite est également possible, principalement dans le centre du grenat, souvent bourré de micro-inclusions. Le graphite forme un liseré épais sur le pourtour du gre-

nat, et n'est jamais inclus à l'intérieur de celui-ci.

Lorsque le grenat cristallise au contact ou à l'intérieur d'une gerbe d'amphibole, il peut renfermer des inclusions de ce minéral, allongées et disposées de façon à esquisser clairement la forme antérieure de la gerbe. L'amphibole est donc clairement corrodée lors de la croissance du grenat, et celui-ci lui est donc en partie postérieur.

La composition du grenat se rapproche de celle du grenat pyrénéite de la région de Libramont, naguère analysé par Renard (1882) ; il est à la fois riche en spessartine, en grossulaire et en almandin, avec des teneurs accessoires en pyrope et en andradite. Il débord largement la lacune de solubilité généralement admise entre les almandin-spessartine et le grossulaire (Tröger, 1959). Sa teneur en cations Mn, Fe et Ca varie systématiquement et parfois irrégulièrement du centre vers le bord comme illustré aux figures 1a et b. La signification d'une telle zonation reste cependant énigmatique. La diminution progressive et régulière du manganèse depuis le centre (A) jusqu'en F correspondrait à une déplétion normale en cet élément (Hollister, 1966 ; Atherton, 1968) compensé dans un premier stade (A à E) par le fer, tandis que le calcium reste à peu près constant, et dans un deuxième stade, de E à F ou G, par le calcium, tandis que le fer à son tour subirait une déplétion. La couronne externe (de G à H) est marquée par un accroissement brutal de la teneur en manganèse et dans une moindre mesure en fer, compensée par la chute du calcium. Cet effet de bord est irrégulier et ne s'observe pas partout sur le contour du grain. Il correspond vraisemblablement au rééquilibrage du grenat en réponse à une diminution de l'intensité du métamorphisme lors de la phase rétro-morphique (P. de Béthune, Laduron & Bocquet, 1975).

L'amphibole de la matrice (Pl. I : C), en aiguilles ou en gerbes, est un minéral accessoire qui s'est fait partiellement ingérer par l'épidote et le grenat.

Dans certaines plages plus quartzieuses, l'amphibole a été résorbée, et ne se reconnaît plus qu'à la présence de très petites inclusions à l'intérieur du quartz microgranoblastique et esquissant encore la forme de la gerbe antérieure (Pl. II : A-B). La finesse du grain, et la présence d'une multitude de micro-inclusions de quartz ont empêché jusqu'à présent d'en obtenir une analyse chimique satisfaisante. L'étude qualitative sous la microsonde suggère qu'il s'agit d'une amphibole peu alumineuse riche en magnésium, de la famille actinote-trémolite.

Les macules sont constituées essentiellement d'un faisceau orienté de fibres d'amphibole associées à du

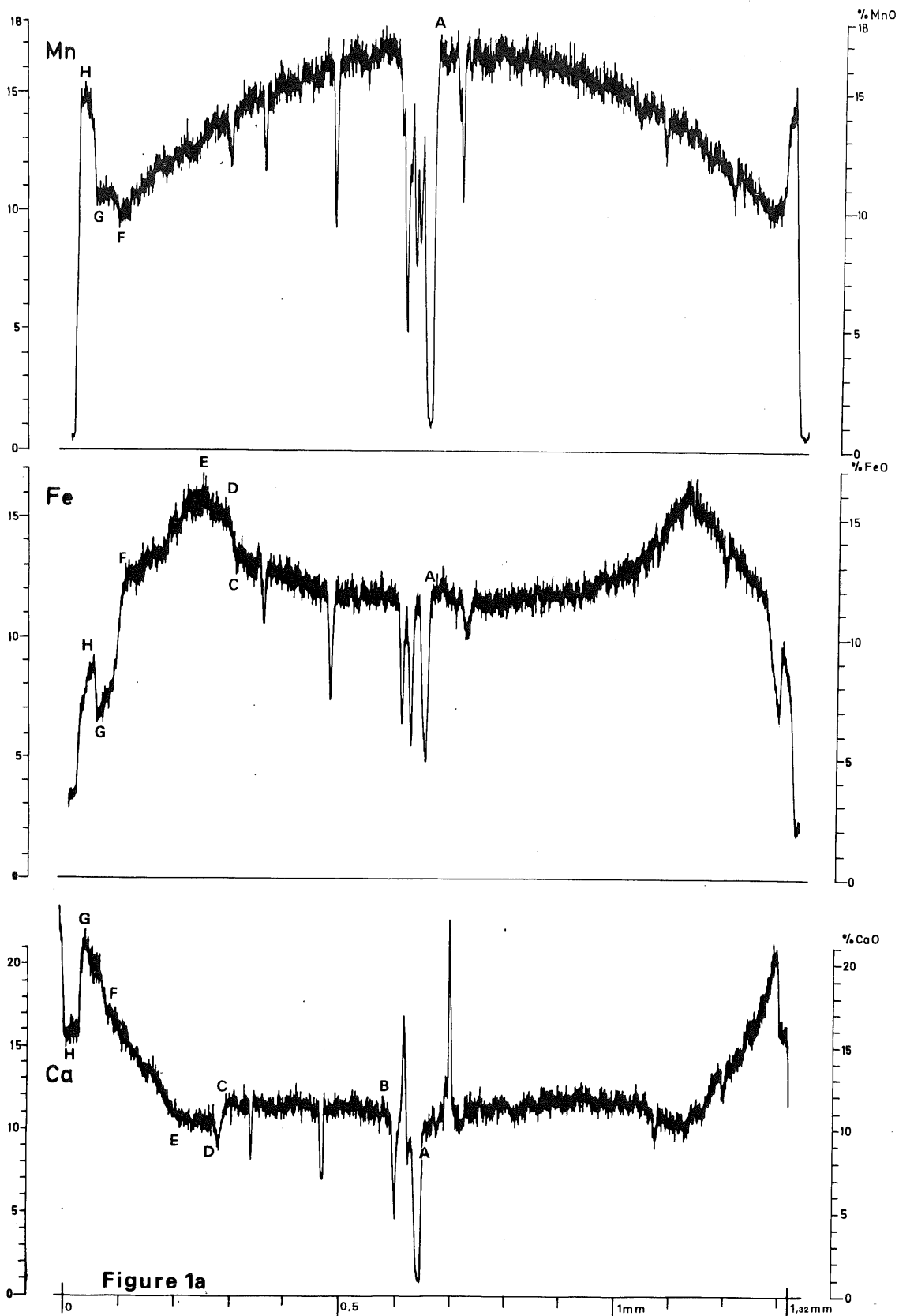
quartz microgranoblastique et renfermant en inclusion des grains de clinozoïsite et de grenat semblables à ceux de la matrice. Elles se présentent dans le fond sombre de la roche comme des taches claires au contour souvent polygonal de taille centimétrique (Pl. I : B). Nous avons déjà exposé antérieurement les raisons qui nous font croire que les macules correspondent à une pseudomorphose par ouralitisaiton de diopside (S. de Béthune, 1977 a et b), et nous ne rappellerons dès lors ici que les observations minéralogiques et texturales d'intérêt pétrologique. Contrairement à la matrice, qui est riche en graphite, les macules sont nettement dépigmentées. De la même manière que pour l'épidote et pour le grenat, le graphite a été refoulé sur les bords de la macule, où il forme un liseré qui souligne clairement le contour idioblastique du porphyroblaste initial. Seul subsiste le graphite contenu dans ou entre les inclusions de clinozoïsite et de grenat, ainsi que des fragments épais du liseré graphitique marquant des arrêts localisés de la croissance d'une face cristalline et qui ont été enclavés latéralement par la reprise de la cristallisation. Un fin pigment graphitique diffus dessine parfois une croix de St André, qui correspond à la structure en sablier visible à même l'échantillon (Pl. I : B).

