



HAL
open science

**Etude de la distribution des terres rares et des autres
éléments en traces dans les roches carbonatées du
district minier de Bou-Azzer-Bleïda (Anti-Atlas,
Maroc) : conséquences génétiques et variations à
l'approche des minéralisations**

Fouzia Zouita

► **To cite this version:**

Fouzia Zouita. Etude de la distribution des terres rares et des autres éléments en traces dans les roches carbonatées du district minier de Bou-Azzer-Bleïda (Anti-Atlas, Maroc) : conséquences génétiques et variations à l'approche des minéralisations. Géochimie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1986. Français. NNT : . tel-00715671

HAL Id: tel-00715671

<https://theses.hal.science/tel-00715671>

Submitted on 9 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ZOUITA (F.)



THÈSE DE DOCTORAT

EX. n° 1

DE

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

OPTION :

*GÉOCHIMIE ET GÉOLOGIE APPLIQUÉE
A LA RECHERCHE MINIÈRE*

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

par

Fouzia ZOUITA

23 JUIN 1986

**Etude de la distribution des Terres Rares et des autres éléments
en traces dans les roches carbonatées du district minier
de Bou-Azzer-Bleïda (Anti-Atlas, Maroc) :
conséquences génétiques et variations
à l'approche des minéralisations**

Thèse soutenue le 28 mai 1986, devant la Commission d'Examen :

M. R. MICHEL	Professeur à l'U.S.T.M. Grenoble	Président
M. M. LEBLANC	Directeur de Recherches C.N.R.S. Montpellier	Rapporteur
M. J.-L. TANE	Maître de Conférences à l'U.S.T.M. Grenoble	Rapporteur
M ^{me} A.-M. ANDREANI	Ingénieur au C.E.N. Grenoble	Examineur
M. P. BILLAUD	Géologue à l'O.N.A. (Maroc)	Examineur
M. H. DABROWSKI	Maître de Conférences à l'U.S.T.M. Grenoble	Examineur

THÈSE DE DOCTORAT

DE

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

OPTION :
GÉOCHIMIE ET GÉOLOGIE APPLIQUÉE 23 JUIN 1986
A LA RECHERCHE MINIÈRE

par

Fouzia ZOUITA

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
1 RUE MAURICE GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.42

NNB 1010/167

Etude de la distribution des Terres Rares et des autres éléments en traces dans les roches carbonatées du district minier de Bou-Azzer-Bleïda (Anti-Atlas, Maroc) : conséquences génétiques et variations à l'approche des minéralisations

Thèse soutenue le 28 mai 1986, devant la Commission d'Examen :

M. R. MICHEL	Professeur à l'U.S.T.M. Grenoble	Président
M. M. LEBLANC	Directeur de Recherches C.N.R.S. Montpellier	Rapporteur
M. J.-L. TANE	Maître de Conférences à l'U.S.T.M. Grenoble	Rapporteur
M ^{me} A.-M. ANDREANI	Ingénieur au C.E.N. Grenoble	Examineur
M. P. BILLAUD	Géologue à l'O.N.A. (Maroc)	Examineur
M. H. DABROWSKI	Maître de Conférences à l'U.S.T.M. Grenoble	Examineur

THE

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-BIGNOUX
B.P. 517
38041 GRENOBLE CEDEX

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-BIGNOUX
B.P. 517
38041 GRENOBLE CEDEX

Fouzia KOUTA

Etude de la distribution des Terres Rares et des autres éléments
en traces dans les roches carbonatées du district minier
de El-Azzer-Bleida (Anti-Atlas, Maroc)
concordances géologiques et variations
à l'approche des minéralisations

Ce travail est dédié à mes parents qui m'ont
fait confiance tout au long de mes études

AVANT-PROPOS

Au terme de ce travail je voudrais remercier tous ceux qui ont participé à l'élaboration de cette thèse et notamment :

- Monsieur CHERIF, Directeur du Département Mines de l'Omnium Nord Africain (O.N.A.) à Casablanca qui m'a autorisée à travailler sur le district minier de Bou-Azzer-Bleïda .
- Monsieur BENSARI et Monsieur TRAKI, qui se sont succédés à la Direction de la Mine de Bleïda, pour toutes les facilités dont ils m'ont fait bénéficier lors de mes missions sur le terrain .
- Monsieur BILLAUD, Directeur de la géologie à l'O.N.A., pour son soutien dans la définition de ce sujet .
- Monsieur KNIDIRI, Doyen de la Faculté des Sciences de Marrakech pour les facilités que j'ai pu trouver auprès de son Etablissement et pour l'intérêt qu'il accorde à la coopération avec l'Université de Grenoble .
- Monsieur SILVENT, Chef de service, S.R.C.A. au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, qui m'a accueilli avec beaucoup de gentillesse dans son service et a grandement facilité mes conditions d'études .
- Mme ANDREANI, au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble pour l'intérêt constant qu'elle a apporté à mon travail, ainsi que pour ses conseils qui m'ont été précieux pour réaliser ce travail .
- Monsieur TANE, de l'Institut de Géologie et de Minéralogie, Dolomieu à Grenoble, sans lequel cette thèse en collaboration avec l'O.N.A., l'Université de Grenoble et la Faculté des Sciences de Marrakech, n'aurait pu avoir lieu . Je le remercie également pour l'intérêt constant qu'il a apporté à mon travail .

- Monsieur LEBLANC, qui a bien voulu s'intéresser à ce travail et qui m'a fait l'honneur de faire partie de mon jury .

- Monsieur MICHEL, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse .

- Monsieur DABROWSKI, qui m'a fait l'honneur de faire partie de mon jury .

Mes remerciements vont également au responsable du laboratoire de la microsonde électronique à l'Université de Montpellier qui m'a aidé avec Monsieur LEBLANC à analyser quelques échantillons dans son laboratoire .

Je remercie également le personnel de laboratoire S.R.C.A. au C.E.N.G., le personnel de l'Institut Dolomieu et de la Faculté des Sciences de Marrakech .

Que tous ceux qui par leur accueil, leur aide et leur collaboration ont facilité mon travail, soient cordialement remerciés . Je ne saurais les citer tous .

Un grand merci à tous mes camarades et amis .

Un grand merci à Mlle Dousse qui a frappé cette thèse .

RESUME

Différents types de roches carbonatées se trouvent dans les formations géologiques précambriennes du district minier de Bou-Azzer-Bleïda . Il s'agit de filons hydrothermaux ou de niveaux sédimentaires .

L'utilisation de différentes méthodes d'analyses (dont la Spectrométrie de Masse à étincelles) permet de dresser l'inventaire des éléments majeurs et en traces y compris les Terres Rares dans ces différentes roches carbonatées . L'étude particulière de la répartition des Terres Rares dans ces matériaux a permis de caractériser les différents processus hydrothermaux et leur variation, en particulier la genèse des listvénites par carbonatation hydrothermale des serpentines ; elle a permis également de proposer une origine sédimentaire pour le niveau "repère" carbonaté situé au mur du niveau porteur de la minéralisation cuprifère de Bleïda .

L'identité des listvénites de la région de Bleïda et leur similitude avec celles de Bou-Azzer ont été confirmées par leurs caractères géochimiques .

Les teneurs en quelques éléments, (Terres Rares en particulier) semblent évoluer à l'approche des zones minéralisées en cuivre dans la région de Bleïda et en cobalt dans la région de Bou-Azzer et nous proposons d'utiliser cet outil pour mieux comprendre les processus de formation de ces minéralisations.

MOTS CLEFS

Géochimie, élément en traces, Terres Rares, filon hydrothermale, carbonates, listvénites, serpentines, minéralisations, cobalt, cuivre, Bleïda, Bou-Azzer, Anti-Atlas, Maroc .

INTRODUCTION.....9

CHAPITRE I - CADRE GEOLOGIQUE17

I.1) La structure de l'Anti-Atlas 17

I.1.1) Le socle précambrien 17

I.1.1.1) Le domaine éburnéen 18

I.1.1.2) Le domaine pan-africain 18

I.1.2) La couverture infracambrienne et géorgienne 21

I.2) La boutonnière de Bou-Azzer-El Graara 22

I.2.1) Les terrains du socle précambrien 22

I.2.2) Les terrains de la couverture 27

CHAPITRE II - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU GISEMENT DE CUIVRE DE BLEIDA ET DU GISEMENT DE COBALT DE BOU-AZZER 31

II.1) Gisement de cuivre de Bleïda 33

II.1.1) Historique 33

II.1.2) Cadre géologique 35

II.1.2.1) Série lithostratigraphique 35

II.1.2.2) Tectonique et intrusions magmatiques 38

II.1.3) Localisation et type de minéralisation 38

II.1.4) Modèle génétique 41

II.2) Gisement de cobalt de Bou-Azzer 42

II.2.1) Historique 42

II.2.2) Les corps minéralisés 44

II.2.3) Modèles génétiques 44

CHAPITRE III - LES ROCHES CARBONATEES DU DISTRICT MINIER DE BOU-AZZER-BLEIDA 47

III.1) Les roches carbonatées du secteur de Bleïda 49

III.1.1) Echantillonnage 49

III.1.2) Les formations carbonatées C1 50

III.1.3) Les formations carbonatées C2 51

III.1.4) Les formations carbonatées C3 51

III.1.5) Les formations carbonatées C4 52

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tel. 04 76 51 41 27 Fax 04 76 51 40 58
 Mail: ptalou@ujf-grenoble.fr
 20-AOÛT 2003

III.2) Les autres roches carbonatées échantillonnées 52

III.2.1) Echantillonnage 52

III.2.2) Filons au contact des serpentines et gangue des gisements de cobalt de Bou-Azzer, Ambed I, Tamdrost 55

III.2.3) Filons dans la couverture R III (Arouli N'Azougar) 57

III.2.4) Formation d'Ambed 58

III.2.5) Filons dans la diorite quartzique (Bouzben) 58

III.3) Les problèmes posés 58

CHAPITRE IV - ETUDE GEOCHIMIQUE DES ROCHES CARBONATEES 61

IV.1) Techniques d'analyse 63

IV.2) Les éléments majeurs 70

IV.2.1) Les roches carbonatées de Bleïda 70

IV.2.2) Les autres roches carbonatées 74

IV.2.3) Conclusion 74

IV.3) Les éléments en traces 75

IV.3.1) Inventaire des éléments en traces dans les carbonates étudiés... 75

IV.3.2.1) Les carbonates de Bleïda 76

IV.3.2.2) Les autres carbonates échantillonnés 85

IV.3.2.3) Conclusions 86

IV.3.3) Interprétations, traitement statistique et hypothèses génétiques 88

IV.3.3.1) Traitement statistiques des résultats 88

IV.3.3.2) Interprétation 94

 1) Les carbonates filoniens à cachet ultrabasique 98

 2) Les carbonates filoniens sans influence ultrabasique 99

 3) Les carbonates à cachet volcano-sédimentaire 101

IV.3.4) Conclusions 101

IV.4) Etude de la distribution des Terres rares 103

IV.4.1) Rappels bibliographiques 103

IV.4.1.1) Rappels sur la chimie des lanthanides 103

IV.4.1.2) Géochimie des lanthanides 106

IV.4.2) Commentaire des résultats et hypothèses génétiques 111

IV.4.2.1) Carbonates à cachet ultrabasique 114

IV.4.2.2) Carbonates filoniens sans influence ultrabasique 123

IV.4.2.3) Carbonates à cachet volcano-sédimentaire 127

IV.4.3) Les éléments susceptibles de jouer un rôle dans le transport des T.R. 128

 1) F 128

 2) P 130

IV.4.4) Conclusions : Origine et genèse des différents types de roches carbonatées étudiées 130

CHAPITRE V - CONCLUSION GENERALE 133

BIBLIOGRAPHIE 139

ANNEXES I 151

ANNEXES II 168

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Localisation de la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara à l'échelle du Maroc 15

Figure 2 : Localisation des affleurements du Précambrien (I et II) dans l'Anti-Atlas 19

Figure 3 : Les affleurements du Précambrien dans la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara 23

Figure 4 : Coupe schématique du complexe ophiolitique de Bou-Azzer... 25

Figure 5 : Liaison chronologique des terrains adoudouniens et des syénites datées à 534 + 10 Ma, au niveau du Jbel Boho 28

Figure 6 : Contexte géologique des roches carbonatées de la région de Bleïda 34

Figure 7 : Log synthétique de l'horizon minéralisé et de son contexte géologique 36

Figure 8 : Décalage par failles du niveau porteur dans la zone Nord de Bleïda 39

Figure 9 : Minéralisation réticulée dans la zone Sud de Bleïda 40

Figure 11 : Localisation des échantillons prélevés dans la région d'Arouli N'Azzougar 53

Figure 12 : Carapace d'Ambed avec localisation des échantillons prélevés dans la région d'Ambed I 54

Figure 13 et 14 : Localisation des échantillons prélevés dans la région de Bou-Azzer Est 56

Figure 15 : Optique du MS 702-AEI 65

Figure 16 : Spectre d'un échantillon d'une roche carbonatée 66

Figure 17 : Variation des éléments majeurs 71

Figure 18 : Les différents carbonates dans le diagramme (Fe,Ca,Mg) .. 72

Figure 19 : Les carbonates C1 et C2 dans le diagramme (Fe,Mg,Mn) 72

Figure 20 à 22 : Variations des éléments en traces 77 à 80

Figure 23 et 24 : A.C.P.N. - carbonates du district minier de Bou-Azzer-Bleïda (les éléments majeurs) 89

Figure 25 à 29 : A.C.P.N. - carbonates du district minier de Bou-Azzer-Bleïda (Les éléments en traces) 92

Figure 30 : Histogramme de fréquence de Na, Cl et K dans les carbonates C2 de Bleïda 100

Figure 31 : Diagrammes de Coreyell des deux grands types de basalte 107

Figure 32 : Abondance des Terres rares dans quelques gabbros ophiolitiques 107

Figure 33 : Trois exemples de roches acides (T.R.) 107

Figure 34 : Trois exemples de profils de répartition des T.R. dans les carbonates et domaine des profils des calcaires sédimentaires et métamorphiques 110

Figure 35 : Terres rares dans les différentes roches 112

Figure 36 : Profils de répartition des Terres rares des carbonates filoniens C1 de Bleïda normalisés par rapport aux chondrites 115

Figure 37 : Profils de répartition des T.R. des listvénites d'Elguir, de Mechoui, de Mokhazni, de Bou-Azzer-Est et d'Arouli N'Azzougar118

Figure 38 : Profils de répartition des T.R. des échantillons d'Ambed 1120

Figure 39 : Profil de répartition des T.R. de la gangue calcitique du gisement de cobalt de Tamdrost122

Figure 40 : Profils de répartition des T.R. des carbonates filoniens C2 de Bleïda et des carbonates de Bouzben124

Figure 41 : Profils de répartition des T.R. des carbonates non filoniens (C3 et C4) de Bleïda126

Figure 42 : Liaison entre le fluor et la somme des Terres rares dans les carbonates étudiés129

figure 43 : Liaison entre le phosphore et la somme des Terres rares dans les carbonates étudiés129

INTRODUCTION

Le district minier de Bou-Azzer-Bleïda se rattache à la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara dans l'Anti-Atlas marocain . Il est connu pour ses minéralisations de cobalt à Bou-Azzer et de cuivre à Bleïda .

La minéralisation de cobalt se trouve toujours dans des gangues carbonatées ; celle de cuivre est portée par un niveau de séricitoschistes toujours souligné à son mur par un niveau "repère" de jaspes et/ou carbonates.

Des roches carbonatées se trouvent également dans des zones non minéralisées dans les différentes formations de ce district ; elles sont soit en niveaux de faible épaisseur, soit en filons (hydrothermalisme ?) .

Cette étude vise principalement à :

- effectuer un bilan géochimique des différentes roches carbonatées,
- définir leur origine,
- déterminer la ou les phase(s) hydrothermale(s) affectant le district de Bleïda,
- dégager les éléments accompagnateurs de la minéralisation cuprifère de Bleïda éventuellement utilisables comme guides de la prospection minière,
- comparer les roches carbonatées qui sont au contact des serpentines à Bou-Azzer avec celles de Bleïda,
- essayer d'apporter une contribution à la recherche des minéralisations cachées .

Pour répondre à ces objectifs, nous avons entrepris des études géologiques et des études géochimiques des différentes formations carbonatées .

Bien que nous ne nous soyons intéressée qu'aux roches carbonatées, nous avons procédé dans une première phase à une étude bibliographique sur la géologie de la boutonnière, qui nous a été d'une aide précieuse pour la compréhension des roches carbonatées dans leur contexte géologique .

Sur le plan géochimique, après une étude pétrographique détaillée (lames minces et diffractométrie de rayons X), quelques méthodes d'analyses complémentaires ont été utilisées, dont la fluorescence X et la microsonde électronique pour les éléments majeurs et la spectrométrie de masse à étincelles pour les éléments en traces, y compris les Terres rares . Cette dernière méthode nous permet par son caractère panoramique de dresser l'inventaire géochimique des carbonates du secteur étudié . Un échantillonnage adapté nous a effectivement permis de les différencier et de repérer leurs éléments caractéristiques .

Enfin cette même méthode nous a permis d'identifier les Terres rares dans ces carbonates ; les formes de leurs profils de répartition nous a conduit à distinguer quatre types de carbonates d'origine différentes .

Une exploitation statistique des résultats a porté sur l'ensemble des analyses .

Après l'exposé détaillé des observations et des résultats concernant ces différents points, une synthèse des données pétrographiques et géochimiques nous conduira à proposer une interprétation de l'origine des roches carbonatées et de leur éventuelle liaison avec les minéralisations de Co et de Cu . Nous montrerons alors l'intérêt d'une telle étude dans la recherche des minéralisations cachées .

Ce travail a été, pour l'essentiel, effectué au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble au Laboratoire de chimie analytique (S.R.C.A.) et au Laboratoire de géologie et minéralogie (Institut Dolomieu à Grenoble) ; il s'inscrit dans le cadre de la coopération entre l'Université de Grenoble et la Faculté des Sciences de Marrakech, en collaboration avec la société minière marocaine de l'Omnium Nord Africain (O.N.A.) .

CHAPITRE I :

CADRE GEOLOGIQUE

I,1) LA STRUCTURE DE L'ANTI-ATLAS

I,2) LA BOUTONNIERE DE BOU-AZZER-EL-GRAARA

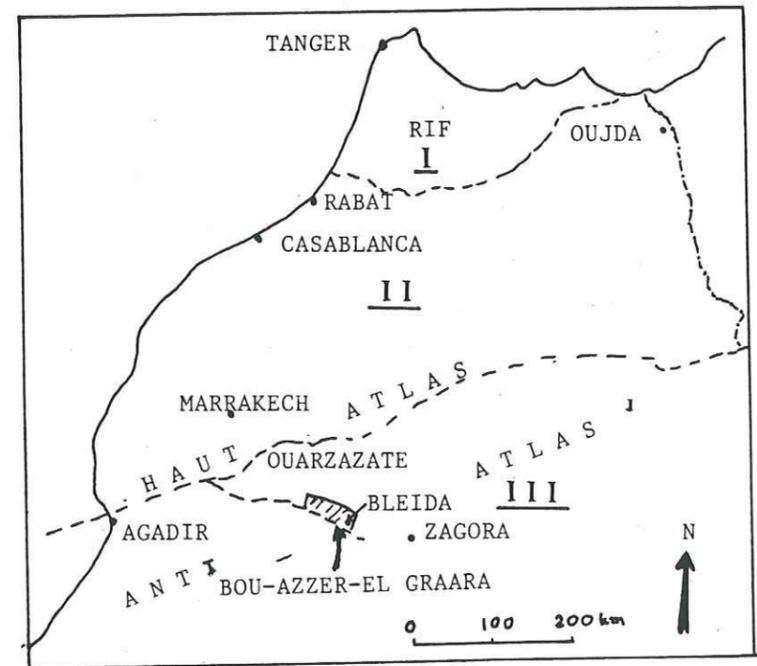


Figure 1 : Localisation de la boutonnière de Bou-Azzer-Elgraara à l'échelle du Maroc
I Domaine du Rif
II Domaine de la Meseta et des Haut-et-Moyen-Atlas
III Domaine de l'Anti-Atlas

Le Maroc (Fig. 1) comprend trois principaux domaines structuraux (Choubert et Marchais, 1956) qui sont du Nord au Sud :

- Le domaine du Rif (chaîne alpine)
- Le domaine de la Meseta (chaîne hercynienne et des Haut-et-Moyen-Atlas (chaîne alpine)
- Le domaine de l'Anti-Atlas (chaîne précambriennes)

L'Anti-Atlas est constitué d'une couverture paléozoïque légèrement déformée, sur un substratum précambrien qui affleure à la faveur de boutonnières dont les principales sont : Kerdous, Tazenaght (=Zenaga) et Bou-Azzer-El Graara (Fig. 2) .