Les aiguilles d'amphibole de la macule sont généralement très fines et bourrées de micro-inclusions de quartz, ce qui nous a empêché jusqu'à présent d'en obtenir une analyse chimique valable. Des essais semi-quantitatifs sous la microsonde montrent qu'il s'agit d'une variété d'actinote riche en magnésium.

A côté des fines fibres d'amphibole orientée on observe des amphiboles en gerbe comparables à celle de la matrice, et développées obliquement au travers de l'amphibole orientée. Il faut remarquer toutefois que, tandis que les gerbes contenues dans la matrice manifestent une certaine corrosion et que leurs fibres sont séparées par des films de pigment graphitiques, dans les macules les cristaux aciculaires de ces gerbes sont mieux formées et parfaitement limpides. Il s'agit donc bien de cristaux qui, comme l'amphibole orientée, ont cristallisé dans un milieu dont le graphite avait été refoulé au préalable. Ces amphiboles en gerbe sont donc au même titre que l'amphibole orientée, le produit de l'ouralitisaiton du pyroxène.

Un raisonnement de même nature s'applique au cas de certaines clinozoïsites, qui sont totalement dépourvues d'inclusions graphitiques et dont la cristallisation tardive pourrait donc également être contemporaine du processus d'ouralitisaiton.

Les minéraux accessoires des épidotites sont



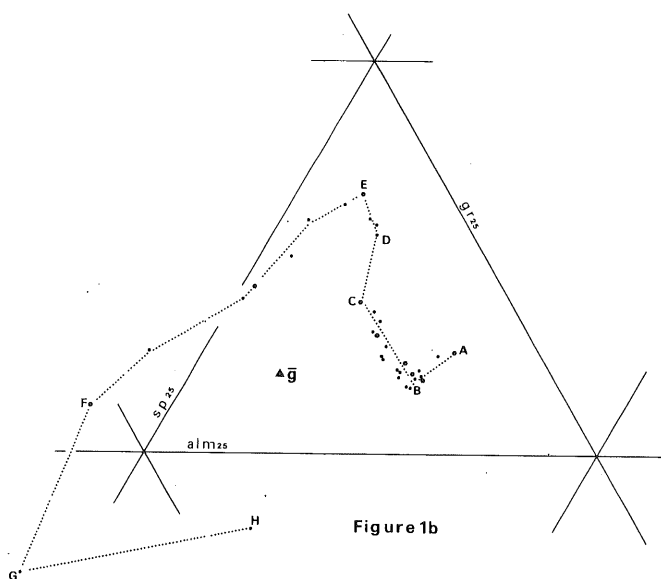


Figure 1a

Profil diamétral de zonation chimique d'un grenat d'une épidotite. En ordonnée, pourcentages pondéraux des oxydes MnO, FeO et CaO. A : centre du grenat ; H : bord du grenat.

Figure 1b

Variation de la composition chimique du grenat exprimé dans le triangle almandin-grossulaire-spessartine.

A : centre du grenat ; H : bord du grenat ; \bar{g} : composition chimique moyenne du grenat

principalement le sphène et parfois une chlorite magnésienne secondaire. Cette dernière est fréquemment incluse dans les macules et doit selon toute vraisemblance également être mise en rapport avec l'ouralitisation. Corin (1931b) signale avoir observé quelques rares grains de biotite dans ce type de roche.

De l'étude des relations texturales nous pouvons conclure que :

- L'amphibole de la matrice est un minéral précoce ; il est antérieur à l'apparition de l'épidote et du grenat.
- La cristallisation de l'épidote s'est faite en plusieurs étapes : cristallisent en premier lieu les noyaux de pistachite (Ps15) suivis de la couronne de clinozoisite (Ps10) qui les isolent du reste de la roche. La

zoisite cristallise à son tour, englobant parfois la clinozoisite.

- Le sphène est antérieur à l'apparition de l'épidote.
- La cristallisation du grenat est postérieure à l'apparition de l'amphibole et de la clinozoisite. La zoisite est vraisemblablement postérieure à l'apparition du grenat.
- Le diopside cristallise ensuite, englobant à la fois l'épidote et le grenat.
- La dernière étape de recristallisation correspond à l'ouralitisation du pyroxène, transformant celui-ci en une symplectite quartz-actinote, qu'accompagne un peu de clinozoisite et de chlorite.

Les épidotites de Libramont ont manifestement été le siège de transformations métamorphiques complexes. Leur cristallisation s'est effectivement opérée en plusieurs étapes, dont certaines sont actuellement encore reconnaissables. De ce fait, les phases minérales formées n'ont jamais atteint un équilibre parfait à l'échelle de la lame mince. Les noyaux de pistachite, séparés du reste de la roche par leur couronne de clinozoisite, les grenats zonés, les amphiboles partiellement résorbées, sont autant de reliques qui n'ont pas été rééquilibrées lors des diverses recristallisations. D'autre part, l'ouralitisation du pyroxène est une réaction rétro-morphique. Ce type de réaction est très souvent incomplet et correspond généralement à un état de déséquilibre. Il est vraisemblable que la zonation inverse observée dans la couronne du grenat est également liée à une réaction rétro-morphique. On devra par conséquent tenir compte de ces déséquilibres lors de l'interprétation des analyses chimiques de ces roches.

LES ANALYSES CHIMIQUES ET LEUR INTERPRÉTATION

Les résultats de l'analyse de cinq échantillons d'épidotites sont reproduits au tableau 1.