J'ai mené mon travail dans la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara qui est localisée le long de l'Accident majeur de l'Anti-Atlas (Choubert, 1947), dans sa partie centrale, à environ 80 km au S.E. d'Ouarzazate (Fig.1) .C'est une longue dépression de 60 km, large de 5 à 20 km, orientée WNW - ESE , où affleurent différentes formations précambriennes et qui est bordée par les terrains infracambriens et cambriens de la couverture .

I,1 LA STRUCTURE DE L'ANTI-ATLAS .

I,1,1 LE SOCLE PRECAMBRIEN .

Choubert (1960) a montré que l'Accident majeur anti-atlasique (Choubert, 1947), orienté WNW - ESE (Fig. 2), délimite un socle ancien au S.W. (bord Nord du Craton Ouest africain) et un orogène plus récent au N.E (domaine orogénique pan-africain) .

Les géologues étudiant l'Anti-Atlas ont conservé les appellations (Choubert, 1967) de Précambrien I pour les terrains précambriens anciens et de Précambrien II pour les terrains précambriens récents .Le terme Précambrien III correspond à la formation volcanique de base de la couverture .

Les données géochronologiques récentes (Leblanc et Lancelot, 1980) permettent de préciser l'évolution géodynamique du Précambrien de l'Anti-Atlas.

même âge couvrant le socle éburnéen grâce à l'existence d'une formation de marge continentale, sédimentaire et volcanique, qui affleure sur le flanc Sud de la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara (Leblanc, 1975) . On peut donc reconstituer au Protérozoïque supérieur, du Sud au Nord : le bord Nord du craton Ouest-Africain, une marge continentale passive (Leblanc et Billaud, 1978) et un domaine avec une croûte océanique et arcs insulaires .

Après la phase tectonique pan-africaine majeure (B1) et la mise en place de granites post-tectoniques (615 Ma), on observe le dépôt de formations volcano-détritiques avec conglomérats, greywackes, turbidites (formation de Tiddiline), y compris sur le domaine éburnéen (formation d'Anzi) . La dernière phase tectonique pan-africaine (B2) est une ultime phase de serrage, avec plis droits sans schistosité (Leblanc, 1973) .

L'accident majeur de l'Anti-Atlas correspond donc en grande partie à une zone de suture entre domaine éburnéen et domaine pan-africain ; on y trouve d'importants gisements principalement dans la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara (cobalt de Bou-Azzer, cuivre de Bleïda) .

I,1,2 LA COUVERTURE INFRACAMBRIENNE ET GEORGIENNE .

La base de la couverture paléozoïque est constituée des formations azoïques de la "série intermédiaire" (Choubert, 1952) .

Cet ensemble est constitué , à la base, d'une formation essentiellement volcanique (formation d'Ouarzazate) qui correspond au Pr. III, et au sommet, d'une formation essentiellement sédimentaire qui correspond à l'Adoudounien.

La formation d'Ouarzazate, d'épaisseur variable (300 m au SSW et 2000 mètres au N.N.E), repose en discordance majeure sur le Pr.II supérieur ou directement sur le Pr.I (Hassenforder et Jeannette, 1974) . C'est une formation volcanique et détritique continentale, riche en ignimbrites . Elle a été datée à 580-560 Ma (Juery et al., 1974) .

L'Adoudounien correspond aux dépôts sédimentaires d'un bassin peu profond, fortement subsident sur la marge N.W de l'Anti-Atlas (Choubert, 1970).

On y trouve des horizons silto-gréseux et des horizons dolomitiques à stromatolithes .

Des indices de minéralisations cuprifères sont fréquents à la base de l'Adoudounien (dolomies inférieures) dans tout l'Anti-Atlas .

Les formations adoudouniennes sont surmontées en continuité et en concordance par des formations géorgiennes de même type, qui correspondent aussi à des dépôts peu profonds sur un substratum encore instable (Hupé, 1953).

I,2 LA BOUTONNIERE DE BOU-AZZER-EL GRAARA . (Fig. 3)

L'axe Bou-Azzer-El Graara porte classiquement le nom de boutonnière parce que les terrains d'âge Pr.I et surtout Pr.II affleurent ici sous la forme d'une bande longue et étroite alors que presque partout ailleurs dans la région ce sont les terrains d'âge Pr.III et d'âge adoudounien qui apparaissent à l'affleurement .

I,2,1 LES TERRAINS DU SOCLE PRECAMBRIEN .

- Les terrains éburnéens (Pr.I) constituent une vaste écaille tectonique, bordée de mylonites, qui affleure d'Ouest en Est (Fig.3) à Bou-Azzer, Oumlil, Tazigzaout et dans le Graara central . Ils comprennent des gneiss et des migmatites polycycliques, des orthoamphibolites, associés à des granodiorites et à du granite alcalin .

Ce socle ancien est toujours en contact tectonique avec les terrains du Pr.II . Il a subi les phases B1 et B2 de l'orogénèse pan-africaine .

- Les terrains du Précambrien II anté-phase tectonique pan-africaine majeure (Pr.II inf.) .

Le Pr.II inf. à Bou-Azzer-El Graara s'étale sur une longue période correspondant d'une part à la genèse d'un complexe ophiolitique et d'autre part aux dépôts des formations de marge continentale de Tachdamt-Bleïda :

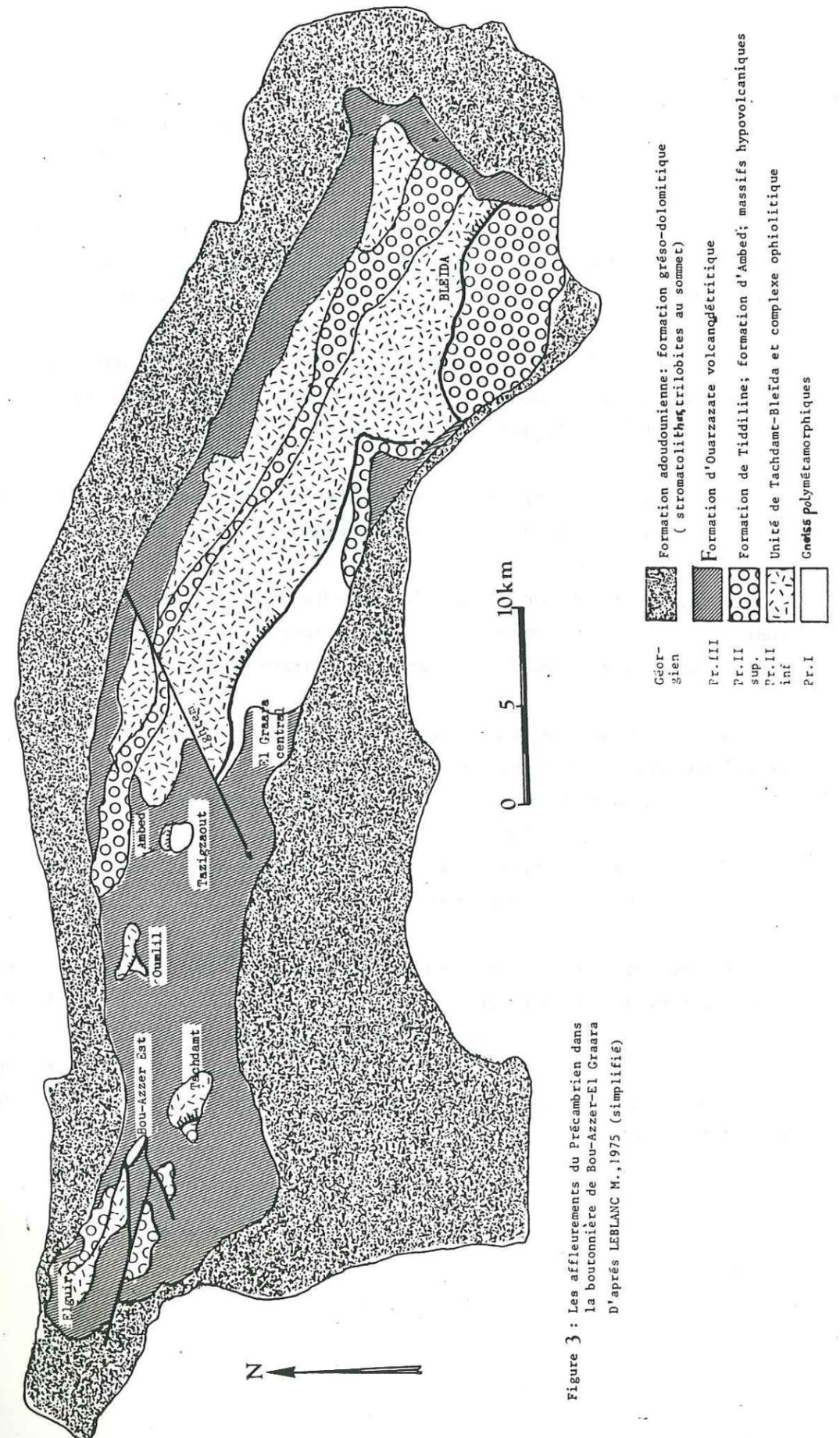


Figure 3 : Les affleurements du Précambrien dans la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara D'après LEBLANC M., 1975 (simplifié)

a) Le complexe ophiolitique épais de 4 à 5 km, à allure stratifiée (Fig.4) affleure dans l'axe de la boutonnière en bandes parallèles orientées WNW - ESE, subverticales, montrant chronologiquement la succession suivante :

- Des roches ultrabasiques comprenant des péridotites à structure de tectonites profondes entièrement serpentinisées (harzburgites, dunités) et des cumulats ultramafiques rubanés (dunités, wherlites, clinopyroxénolites).