A eux seuls, la silice, l'alumine et le calcium, constituent à peu près 90 % en poids de la roche. Le fer trivalent et les ferromagnésiens n'y entrent que pour un peu plus de 5 % en moyenne. La teneur en MnO s'élève à plus de 0,5 %, nettement au-delà de 0,11 %, renseigné pour la teneur moyenne des roches carbonatées en général (Turekian & Wedepohl, 1961). Les alcalis, Na₂O et K₂O, sont accessoires. Le CO₂ semble être surestimé au regard de la teneur observable en calcite. Une partie du carbone, qui est généralement très abondant, aura vraisemblablement été dosé accidentel-

Tableau I.- Analyses chimiques d'épidotites de Libramont.

	R1		R2		R3		R4		R5	
SiO ₂	61.81	1029	51.33	854	55.30	920	69.57	1158	59.85	996
TiO ₂	0.82	10	0.53	7	0.40	5	0.62	8	0.50	6
Al ₂ O ₃	15.36	151	20.08	197	18.78	184	10.69	105	15.28	150
Fe ₂ O ₃	2.58	16	3.34	21	3.28	21	2.08	13	3.20	20
FeO	1.44	20	1.18	16	0.85	12	1.27	18	1.24	17
MnO	0.72	10	0.59	8	0.67	9	0.60	8	0.70	10
MgO	0.70	17	1.60	40	1.50	37	2.00	50	1.70	42
CaO	12.95	231	16.53	295	14.67	262	10.24	183	13.60	243
Na ₂ O	0.04	1	0.04	1	0.06	1	0.06	1	0.05	1
K ₂ O	0.10	1	0.09	1	0.10	1	0.05	1	0.09	1
P ₂ O ₅	0.11	1	0.20	1	0.19	1	0.10	1	0.18	1
H ₂ O ⁺	1.96	109	1.57	87	1.45	80	0.11	6	0.00	0
H ₂ O ⁻	0.06	3	0.08	4	0.07	4	0.20	11	0.17	9
CO ₂	0.66	15	0.59	13	0.44	10	0.03	1	0.95	22
C	0.68	57	2.18	182	2.48	207	2.38	198	2.54	212
Total	99.99		99.93		100.24		100.00		100.05	

Tableau II.- Composition modale calculée des épidotites.

	R1		R2		R3		R4		R5	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Quartz	39.1	44.6	19.4	22.7	25.4	29.0	48.3	53.3	33.4	38.1
Sphène	2.0	1.7	1.3	1.1	1.0	0.9	1.5	1.3	1.2	1.1
Clinzoïsite	29.4	27.3	42.4	40.2	34.6	32.1	12.1	10.9	13.9	12.9
Pistachite	20.2	18.3	23.5	21.8	26.5	24.1	21.6	19.0	35.6	32.3
Grenat	4.8	3.7	3.8	2.9	4.3	3.3	4.2	3.1	4.7	3.6
Amphibole	3.7	3.4	8.4	8.1	7.6	7.3	10.2	9.4	9.1	8.6
Graphite	0.7	0.9	2.2	3.0	2.5	3.4	2.4	3.1	2.5	3.4
Résidus										
FeO	0.5		-0.1		-0.4		-0.2		-0.1	
CaO	-0.2		-0.9		-1.6		-0.1		-0.3	

a : pourcentage en poids.

b : pourcentage en volume.

lement sous forme de CO_2 . La teneur en eau est manifestement trop basse pour les analyses R4 et R5. Ceci n'affecte toutefois pas la valeur des rapports des autres constituants dosés.

La composition modale des épidotites a été calculée à partir de leur analyse chimique, en fonction des minéraux présents (tableau II).

Pour le quartz, le sphène et le graphite, il a été fait appel à leur formule théorique. L'amphibole répond à la formule $\text{Ca}_2\text{Mg}_4\text{FeSi}_5\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, d'une actinote magnésienne. La clinozoisite et la pistachite correspondent à deux analyses chimiques ponctuelles effectuées dans la roche R2 (S. de Béthune, 1977b, tableau IV, Ep4 et Ep10). Le grenat correspond à la composition chimique moyenne $\bar{G} = \text{Ca}_{1,2}\text{Fe}_{0,9}\text{Mn}_{0,9}\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ calculée à partir des profils de zonation de la figure 1a. Étant donné les incertitudes liées au dosage du CO_2 et de H_2O , nous n'avons pas tenu compte de ces composants. L'apatite, toujours accessoire, a également été négligée.

Le mode calculé correspond bien à la composition minéralogique actuelle de ces roches, ce qui témoigne de la qualité des analyses. Les épidotites sont composées de 80 à 90 % d'épidote et de quartz, et d'un peu plus de 10 % en moyenne d'amphibole et de grenat, le reste se partageant entre le sphène et le graphite. Le léger déficit en CaO suggère que les épidotites ne peuvent renfermer d'autres minéraux calciques. La présence de calcite, même occulte est par conséquent peu probable.

Le partage en pourcentage moléculaire entre

1. la silice : S
2. l'alumine et le fer trivalent : $A + F'$, et
3. la somme des cations calcium et ferromagnésiens : $C + F$, est analysé à la figure 2. L'alignement des points à l'intérieur du quadrilatère Quartz (q) - Epidote (ep) - Grenat (g) - Amphibole (am), parallèlement au joint q-ep, exprime la teneur variable en quartz de ces roches. Celle-ci correspond vraisemblablement à une fluctuation de l'apport en quartz détritique des roches originelles, mélangé à une matrice argilo-carbonatée de composition plus ou moins constante.

Le système chimique permettant de décrire la paragenèse clinozoisite + zoisite + amphibole + diopside + quartz + grenat + graphite + sphène, qui semble avoir été l'association minérale stable au cours du climax du métamorphisme, comporte les dix composants SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , H_2O et C.

Au moment de la cristallisation de cette paragenèse, les roches ont pu contenir une phase fluide constituée principalement d'eau et de CO_2 (provenant des réac-

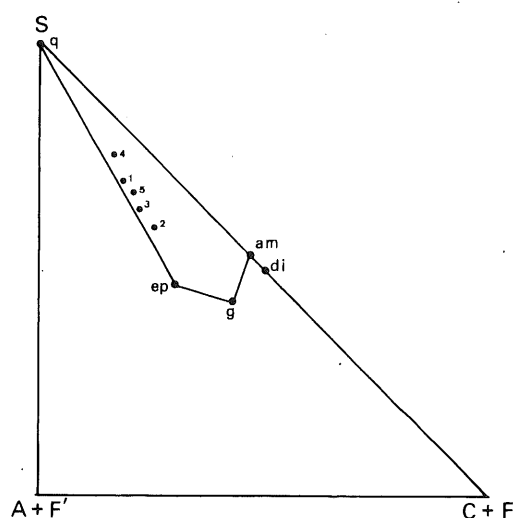


Figure 2

Composition chimique des épidotites exprimé dans le triangle SiO_2 (S), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($A + F'$), $\text{CaO} + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}$ ($C + F$). Les minéraux quartz (q), épidote (ep), grenat (g) et diopside (di) y sont représentés conformément à leur formule théorique. L'amphibole (am) représente d'une manière approchée les amphiboles des épidotites en négligeant leur teneur en alumine. L'alignement des points parallèlement au joint quartz-épidote, exprime la teneur variable en quartz de ces roches, et montre que leur rapport $(A + F')/(C + F)$ est relativement constant.