- Des roches basiques évoluant, de bas en haut, d'une structure grenue à une structure microgrenue, puis fluidale (cumulats basiques surmontés d'une carapace effusive basique) .

- Des roches effusives avec des diabases, surmontées de spilites à pillow-lavas et de kératophyres, dans un complexe volcano-sédimentaire .

- Une puissante formation volcano-sédimentaire surmonte les roches effusives . Elle est représentée par des sédiments détritiques, des calcaires, des "jaspes", des greywackes et des tufs volcaniques .

Notons que des diorites quartziques recoupent localement tout ou partie de cet ensemble et apparaissent sous forme de :

- massifs stratoïdes, entre gabbros rubanés et diabases
- sills et filons
- apex intrusifs jusque dans les roches volcano-sédimentaires du sommet des ophiolites .

Le complexe de Bou-Azzer est un des premiers complexes ophiolitiques d'âge précambrien à avoir été décrit (Leblanc, 1972, 1975) ; il est interprété comme un fragment de la lithosphère océanique, avec une évolution ultime de type arc insulaire (ensemble volcano-sédimentaire supérieur), qui a été obducté sur le bord Nord du craton Ouest-Africain au cours de l'orogénèse pan-africaine .

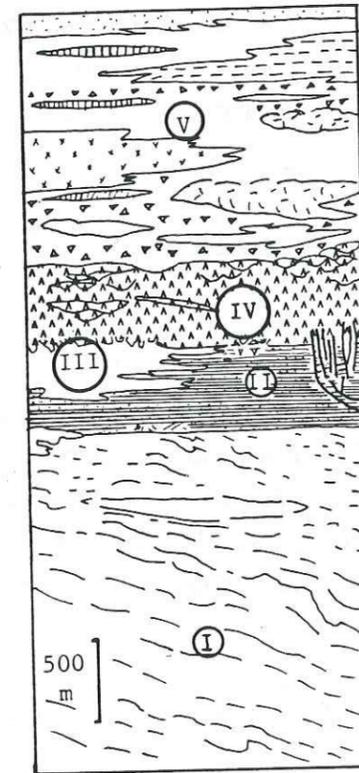


Figure 4 : Coupe schématique du complexe ophiolitique de Bou-Azzer : I=roches ultrabasiques entièrement serpentinisées, II=roches basiques = gabbros et microgabbros, III= diorites quartziques, IV= laves basiques avec brèches magmatiques, sills leucogabbroïques et dykes à la base et pillow-lavas à leur sommet, V=série volcano-sédimentaire avec des greywackes (▼), des tufs basiques spilites et kératophyriques, et des horizons de jaspes et de calcaires
D'après LEBLANC M., 1981

b) La formation de marge continentale de Tachdamt-Bleïda .

Leblanc (1975) et Leblanc et Billaud (1978) observent, à la base, des calcaires à stromatolithes et des quartzites surmontés par un puissant (500 m) horizon de laves basiques à carapace de jaspes et carbonates, puis par un discret horizon de volcanisme acide sous-marin . Vers le Nord, le volcanisme se dilue en petites coulées dans une épaisse formation de schales noirs ; enfin des turbidites envahissent brutalement ce bassin de marge continentale .

- La phase tectonique pan-africaine majeure (B1) (685 Ma, Clauer, 1976; Ducrot, 1986) .

Tous les terrains ci-dessus décrits sont affectés par des plis isoclinaux synschisteux dans un contexte métamorphique épizonal (phase B1) . La schistosité apparaît progressivement du Sud vers le Nord dans la formation de Tachdamt-Bleïda . Au cours de cette phase tectonique, la croûte océanique (ophiolites de Bou-Azzer) a été obductée sur la marge Nord du craton Ouest - Africain . Le granite post-tectonique de Bleïda a été daté à 615 Ma (Ducrot et Lancelot, 1978) .

- Les terrains du Précambrien II post phase tectonique pan - africaine majeure (Pr.II sup.) .

Le Pr.II sup. comprend une courte période qui a vu la formation de niveaux détritiques alimentés par le matériel schistosé et métamorphisé du Pr. II inf. ; il correspond à la série de Tiddiline (Leblanc, 1975) qui comporte des faciès de greywackes et de flysch, et des faciès périglaciaires . Des carapaces silico-carbonatées se sont formées au Pr.II sup. sur des horsts de roches ophiolitiques pénéplanées (formation d'Ambed de Leblanc, par exemple).

Quelques exemples de ces carapaces seront étudiés du point de vue géochimique dans le présent mémoire .

- La phase tectonique pan-africaine tardive (B2) .

La phase B2 a affecté la totalité des terrains précédemment décrits, y développant des plis droits, sans métamorphisme .

I,2,2 LES TERRAINS DE LA COUVERTURE .

Les terrains de la couverture sont constitués, à leur base, de la formation d'Ouarzazate (Pr.III), suivie de la formation adoudounienne .

a) La formation d'Ouarzazate (Pr.III) .

Le Pr. III de Bou-Azzer-El Graara correspond à la partie basale des formations déposées sur le socle précambrien pénéplané après la dernière phase tectonique pan-africaine B2 .

La formation d'Ouarzazate est volcano-détritique et continentale . Elle comprend beaucoup d'ignimbrites (Bouladon et Jouravsky, 1954), et aussi des laves andésitiques et basiques à caractère calco-alcalin (Chikhaoui, 1981), porphyrique ou de dolérite . Ces filons se mettent en place sur le tracé d'accidents précambriens (N 120) qui ont pu rejouer .

Dans l'ensemble de l'Anti-Atlas, les roches de cette formation sont généralement peu transformées et fréquemment minéralisées en manganèse (Jouravsky, 1963) .

b) La formation adoudounienne .

C'est une formation essentiellement sédimentaire . Elle repose en discordance de ravinement sur la formation d'Ouarzazate par l'intermédiaire d'un niveau détritique de base (0,5 à 15 m), grés-conglomératique, à ciment dolomitique, lequel est recouvert en concordance par une série dolomitique (= dolomies inférieures, Choubert, 1957) qui a été datée de 534 + 10 Ma par la méthode U-Pb sur les syénites du Jbel Boho (Ducrot et Lancelot, 1977)(Fig 5) . En effet la mise en place de ces syénites est contemporaine du dépôt de ces dolomies (Leblanc 1975) .

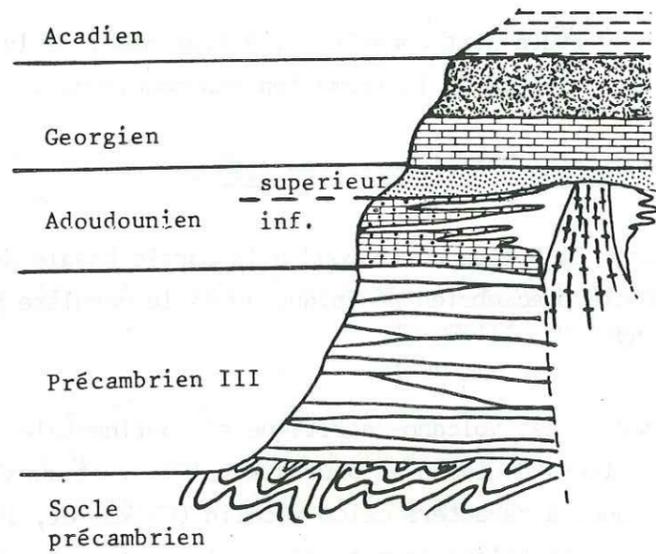


Figure 5 : liaison chronologique des terrains adoudouniens et des syénites datées à 534 ± 10 Ma, au niveau du Jbel Boho (d'après Ducrot et Lancelot, 1977)

Une série gréseuse et/ou psammitique, non recoupée par les syénites (Fig. 5), termine l'Adoudounien dont la limite supérieure (début Géorgien) est marquée par l'apparition des premiers trilobites (Hupé, 1952 ; Boudda et Choubert, 1972) .

CHAPITRE II:
 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU GISEMENT DE CUIVRE DE BLEÏDA
 ET DU GISEMENT DE COBALT DE BOU-AZZER

II,1) GISEMENT DE CUIVRE DE BLEÏDA

II,2) GISEMENT DE COBALT DE BOU-AZZER

Designation des formations précambriennes	phases tectoniques ayant affecté les formations respectivement citées dans la colonne précédente	Age de la phase tectonique	Effet tectonique sur les différentes formations
Infracambrien : - Adoudoumien - formation d'Ouarzazate	Orogenèse hercynienne	280 - 240 Ma	Faible effet (quelques secteurs plissés et/ou faillés, qui restent séparés par de grands espaces non affectés)
Pr. II supérieur : formation de Tiddiline et formation d'Ambed	- Orogenèse hercynienne - phase B2 de l'orogénèse pan-africaine	600 Ma	Compression avec plis droits, schistosité et décrochements
Pr. II inférieur : ophiolites de Bou-Azzer et formation de Tachdamt-Bleïda	- Orogenèse hercynienne - phase B2 pan-africaine - phase majeure B1 pan-africaine	600 Ma 685 Ma	Plis isoclinaux, charriage, schistosité de flux et métamorphisme épizonal
Pr. I : socle ancien	- Orogenèse hercynienne - phases B1 et B2 pan-africaine - Orogenèse (éburnéenne)	2 000 Ma	Plis isoclinaux et métamorphisme mésozonal

I, 2, 2, 3 RESUME DES PRINCIPALES PHASES TECTONIQUES AFFECTANT LES FORMATIONS PRECAMBRIENNES DE LA BOUTONNIERE
 BOU-AZZER-EL GRAARA .

II,1 GISEMENT DE BLEIDA (figure 6) .

L'Anti-Atlas est une province métallogénique cuprifère (Bouchta et al., 1978) ; le plus gros gisement est celui de Bleïda qui a été mis en exploitation ces toutes dernières années .