tions de décarbonatation) en proportions variables. Comme c'est fréquemment le cas dans des roches de faciès greenschist, les constituants de la phase fluide peuvent être considérés comme étant des composants parfaitement mobiles. Ceci ramène à 9 le nombre de composants déterminants inertes du système, pour un total de huit phases en équilibre. En négligeant le titane, qui est un composant accessoire, et en projetant la paragenèse depuis le quartz et le graphite, le système peut être décrit au moyen des six composants restants. Le pseudosystème ternaire de la figure 3, analyse le partage entre l'aluminium (A), le fer trivalent (F') et l'ensemble des cations bivalents ($C + F$). Il permet de représenter la composition variable des épidotes, et illustre clairement que le noyau de pistachite (ps) des clinozoisites (cz) ne peut être en équilibre avec la zoisite (z). La composition globale des roches tombe dans un domaine délimité par les phases ps-cz-g-am. Ce n'est qu'en soustrayant le noyau pistachitique de l'analyse chimique globale, que l'on peut amener les roches à

l'intérieur du domaine cz-z-g-am qui correspond à l'équilibre exprimé par la paragenèse. Ceci est illustré par des vecteurs rayonnants à partir du pôle ps. Comme nous n'avons pas pu mesurer pour chaque roche la teneur exacte en pistachite, la longueur des vecteurs est indéterminée. Toutefois, étant donné la faible teneur en zoïsite et en grenat, les vecteurs ne pénétreront pas très loin à l'intérieur du domaine de la zoïsite, mais s'arrêteront à proximité du joint cz-am.

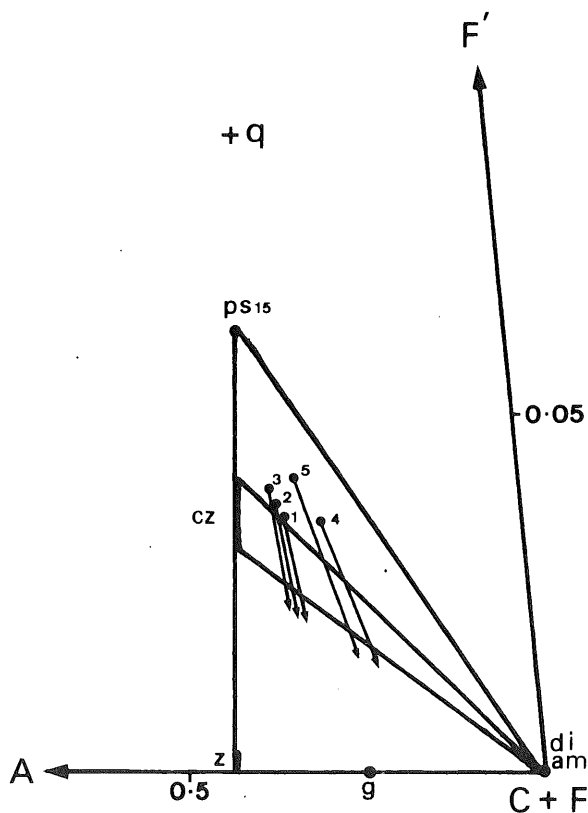


Figure 3

Triangle Al_2O_3 (A), Fe_2O_3 (F'), $CaO + FeO + MnO + MgO$ (C + F) compatible avec le quartz (+q). Le diagramme permet de représenter la composition variable des épidotes analysées : la pistachite (ps 15) incluse dans la clinozoïsite (cz), elle-même associée à de la zoïsite (z), et montre que les noyaux de pistachite sont incompatibles avec la zoïsite. Les épidotites se projettent dans le champ de phases pistachite-clinozoïsite-amphibole (am). En soustrayant la pistachite de l'analyse globale, les roches migrent, en s'écartant du pôle ps, le long des vecteurs représentés, jusque dans le champ de phases clinozoïsite-zoïsite-amphibole.

En séparant le calcium des ferromagnésiens, et en regroupant l'alumine et le fer trivalent, on obtient le pseudosystème ternaire (A + F')CF de la figure 4. Il permet de représenter la composition variable du grenat depuis son centre (A) jusqu'à sa frange la plus calcique (G). La couronne rétro-morphique externe (H) a une composition intermédiaire entre ces deux extrêmes. La composition chimique moyenne du grenat (\bar{g}) a également été représentée.

Les épidotites se projettent, conformément à leur composition minéralogique à l'intérieur du domaine ep-am- \bar{g} , à l'exception de la roche R3, qui se situe non loin de là, à proximité du joint ep- \bar{g} .

Ce faible écart de composition est toutefois vraisemblablement inhérent à l'approximation de l'analyse chimique. Une faible variation de la teneur en calcium ou en ferromagnésiens ramènerait la projection de cette roche à l'intérieur du champ idoïne.

Le grenat étant zoné, seule la frange externe la plus

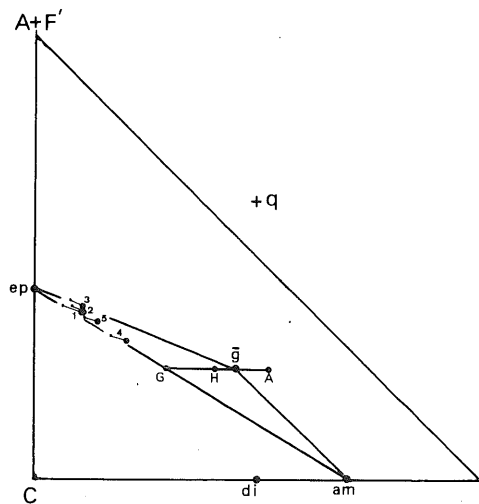


Figure 4

Triangle $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (A + F'), CaO (C), $FeO + MnO + MgO$ (F) compatible avec le quartz (q). Le diagramme permet de représenter la composition variable du grenat depuis son centre (A) jusqu'à sa frange la plus calcique (G). Sa couronne rétro-morphique (H) et sa composition chimique moyenne (\bar{g}) se situent entre ces deux extrêmes. Les épidotites se projettent dans le triangle épidote-grenat (\bar{g})-amphibole, et en soustrayant le grenat de l'analyse globale, elles migrent, en s'écartant du pôle \bar{g} , pratiquement jusqu'au joint épidote-amphibole.

calcique doit avoir été en équilibre avec la clinozoïsite, l'amphibole et peut-être le diopside. La frange tout à fait externe, épaisse de quelques dizaines de microns seulement, et par ailleurs discontinue, correspond au rajustement de l'équilibre du grenat lors de la phase hydrothermale tardive contemporaine de l'ouraltisation du pyroxène. Ces équilibres successifs, et parfois incomplètement réalisés, sont trop complexes pour pouvoir être analysés simplement au moyen d'un diagramme du type ACF. La présence de grenat, toujours riche en spessartine, est manifestement conditionnée par la teneur en MnO de la roche. En admettant en première approximation que tout le manganèse des roches soit contenu dans le grenat, et en soustrayant ce dernier de la composition chimique globale, les points se projettent pratiquement sur le joint ep-am (fig. 4).