II,1,1 HISTORIQUE .

Des indices de cuivre oxydé et surtout de nombreuses traces de vieux travaux (alignement de "cratères" correspondant à des points d'extraction, scories et traces de fours,...) ont attiré l'attention sur Bleïda au début des années 60 .

- Despujols (1963) et M. Saadi(1964) assimilent Bleïda à la mine de cuivre de Ten Oudaden décrite au Moyen-Age par El Bekri (1094) lors d'un voyage dans l'Anti-Atlas .

- De 1963 à 1967, une campagne de sondages et une campagne de prospection géophysique (1964) ont été effectuées par la "Aït Ahmane Mining Company" avec en outre vingt tranchées de reconnaissance qui ont permis en particulier l'échantillonnage des zones minéralisées . Sept "zones" à 3 % de cuivre environ furent ainsi mises en évidence (secteur sud essentiellement) .

- De 1969 à 1970 : arrêt des travaux de recherche .

- En 1970, le B.R.P.M.*, l'O.N.A; (S.O.M.I.F.E.R.) et la M.M.S. reprennent les travaux de recherche et de reconnaissance (17 tranchées et 3 000 m de sondage carottés) .

- En 1971, un puits est foré dans la zone Sud (Amas 4) jusqu'à 145 m de profondeur et des traçages sont effectués dans le minerai .

- En 1972, le puits 107 de la zone Nord est foncé jusqu'à -100m . L'amas 107 est alors en partie reconnu par traçage à - 50 et - 100 m .

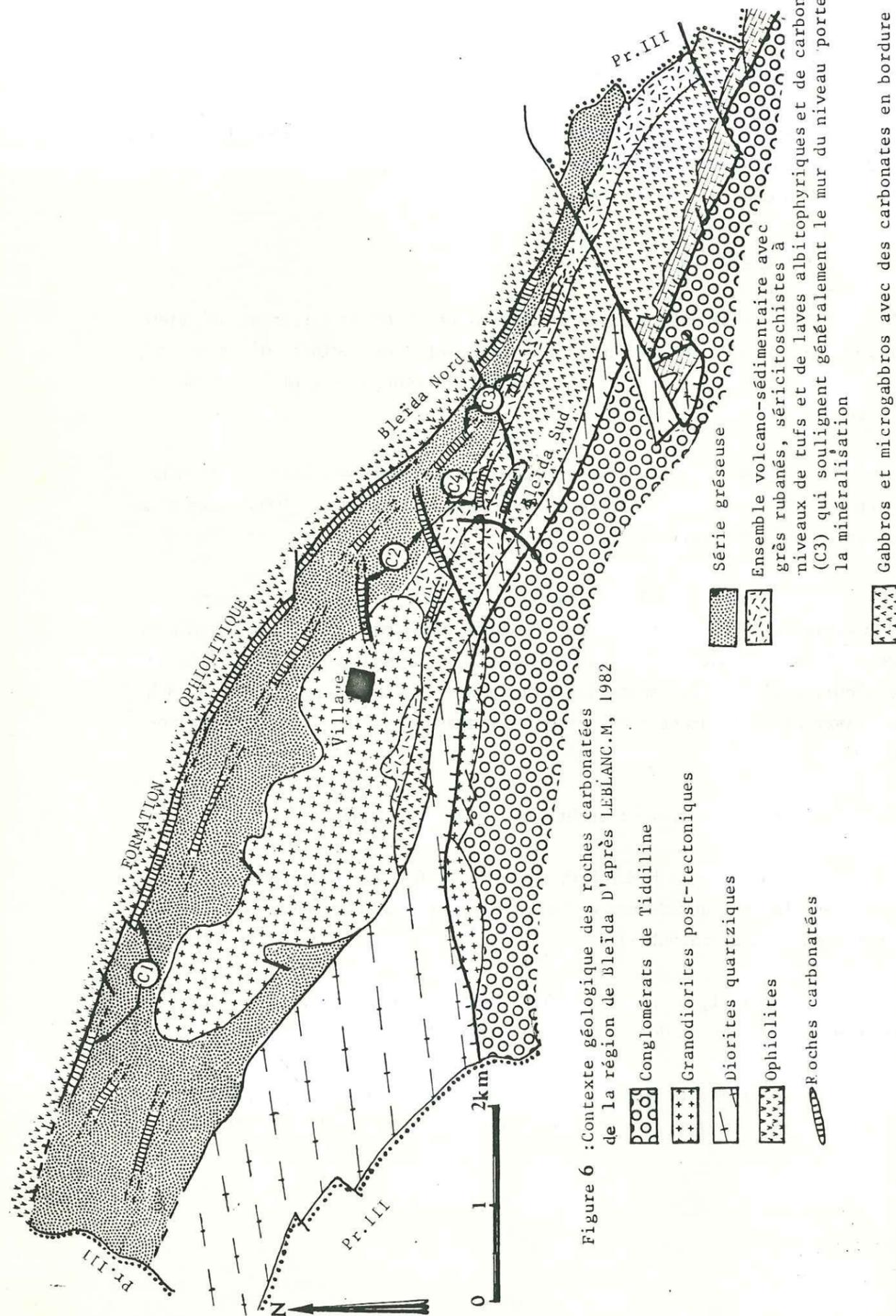


Figure 6 : Contexte géologique des roches carbonatées de la région de Bleida D'après LEBLANC.M, 1982

-  Conglomerats de Tiddiline
-  Granodiorites post-tectoniques
-  Diorites quartziques
-  Ophiolites
-  Roches carbonatées

Série gréseuse

Ensemble volcano-sédimentaire avec grès rubanés, séricitoschistes à niveaux de tufs et de laves albitophyriques et de carbonates (C3) qui soulignent généralement le mur du niveau porteur de la minéralisation

Gabbros et microgabbros avec des carbonates en bordure (C4)

- A la fin de 1973, la S.O.M.I.F.E.R. a repris l'étude de gisement par des travaux de surface et le dénoyage des puits .

- Depuis la fin de 1976, les deux puits précités sont reliés entre eux, à leur niveau de base, par un travers-bancs de 800 m de long, perpendiculaire à la schistosité et qui recoupe toute la série volcano-sédimentaire de Bleida .

Des cartes géologiques de reconnaissance, des cartes détaillées de surface (1/1 000, 1/500), ainsi que des relevés géologiques détaillés du fond (1/500, 1/200) furent établis successivement par Matsutoya, Ducrost, Vernay, Leblanc .

- En 1977, une étude structurale a été réalisée par Billaud .

- L'exploitation du gisement a commencé en 1982 et parallèlement des campagnes de recherche ont été menées pour développer le potentiel minier .

II,1,2, CADRE GEOLOGIQUE (figure 6) .

La minéralisation cuprifère de Bleida se trouve dans le contexte volcano-sédimentaire (parite sommitale du Pr.II inf.) affecté par les phases tectoniques pan-africaines B1 et B2, et reposant sur la série de Tiddiline d'âge Pr.II supérieur (Leblanc, 1968) sous l'effet d'un phénomène tardif de faille inverse .

II,1,2,1, SERIE LITHOSTRATIGRAPHIQUE .

Conformément à la figure 7, tirée de la thèse de Billaud (1977), on relève de bas en haut cette succession :

- 300 à 400 m de calcaires à stromatolithes et de quartzites .
- Les quartzites présentent des structures sédimentaires de dépôt de plate - forme .

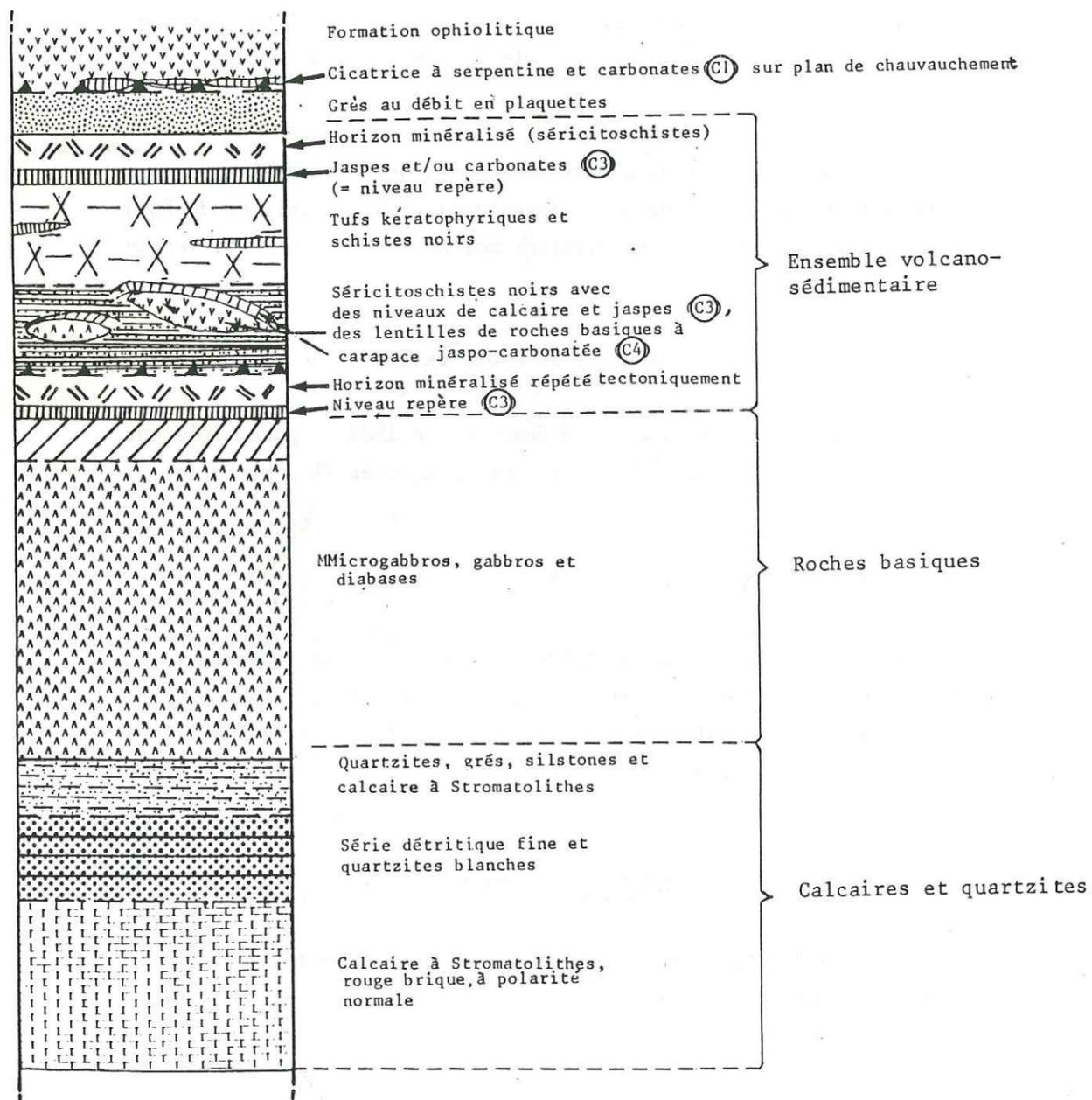


Figure 7 : Log synthétique de l'horizon minéralisé et de son contexte géologique

- 500 m de roches basiques : microgabbros, gabbros et diabases à carapace effusive spilitique (sur 2 à 20 m) reposant en concordance apparente sur les calcaires et les quartzites .