La formation de diopside nécessiterait une composition encore plus calcique. Rappelons toutefois que les analyses représentent la composition actuelle des roches, c'est-à-dire après leur ouraltisation. Comme on le sait, ce type de réaction rétro-morphique s'écarte souvent de l'isochimisme, et peut par conséquent avoir été accompagné d'un départ d'une certaine quantité d'éléments, parmi lesquels le calcium. La présence de veinules de quartz à épidote et à amphibole, signalées par Vandendriessche (1941) et par Antun (1955), corrobore cette manière de voir. On peut penser qu'au moment de la cristallisation du diopside, les roches seraient venues se projeter à l'intérieur du champ de phase ep-am-di (diopside). Le départ du calcium les aurait ensuite ramenés sur le joint ep-am.

Si l'on admet les simplifications adoptées pour tenir compte de la composition chimique variable des minéraux constitutifs, ainsi que des petits écarts de l'isochimisme liés à l'altération hydrothermale de ces roches, la correspondance entre la composition minéralogique et la composition chimique des épidotites analysées est très satisfaisante. Malgré les recristallisations incomplètes, il est dès lors probable que l'association minérale clinozoïsite + zoïsite + actinote + diopside + quartz + grenat manganésifère + sphène + graphite, correspond à la paragenèse stable lors de la phase culminante du métamorphisme.

PETROGENESE DES EPIDOTITES

Les stades successifs de recristallisation des épidotites ont, hormis la stratification parfois encore reconnaissable, totalement oblitéré les structures de ces ro-

ches et en ont complètement altéré la minéralogie originelle. Leur origine sédimentaire ne fait toutefois aucun doute. La présence abondante de graphite, qui provient vraisemblablement de la transformation de substances organiques en carbone, permet d'exclure l'hypothèse avancée naguère par Schoep (1931) et défendue par Denayer (1938) et Vandendriessche (1941) qu'il s'agirait d'un gabbro (ou plutôt d'un basalte) entièrement saussuritisé, dans lequel les macules auraient correspondu à d'anciens phénocristaux de feldspath. Comme ces macules ont cristallisé in situ, elles correspondent à des porphyroblastes - et non à des phénocristaux - ultérieurement pseudomorphosés par de l'amphibole (S. de Béthune, 1977 a et b).

La parenté étroite des épidotites avec les para-amphibolites si fréquentes dans la région de Libramont, et la nature progressive du passage entre ces deux types de roches, renforce également l'hypothèse de leur origine sédimentaire.

Par leur chimisme il est raisonnable d'admettre que les épidotites étaient à l'origine des roches marneuses normalement interstratifiées dans les assises du Gedinnien, comme on en a observé en dehors de la zone métamorphique (Asselberghs, 1946). Outre le quartz, la calcite et une argile, ces roches devaient renfermer un minéral vecteur du fer trivalent, soit l'argile elle-même, soit encore de l'hématite. Les ferromagnésiens pourraient provenir d'une chlorite sédimentaire ou encore avoir été présents dans de l'ankérite. Nous avons en effet plusieurs fois constaté la présence de ferromagnésiens dans des carbonates d'autres roches métamorphiques de la région (S. de Béthune, 1977b), et nous avons récemment identifié de l'ankérite dans les schistes peu métamorphiques à pyrophyllite de Bohey au Grand-Duché du Luxembourg.

La décarbonatation progressive qui aurait transformé la marne initiale en épidotite à diopside est analysée schématiquement au moyen des diagrammes simplifiés de type ACF de la figure 5.

En partant d'une roche initialement composée de quartz, de kaolinite, de calcite et d'ankérite, on peut faire appel aux réactions successives suivantes, qui font apparaître les minéraux principaux dans l'ordre de cristallisation observé :

- (a) kaolinite + ankérite + H₂O =
quartz + chlorite + calcite + CO₂ (- ank; + ch)
- (b) quartz + chlorite + calcite =
kaolinite + amphibole + CO₂ + H₂O (- ch; + am)
- (c) quartz + ankérite + H₂O =
kaolinite + amphibole + CO₂ (- ank; + am)

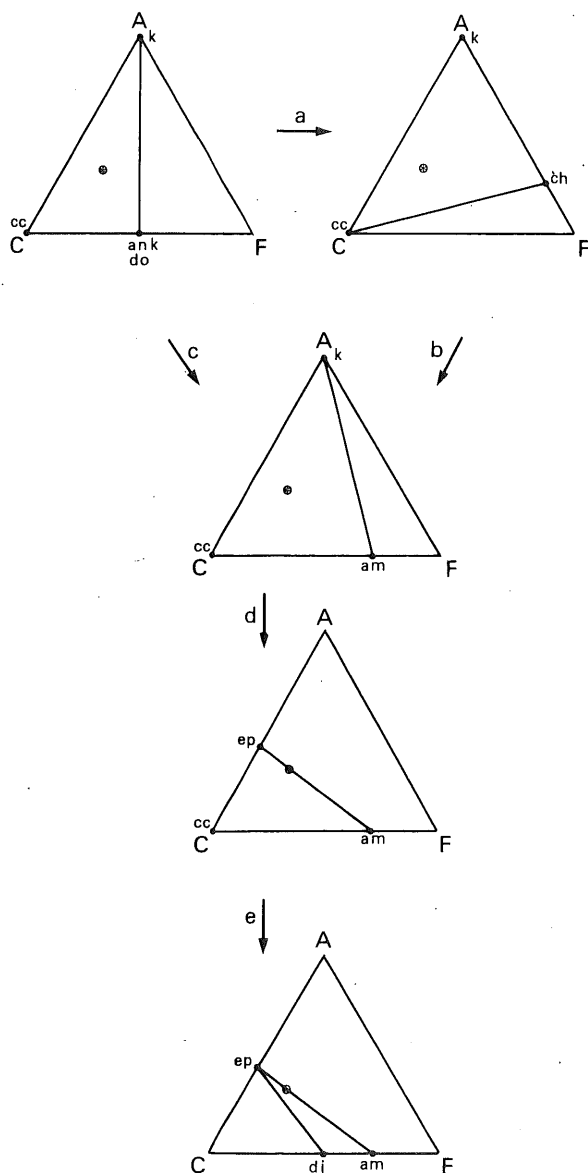
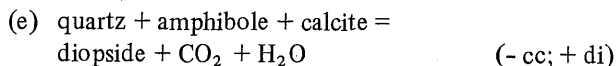
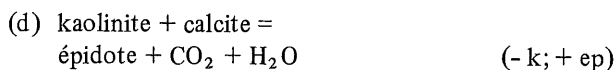


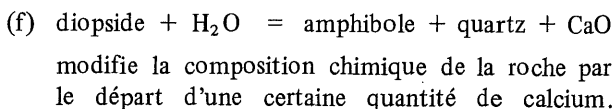
Figure 5

Pétrogenèse des épidotites. Les réactions de décarbonatation ayant donné naissance aux épidotites, au départ d'une roche marneuse composée de calcite (cc), d'ankérite (ank) ou de dolomite (do), de kaolinite (k) et de quartz, sont schématisées au moyen de plusieurs diagrammes ACF, où la composition moyenne des épidotites a été représentée par un point. Le passage d'un diagramme au suivant correspond aux réactions a, b, c, d et e énumérées dans le texte.



Ce n'est qu'au cours de la dernière réaction que toute la calcite est consommée.

Finalement, la réaction d'ouralitisation :



CONCLUSIONS

Les épidotites de Libramont sont des roches curieuses à plus d'un titre. Initialement des marnes, elles ont par décarbonatation donné naissance à de l'amphibole, des épidotes, du grenat et du diopside, tandis que la matière organique initiale s'est transformée en graphite.

Tant par son mode de cristallisation que par sa composition chimique, le grenat constitue à lui seul une curiosité minéralogique. Nous n'avons en effet nulle part trouvé dans la littérature de références à des grenats de cette composition.

La paragenèse de ces roches est également curieuse, lorsque l'on sait qu'elles sont interstratifiées dans des phyllades de faciès greenschist. L'association clinozoïsite-zoïsite dans un faciès aussi peu profond ne semble pas être en accord avec les observations expérimentales (Holdaway, 1972), qui suggèrent des températures de coexistence d'environ 700°C.

Ackermans & Raase (1973) signalent avoir observé cette association dans des schistes à biotite ayant cristallisés à des températures comprises entre 550 et 600°C, nettement supérieures aux températures généralement invoquées pour des roches de faciès greenschist (Winkler, 1974). Le même problème se pose pour l'apparition du diopside, qui au regard des théories généralement acceptées sur le métamorphisme, semble devoir appartenir à un grade nettement plus profond que celui du faciès greenschist. Cette difficulté est toutefois de même nature que la présence de plagioclase calcique de certaines amphibolites (Antun, 1955 ; S. de Béthune 1976) et de cornéites à biotite (S. de Béthune, 1976), et nous nous proposons de les traiter ensemble dans le cadre d'une théorie plus générale.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers

Messieurs les Professeurs P. de Béthune et D. Laduron qui ont toujours suivis l'évolution de cette recherche avec le plus vif intérêt.

Cette recherche a été partiellement subsidiée par le F.N.R.S. et par l'I.R.S.I.A.

BIBLIOGRAPHIE

- ACKERMAND, D. & RAASE, P., 1973. Coexisting zoisite and clinozoisite in biotite schists from the Hohe Tauern, Austria. *Contr. Min. Petr.*, 42 : 333-341.
- ANTUN, P., 1955. Epidote de Libramont. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 79 : B29-31.
- ASSELBERGHS, E., 1946. L'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. *Mém. de l'Inst. géol. de Louvain*, tome 14.
- ATHERTON, M.P., 1968. The variation in garnet, biotite and chlorite composition in medium grade pelitic rocks from the Dalradian, Scotland, with particular reference to the zonation in garnet. *Contr. Min. Petr.*, 18 : 347-371.
- BETHUNE, P. de, 1966. A propos des macules de la roche de Libramont. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 89 : B131-139.
- BETHUNE, P. de, & MARTIN, H., 1966. Sur le pigment de la roche de Libramont. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 89 : B403-410.
- BETHUNE, P. de, LADURON, D. & BOCQUET, J., 1975. Diffusion processes in resorbed garnets. *Contr. Min. Petr.*, 50 : 197-204.
- BETHUNE, S. de, 1976. Formation of metamorphic biotite by decarbonation. *Lithos*, 9 : 309-318.
- BETHUNE, S. de, 1977a. Les macules de l'épidotite à ouralite de Libramont sont-elles pseudomorphes de diopside ? *Bull. Soc. belge Géol.*, 86 : 13-14.
- BETHUNE, S. de, 1977b. Les minéraux de la zone métamorphique de Libramont. *Serv. Géol. Belg. Prof. Paper*, 142 : 1-42.
- BETHUNE, S. de, 1977c. Le métamorphisme de Libramont. Thèse de doctorat U.C.L. inédite.
- CORIN, F., 1931a. Compte-rendu de la Session Extraordinaire de la Société belge de Géologie, tenue à Libramont les 11, 12, 13, 14 et 15 septembre 1931. *Bull. Soc. belge Géol.*, 41 : 339-381. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 54 : B413-456.
- CORIN, F., 1931b. Le problème des roches dites à ouralite de Libramont. *Bull. Soc. belge Géol.*, 41 : 55-64.
- CORIN, F., 1931c. Sur un nouveau gisement de roches maclifères à Libramont. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 54 : B343-345.
- CORIN, F., 1939. Gisements actuellement connus de roches à ouralite aux environs de Libramont. *Bull. Soc. belge Géol.*, 48 : 495-497.
- CORIN, F., 1965. Atlas des Roches Eruptives de Belgique. *Mém. expl. Cartes géol. et minières de la Belgique*, 4.
- DENAEYER, M., 1938. Sur la découverte et les conditions de gisement d'un nouveau nodule de la roche dite à ouralite de Libramont. *Bull. Soc. belge Géol.*, 48 : 403-407.
- DENAEYER, M. & MORTELMANS, G., 1954. Les roches éruptives. *Prodrome d'une description géologique de la Belgique* : 785-787.
- DUPONT, E., 1885. Sur l'existence de roches maclifères dans le terrain dévonien inférieur de l'Ardenne. *Bull. Acad. Roy. Belg.*, (3) 9 : 110-114.
- HOLDAWAY, M.J., 1972. Thermal stability of Al-Fe Epidote as a function of fO₂ and Fe content. *Contr. Min. Petr.* 37 : 307-340.
- HOLLISTER, L.S., 1966. Garnet Zoning : An interpretation based on the Rayleigh fractionation Model. *Science*, 154 : 1647-1651.
- KLEMENT, C., 1897. Sur le diallage ouralitisé de l'Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol.*, 11 : 150-155.
- MELON, J., BOURGUIGNON, P. & FRANSOLET, A.M., 1976. Les minéraux de Belgique. *Dison, Lelotte*.
- RENARD, A., 1882. Les roches grenatifères et amphiboliques de la région de Bastogne. *Bull. Mus. roy. Hist. natur. Belg.*, 1 : 1-55.
- RENARD, A., 1897. Sur la présence de la zoisite et du diallage dans les roches métamorphiques de l'Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol.*, 11 : 136-137.
- SCHOEP, A., 1931. Sur la constitution minéralogique et sur la nature de la roche dite à ouralite de Libramont. *Bull. Soc. belge Géol.*, 41 : 184-187.
- STAINIER, X., 1907. Sur le mode de gisement et l'origine des roches métamorphiques de la région de Bastogne (Belgique). *Acad. roy. Belg., Mém. in 4^o*, (2) : 1.
- STAINIER, X., 1929. Le métamorphisme des régions de Bastogne et de Vielsalm. *Bull. Soc. belge Géol.*, 39 : 112-156.
- TROGER, W.E., 1959. *Optische Bestimmung der Gesteinsbildenden Minerale. Teil 1. Bestimmungstabellen.* E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- TUREKIAN, K. and WEDEPOHL, K., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* 72 : 175-191.
- VANDENDRIESSCHE, A., 1941. *Bijdrage tot de petrographie der metamorphe gesteenten van de streek van Bastogne-Libramont.* Gent, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift.
- WICHMANN, A., 1897. Sur l'ouralite de l'Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol.*, 11 : 155-157.
- WINKLER, H.G., 1974. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*, Springer Verlag.