- Un niveau de calcaire et de jaspes (10 à 50 cm) termine l'ensemble et se présente comme une sorte de carapace du corps basique .

- Un ensemble volcano-sédimentaire très puissant (300 à 400 m) et se terminant lui aussi par un niveau repère de jaspes et/ou de carbonates . Il est composé de bas en haut de :

- . Séricitoschistes noirs à gris tachetés, parfois entrecoupés de niveaux de calcaires et de jaspes ferrugineux (c'est ici que j'ai prélevé les échantillons notés C3 dans la suite du présent mémoire) . On y trouve aussi des lentilles de laves basiques .

- . Tufs kératophyriques, verdâtres, peu puissants, finement rubanés et présentant des traces de failles normales synsédimentaires .

- . L'ensemble est coiffé par l'horizon repère précédemment cité et qui comprend des jaspes avec ou sans carbonates .

- Un horizon minéralisé en cuivre (3 à 15 m), essentiellement composé de séricitoschistes avec des niveaux gréseux rythmiques et de fines passées de kératophyres .

La minéralisation se présente surtout sous forme de sulfures (chalcopyrite et bornite) associés, à toutes les échelles, aux termes détritiques les plus grossiers (Billaud 1977) .

- Des grès en plaquettes à patine brune, passant progressivement à des grès brun-violacé, à débit en plaquettes, qui recouvrent immédiatement et en parfaite concordance les séricitoschistes minéralisés .

C'est dans les niveaux de faible épaisseur que l'empreinte des plissements B1 et B2 est la mieux marquée . En outre, certains niveaux rubanés présentent des structures de stratification oblique et des figures de courants .

Toutes les formations carbonatées indiquées sur cette coupe ont fait l'objet d'une étude géochimique dont les résultats et les interprétations seront donnés dans le Chapitre IV .

II,1,2,2 TECTONIQUE ET INTRUSIONS MAGMATIQUES .

La phase tectonique B1 a plissé isoclinalement et a schistosé les séries de Bleïda . Le contact entre la formation ophiolitique, au Nord (Graara médian) et celle de Bleïda, au Sud (Graara méridional), est un ancien plan de chevauchement souligné par des formations carbonatées (C1) .

A Bleïda, comme dans toute la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara, les séries sont recoupées localement par des intrusions acides dans lesquelles deux types pétrographiques ont été reconnus :

. Des diorites quartziques anté- à syntectoniques B1 .

. Des granodiorites postérieures à la phase tectonique B1 . Elles recoupent en effet toutes les structures plissées B1, et développent dans la formation volcano-sédimentaire une auréole de métamorphisme de contact avec des cornéennes à biotite, cordiérite et sillimanite, et des schistes tachetés à cordiérite et andalousite .

La tectonique B2 a donné surtout des décrochements conjugués et des rejeus en faille inverse des grands contacts tectoniques B1 .

II,1,3 LOCALISATION ET TYPES DE MINERALISATION .

Les minéralisations cuprifères de Bleïda se situent essentiellement (Fig. 7) dans un horizon de schistes verts pyriteux peu puissant (3 à 15 m) bien défini par sa position stratigraphique au toit d'un niveau repère de

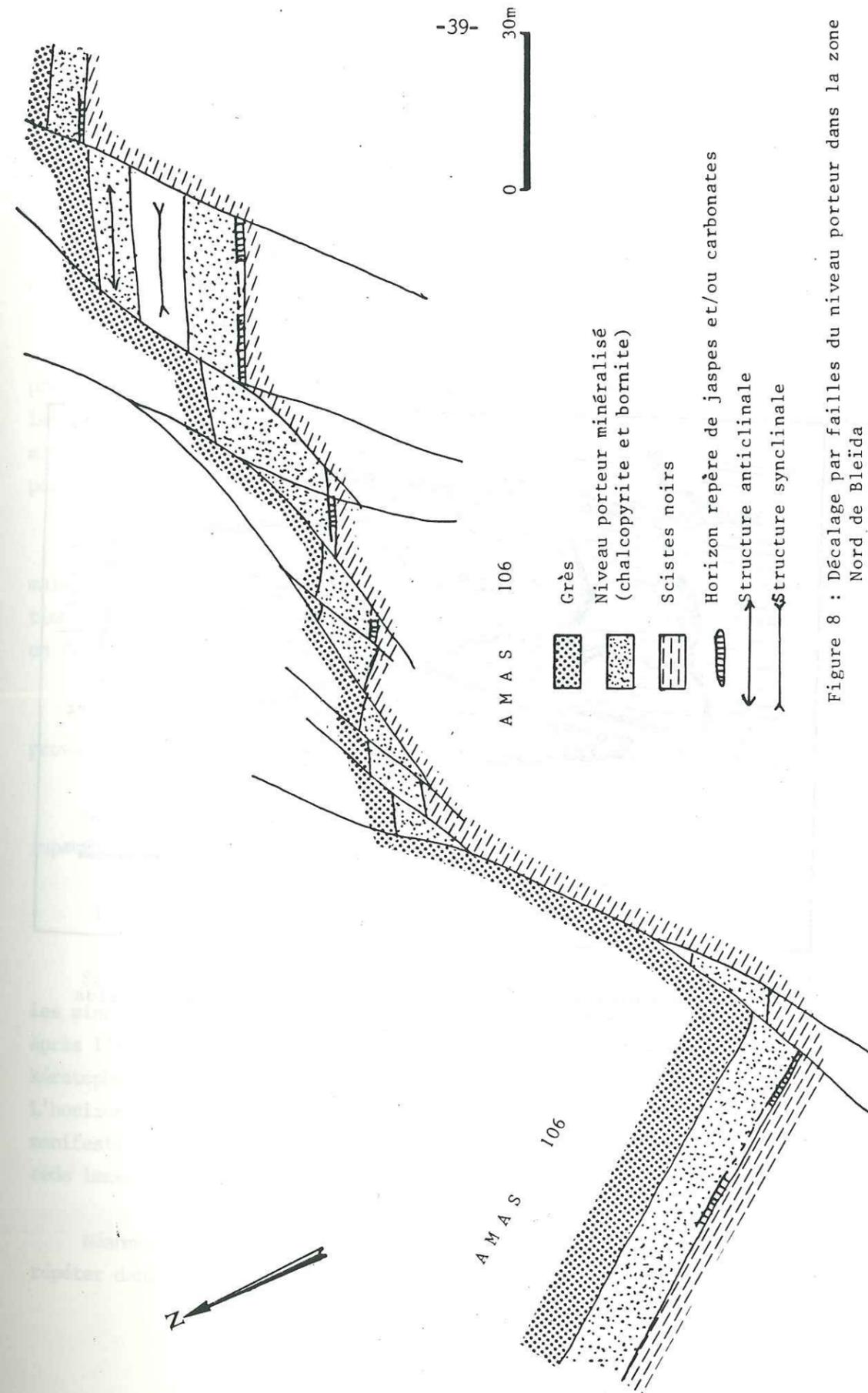


Figure 8 : Décalage par failles du niveau porteur dans la zone Nord de Bleïda

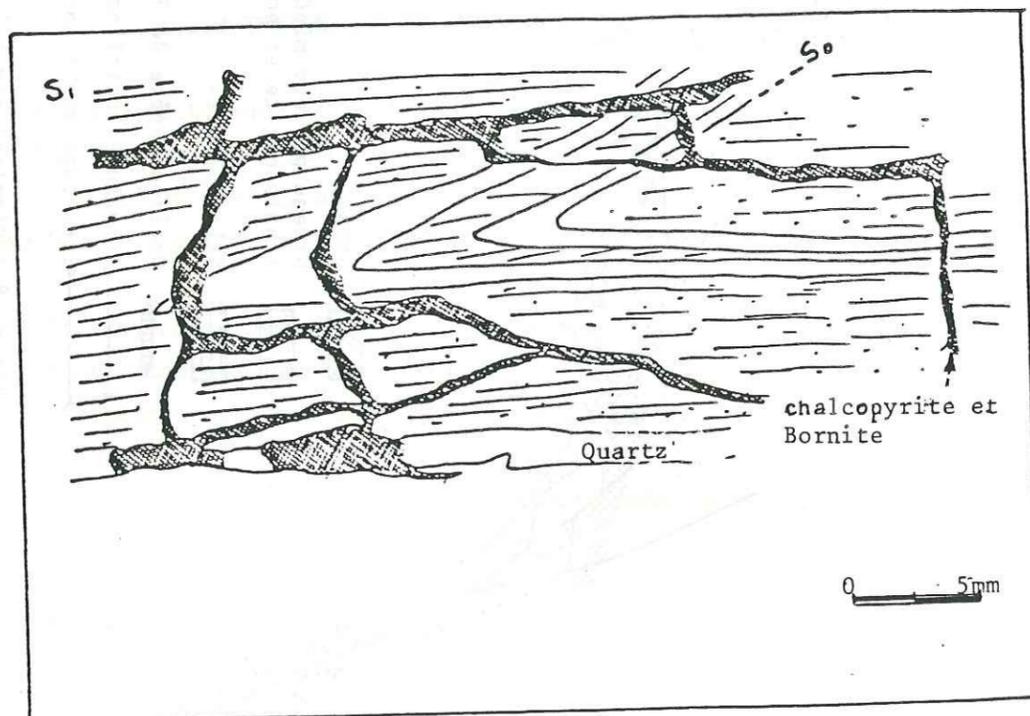


Figure 9 minéralisation réticulée dans la zone Sud de Bleïda

jaspes et/ou de carbonates brun rouge, et par sa lithologie (séricitoschiste, silstones et tufs kéraatophyriques) .