PLANCHE I

- A.- Matrice granoblastique d'une épidotite de Libramont. Microphotographie en lumière naturelle. Champ de 6 x 9 mm.

Elle est constituée essentiellement de grains d'épidote zonée (grains de forme allongée à sections plus ou moins prismatiques) et de nombreux petits grains de quartz interstitiels. Deux grenats se reconnaissent à leur plus grande taille et à leur forme arrondie. La matrice est obscurcie par la présence d'un pigment graphitique abondant, concentré sur les bords des grains de clinozoïsite et de grenat.

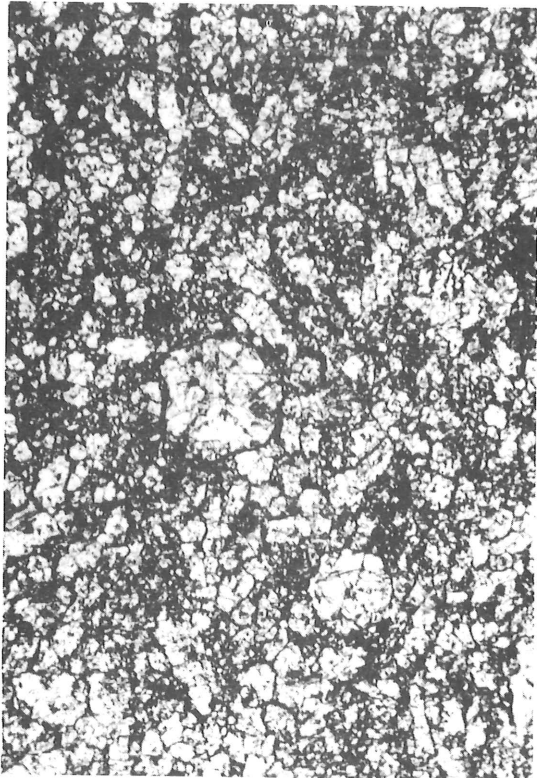
- B.- Matrice microgranoblastique d'une épidotite, dans laquelle baigne une macule de taille centimétrique. Microphotographie en lumière naturelle. Champ de 6 x 9 mm.

La matrice a une granulométrie beaucoup plus fine que sur la photo A, et est également nettement plus riche en graphite.

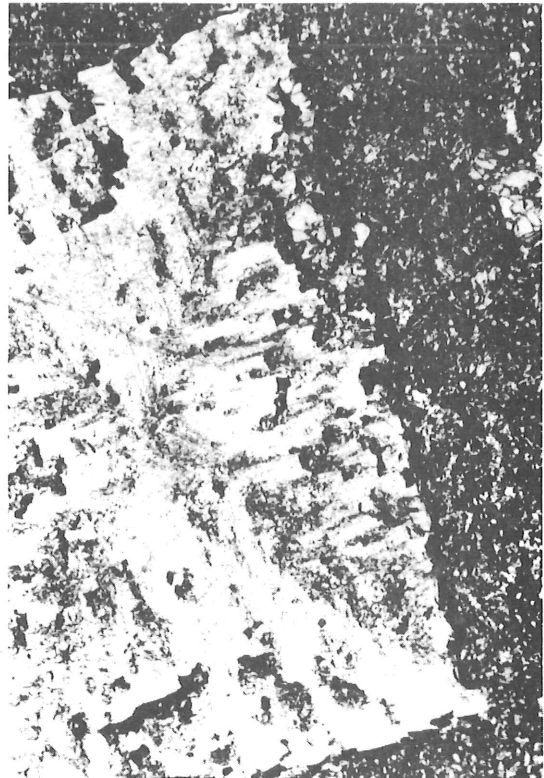
La macule, manifestement dépigmentée par rapport à la matrice, est principalement constituée d'un faisceau d'aiguilles d'amphibole orientées parallèlement à la petite base de la section et de quartz interstitiel. Cette symplectite quartz-amphibole correspond au produit d'ouraltisation d'un pyroxène. Celui-ci a cristallisé au sein de la matrice en développant ses formes propres et en refoulant progressivement le graphite qui s'est concentré en une frange plus ou moins épaisse sur le pourtour du grain. Quelques fragments du liseré graphitique ont été enclavés lors de la croissance du porphyroblaste de pyroxène. On reconnaît également un fin pigment graphitique diffus, dessinant une croix de St-André, correspondant à une structure en sablier. La macule renferme en inclusions un porphyroblaste de grenat ainsi que de petits grains de clinozoïsite identiques à ceux de la matrice.

- C.-D. Epidotite riche en quartz et pauvre en graphite. Microphotographie en lumière naturelle (C) et entre nicols croisés (D). Champs de 6 x 9 mm.

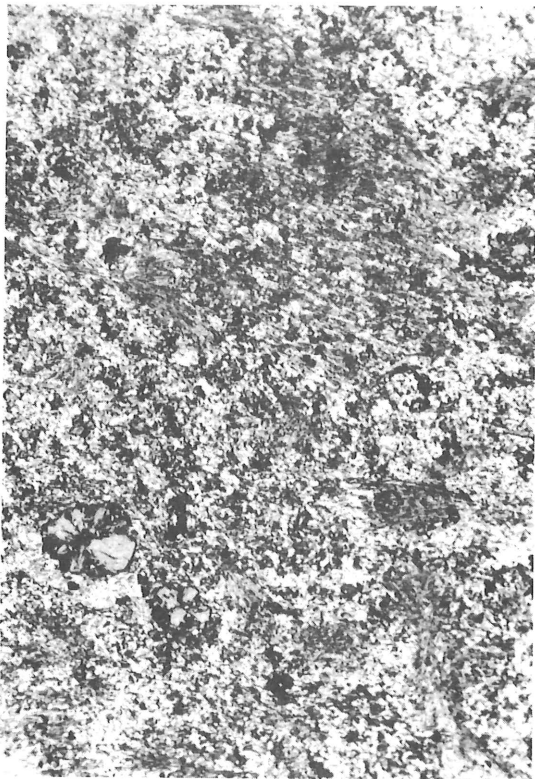
Matrice microgranoblastique de quartz et de clinozoïsite dans laquelle on reconnaît quelques grains de grenat rayonnant et des gerbes d'amphibole. La plage renferme également une macule dont le contour extérieur ne s'observe bien qu'entre nicols croisés, grâce à l'orientation optique uniforme des aiguilles d'amphibole.



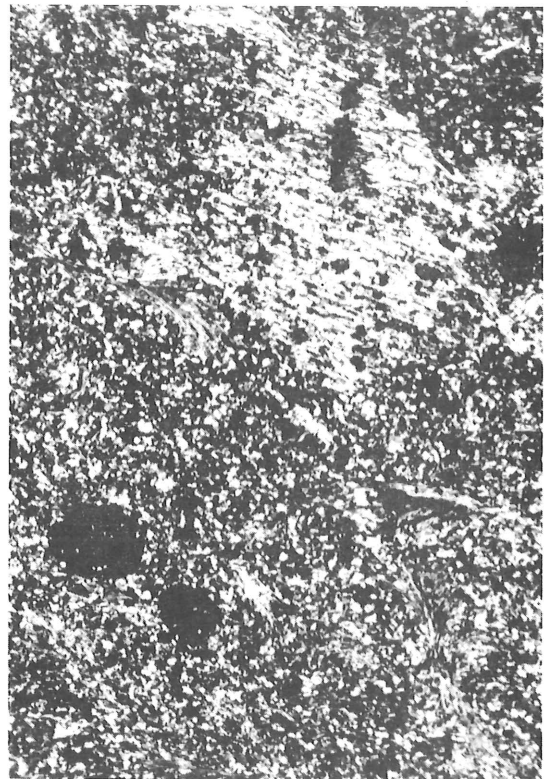
A



B



C



D

PLANCHE II

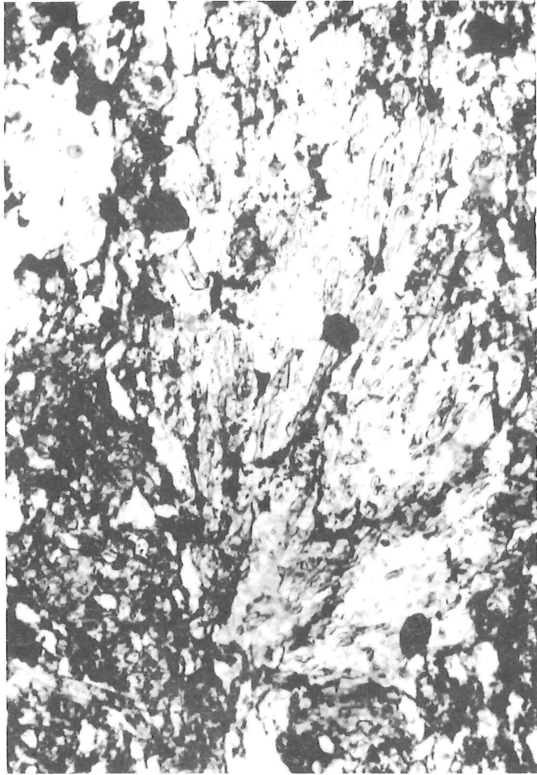
A.-B. Gerbe d'amphibole résorbée dans une plage microgranoblastique de quartz. **Microphotographie en lumière naturelle (A) et entre nicols croisés (B). Champs de 0,95 x 1,43 mm.**

L'emplacement d'une ancienne gerbe d'amphibole est encore reconnaissable, grâce aux très fines inclusions de ce minéral dans les grains de quartz néogène. Ces inclusions esquissent encore la forme de la gerbe antérieure et ont conservé leur orientation optique initiale (B).

C.-D. Inclusions d'amphibole dans un grain de clinozoisite et de quartz. **Microphotographie en lumière naturelle (C) et entre nicols croisés (D). Champ de 0,6 x 0,9 mm.**

Un grain de clinozoisite (à l'extinction sur la photo D) et de quartz renferment de fines inclusions d'amphibole ayant la même orientation optique.

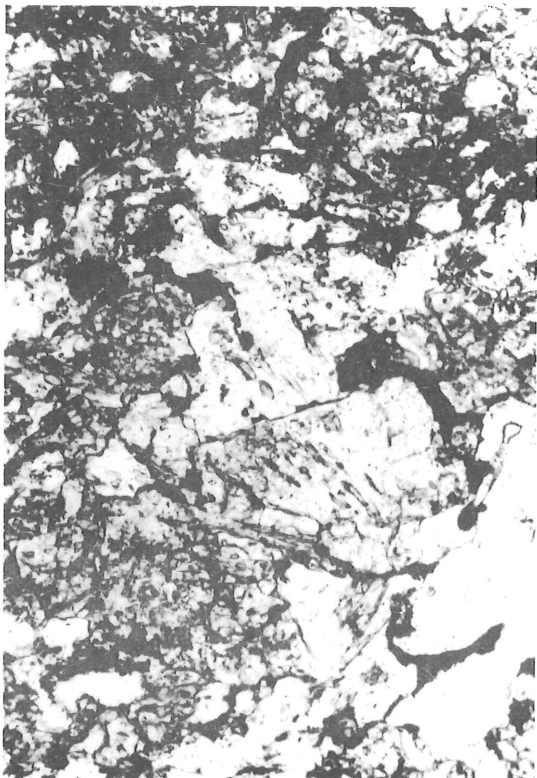
On remarquera également sur la photo C que le grain de clinozoisite est partiellement frangé par un épais liseré de graphite.



A



B



C



D