Les lentilles minéralisées sont constituées essentiellement de chalcopryrite et de bornite avec pyrite subordonnée . Deux types de minéralisation ont été définis à Bleïda (Billaud, 1977) :

. Le type Nord : stratiforme et riche en cuivre (7 à 8 %) . Ce minerai présente des figures synsédimentaires fines et est intensément affecté par les plis et la schistosité de la phase majeure pan-africaine B1 . Le niveau minéralisé a été recoupé par la grano-diorite post-tectonique puis décroché par les failles de la phase tardive B2 . (Fig. 8) .

. Le type Sud , à aspect réticulé (Fig. 9) présente la même paragenèse, mais il est moins riche en cuivre (2 à 4 %) . Il résulte d'une remobilisation dans les fractures post-schistosité, au contact d'accidents jouant en failles inverses au cours de la phase tardive B2 .

Comme dans la zone Nord, les décrochements sénestres de la phase B2 provoquent également le découpage et le décalage des amas sulfurés .

Les phases de déformations hercyniennes n'ont provoqué aucune variation importante dans la géométrie des amas cuprifères .

II,1,4 MODELE GENETIQUE .

Selon le modèle proposé par Billaud (1977) et Leblanc et Billaud (1978), les minéralisations Nord et Sud feraient partie du même horizon minéralisé . Après l'épisode volcanique basique, s'établit un volcanisme acide sous-marin, kéraatophyrique, centré sur un appareil à coeur de microdiorite quartzique . L'horizon repère de jaspes et/ou carbonates représenterait probablement une manifestation hydrothermale sous-marine, liée au volcanisme acide, qui précède immédiatement le dépôt hydrothermal des sulfures de cuivre .

Néanmoins, on admet maintenant que le phénomène minéralisateur a pu se répéter dans le temps puisqu'il existe des niveaux de jaspes surmontés de

minéralisation cuprifère au sein même des grès recouvrant le niveau minéralisé principal .

II,2 GISEMENT DE COBALT DE BOU-AZZER (figure 3) .

La présence d'une minéralisation (Co) différente de celle de Bleïda et à gangue carbonatée, a attiré notre attention sur le terrain de Bou-Azzer, sur lequel nous avons prélevé quelques échantillons de roches carbonatées surtout au contact des serpentines et dans la gangue de minéralisation .

II,2,1 HISTORIQUE .

L'utilisation par les habitants de la région d'érythrine (arséniate de cobalt) comme raticide et insecticide fut l'origine de la recherche et de la découverte du minerai de cobalt à Bou-Azzer dans les années 1928-1930 .

Après 1930, une prospection intense a permis la localisation de 70 indices minéralisés .

En 1933, le district minier de Bou-Azzer est attribué à la Société Minière de Bou-Azzer et du Graara (S.M.G.) .

L'exploitation a débuté au gisement de Bou-Azzer proprement dit (filons 7,5 et 2, selon la nomenclature utilisée par la société) et au gisement d'Ighem .

En 1940, la seconde guerre mondiale a provoqué l'arrêt des travaux miniers .

En 1943, l'exploitation des filons 7 et 5 reprend . En 1956 de nouveaux travaux sont entrepris sur Ighem .

En septembre 1967, l'exploitation du filon 7 est définitivement arrêtée (réserves épuisées) .

En 1970, les réserves connues d'Aghbar sont épuisées également .

Entre 1967 et 1971 et sous la coordination des géologues de la société, une équipe soviétique (Technoexport) a mené une campagne de prospection géophysique, géochimique et de sondages . En 1970, cette équipe a confirmé l'existence d'une riche minéralisation à Bou-Azzer Est, puis d'une minéralisation à Tamdrost, cachée sous plus de 150 m de couverture volcanique (Pr.III) et qui a été démontrée par sondage ; les travaux de recherche y ont été poursuivis en 1971 .

Depuis janvier 1983, toutes les mines de cobalt du secteur de Bou-Azzer sont arrêtées mais des recherches restent en cours .

Les études de géologie ont débuté avec l'exploitation; on donne ci-dessous la liste des géologues ayant travaillé sur ce secteur ainsi que les dates de leurs interventions :

- De 1938 à 1963, Jouravsky a effectué de nombreux travaux minéralogiques et a donné les premières interprétations métallogéniques .
- 1949-1952 : P. Colson
- 1952-1957 : R.Goulidounov
- 1957-1962 : D. Szabo
- 1961-1965 : M. Detrey
- 1965-1970 : M. Clavel
- 1970-1983 ; P. Sanchez et surtout M. Leblanc dont la thèse (1975) reste le document de référence pour tous les géologues qui visitent la région .

La géologie a été abordée par Choubert qui a publié dans son mémoire de thèse une carte au 1/100 000 de la région de Bou-Azzer . En 1963, Bouladon et al. ont effectué une étude géologique et le levé d'une carte au 1/20 000 sur le Graara . En 1975, Leblanc a publié dans son mémoire de thèse une carte géologique au 1/100 000 de la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara .

Sur le plan économique, le district de Bou-Azzer a produit 50 000 t. de Co ainsi que de l'arsenic, du nickel et de l'or . Le minerai était essentiellement sous forme d'arséniures .

Le Maroc était autrefois l'un des rares pays producteurs de Co . Les chiffres cités par Leblanc en 1975 indiquent que Bou-azzer (filons 7 et 2) a produit plus de 1 350 000 t. de minerai de Co, celui d'Aghbar plus de 150 000 t. et Ightem plus de 100 000 t . La teneur limite d'exploitation de cobalt étant en règle générale de 1 %, on notera qu'à Bou-Azzer le minerai était dans la fourchette de 1,2 à 2 % . Il était ensuite concentré sur place jusau'à 10-12 % .

Le Ni n'a jamais été exploité pour lui-même .

Le minerai contient également de l'or surtout dans les skutterudites . De même, le molybdène et l'argent sont localement abondants .

II,2,2 LES CORPS MINERALISES .

Les corps minéralisés du district de Bou-Azzer ont entre eux beaucoup de caractères communs : même composition minéralogique (arséniures de Co-Fe-Ni dans une gangue carbonatée et quartzeuse) ; ils sont tous au contact, sur un de leurs bords au moins, avec des serpentines (Leblanc, 1975) . Ils ne diffèrent que par leurs dimensions et leur morphologie ; parmi les différentes formes décrites dans les rapports miniers, on peut noter :

- . des filons : par exemple filon de Mechoui
- . des lentilles : par exemple les lentilles des Aït Ahmane
- . des poches : par exemple ; Ambed 3
- . des voûtes : par exemple ; Ightem
- . des carapaces : par exemple ; Ambed 2

Notons que bien souvent ces différentes formes sont associées dans un même gisement avec un passage progressif de l'une à l'autre (Leblanc, 1975, p. 216) .

II,2,3 MODELE GENETIQUE .

Les minéralisations de cobalt ont subi plusieurs phases de déformation, recristallisation et remobilisation . Les structures actuelles sont surtout dues à la dernière de ces phases qui est tardi-hercynienne .

Les relations chronologiques des minéralisations avec la phase B2, avec les dépôts de la couverture Pr.III et avec la ou les premières(s) phase(s) hercynienne(s) ne sont pas définitivement définies . Dans sa thèse, Leblanc (1975) a montré que la formation d'Ambed (Pr.II sup.) passait latéralement à la gangue des gisements, et présentait les mêmes passages progressifs aux serpentines ; il a donc proposé que la minéralisation de cobalt était en partie contemporaine du dépôt de la formation d'Ambed . Ensuite la phase pan-africaine B2 et les phases tectoniques hercyniennes ont remobilisé le matériel carbonaté de la formation d'Ambed pour former la gangue des gisements . Les phénomènes hydrothermaux hercyniens ont joué un rôle important dans la constitution des gisements .

Enfin, il est possible qu'au cours de la mise en place du complexe ophiolitique de Bou-Azzer, des métasomatoses carbonatées contemporaines de la serpentisation aient déjà donné des lentilles de carbonates (listvénites) avec des minéralisations arséniées, bien avant le dépôt de la formation d'Ambed (Leblanc, communication orale) .

Le modèle génétique de Bou-Azzer est donc compliqué et est encore sujet à discussion . D'après M. Leblanc (1975), on soulignera l'importance des phénomènes suivants :

1) Altération météorique des serpentines avec préconcentration de cobalt accompagnée d'un dépôt silico-carbonaté dans des bassins endoréïques (formation d'Ambed), et suivie de phases tectoniques favorisant la concentration du minerai .

Dans ce modèle la source de la matière des gisements (arséniure de cobalt et gangue) est considérée comme unique : les serpentines .

2) Lessivage hydrothermal . Dans ce cas, la source du cobalt est toujours dans les serpentines (lessivage hydrothermal), mais l'arsenic ainsi que les éléments de la gangue carbonatée (CO₂, SiO₂, Ca) en particulier viendraient d'une source cachée magmatique diversement interprétée (magmatisme ophiolitique, volcanisme du Pr.III, volcanisme alcalin adoudounien, granite hercynien, etc...)

CHAPITRE III:

LES ROCHES CARBONATEES DU DISTRICT MINIER DE BOU-AZZER-BLEÏDA

III,1) LES ROCHES CARBONATEES DU SECTEUR DE BLEÏDA

III,2) LES AUTRES ROCHES CARBONATEES ECHANTILLONNEES

III,3) LES PROBLEMES POSES

Tableau 1 : résumant les lieux des prélèvements et les types d'analyses

Type de carbonates	Lieu de prélèvement	Nombre et type d'analyses	
		Majeurs	Traces
C1, (filoniens N130)	Bleïda	20	15
C2, (filoniens ≠ de N130):	Bleïda	10	7
C3, (volcano-sédimentaires):	Bleïda	15	12
C4, (contact du gabbros)	Bleïda Sud	10	6
Gabbros	Bleïda Sud	2	2
Filons au contact des serpentines	{ - Bou-Azzer Est (Fig n°) - Mechoui	4 3	4 3
Formation d'Ambed	- Ambed 1	7	7
Filons dans le Pr.III	Aroulin'Azougar	3	3
Filon dans la dio- rite quartzique	Bouzben	5	5
Gangue de la miné- ralisation cobaltifère (éch. notée C.T.C.O.):	Fond de la mine de Tamdrost	1	1

Nous avons étudié des carbonates de la boutonnière de Bou-Azzer-El Graara pour des raisons fondamentales et pratiques :

a) Comme nous venons de le voir, il existe une grande variété de carbonates (sédimentaires, hydrothermaux, etc...) dans le socle précambrien de la boutonnière .

b) Beaucoup de carbonates sont liés à des minéralisations de cobalt (gangue carbonatée) ou de cuivre (horizon à jaspes et carbonates), et posent des problèmes génétiques .

c) Ce district minier en exploitation (O.N.A.) nous permettait de bénéficier d'une infrastructure logistique et de faire des prélèvements dans les travaux miniers .

III,1 LES ROCHES CARBONATEES DU SECTEUR DE BLEIDA .

Nous avons classé les différents types de roches carbonatées du secteur de Bleida de la façon suivante : (Fig. 6) .

- C1 = carbonates filoniens remplissant des failles pan-africaines B1 (de direction N 130) .

- C2 = carbonates filoniens (postérieurs à la phase pan-africaine B1 de direction variable (N 30 à N 90) .

- C3 = carbonates dans la masse volcano-sédimentaire .

- C4 = carbonates au contact des gabbros .

Dans un souci d'allègement d'écriture nous emploierons quelquefois la désignation "C1" ou "les C1" plutôt que les "carbonates C1" et nous ferons de même pour les autres types de carbonates .

Tous les échantillons prélevés dans l'ensemble des groupes C1 à C4 se ressemblent beaucoup du point de vue macroscopique . Une centaine a été sélectionnée pour une étude détaillée au microscope .

III,1,2 LES CARBONATES C1 .

La figure 6 montre qu'ils se présentent en filons de direction moyenne N 130 et qu'ils soulignent de façon discontinue le contact de la série de Bleïda avec l'ensemble ophiolitique .

Ils sont roux foncé à gris, parfois légèrement plus silicifiés à leurs bordures .

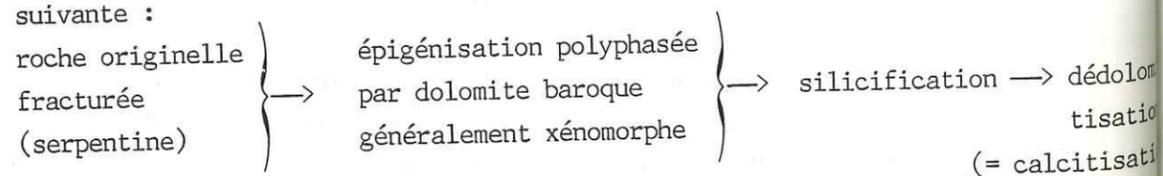
Aucune relation avec l'encaissant n'a été détectée sur le terrain ; en particulier il n'y a pas de diverticulatons latérales de ces filons, pas de bréchification aux épontes et leur contact avec les ophiolites ou avec tel ou tel niveau de la série de Bleïda est toujours net .

Ces carbonates sont constitués de calcite, dolomite, auxquelles s'ajoutent du quartz, ainsi que quelques traces d'hématite de chromite et de talc. Comme l'indique le tableau n° 3 (diffractométrie R.X.) c'est toujours la dolomite qui domine . Ils peuvent passer latéralement à des lentilles de serpentine carbonatée talqueuse .

Aussi bien à l'échelle du filon qu'à celle de l'échantillon, aucune zonalité n'apparaît dans la répartition de ces différentes phases .

L'examen des lames minces colorées montre la présence d'une dolomite ankéritique (bleu verdâtre au ferrocyanure de potassium) de forme tordue (= dolomite baroque - Bruce, 1980) qui se développe soit par remplacement total des minéraux de la roche originelle (nous verrons au § IV,3,3 qu'il s'agit de serpentine), soit par précipitation directe dans les zones de fractures . Une silicification tardive semble suivre cette phase dolomitique; finalement une dédolomitisation apparaît dans certains cristaux par la mise en place de calcite .

A l'échelle de l'échantillon, on peut conclure ainsi la chronologie suivante :



Cette chronologie peut être généralisée à l'échelle du filon . La roche originelle est probablement une serpentine comme le laisse présumer la présence de chromite qui, dans la région, est généralement liée à la serpentine .

III,1,3 LES CARBONATES C2 (FIG. 6) .

Ils ont été échantillonnés dans des encaissants de nature variable (granodiorite, schistes noirs de la série de Bleïda, etc...) . Comme les C1, ils se présentent en filons, dont certains sont constitués uniquement de matériel carbonaté de couleur beige clair, alors que d'autres montrent des épontes siliceuses . Dans le second type, le quartz apparaît antérieur aux carbonates; il est caractérisé par un aspect massif sur les épontes du filon et par la présence de cristaux automorphes du côté du matériel carbonaté .Une variation de couleur des carbonates est nettement visible de l'extérieur du filon où ils sont brun foncé à noirs (côté du quartz), vers le coeur du filon où ils sont beige clair (cf. PL.2) .

Les carbonates C2 sont constitués de calcite et de dolomite avec toujours dominance de la dolomite (cf. tableau 4) .

Ces carbonates sont caractérisés microscopiquement par leur cristallisation en gerbes (cf. PL.1) habituellement typique des carbonates hydrothermaux .

Ce sont des dolomites ankéritiques (coloration bleu vert au ferrocyanure de potassium) .

III,1,4 LES CARBONATES C3 (Fig. 6) .

Ils sont répartis en niveaux de faible épaisseur (0,5 à 1 m) ou en lentilles dans la série de Bleïda . Parmi eux, certains soulignent le mur du niveau porteur de la minéralisation .

Ce sont des carbonates rouge - brun ou verdâtres, à litage plus ou moins net et contenant parfois des traces de malachite . Ils sont constitués de

calcite et de dolomite auxquelles s'ajoute du quartz . Les teneurs respectives varient suivant les échantillons (cf. tableau 4) .

Au microscope, les carbonates C3 sont très finement cristallisés, la présence de grains de quartz arrondis conduit à l'hypothèse d'un apport détritique et donc d'une origine sédimentaire . Le fond quartzo-carbonaté montre un alignement (cf. PL. 1) interprétable comme le signe de sédimentation.

III,1,4 LES CARBONATES C4 .

Ils se situent surtout dans la zone Sud (Fig. 6) toujours au contact des gabbros qui constituent l'essentiel des roches basiques de la série de Bleïda (Fig. 6) . Ils sont en lentilles de puissance variable (0,5 à 1 m) . Ce sont des carbonates verdâtres, avec parfois des enclaves de gabbros (Cf. Pl. 3) . A part une fraction non négligeable de quartz, ces lentilles sont constituées de calcite et d'une très faible proportion de plagioclase . (Tableau 4) .

Signalons que des veinules de calcite (diffractométrie R.X.), échantillonnées dans la masse même des gabbros, sont comptées dans ce groupe C4 .

Au microscope, les carbonates C4 montrent, en plus des caractères cités pour les C3, des particularités de regroupement de grains de quartz détritique autour des enclaves de microgabbros (cf. PL. 1) .

III,2 LES AUTRES ROCHES CARBONATEES ECHANTILLONNEES .

III,2,1 ECHANTILLONNAGE (Tableau n°1) .

Un échantillonnage ponctuel a été effectué dans certains carbonates au contact des serpentines (Elguir, Mechoui, et Bou-Azzer Est), dans la gangue du gisement de cobalt (Tamdrost), dans la formation d'Ambed (Fig. 11), dans des filons de la couverture Pr.III (Arouli N'Azougar) (Fig. 12) et des filons dans la diorite quartzique (Bouzben) .

Le site de Bou-Azzer Est a été choisi pour l'étude de l'évolution géochimique des serpentines vers les carbonates ou listvénites (auteurs soviétiques) . Les prélèvements ont été effectués des serpentines vers les

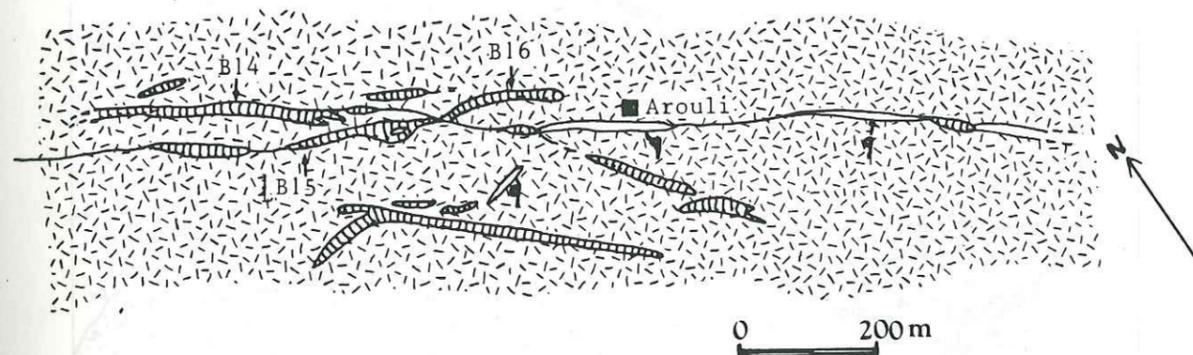


Figure 11 : Localisation des échantillons prélevés dans la région d'Arouli N'Azougar

-  Formation volcanique du Pr.III (couverture)
-  Filons carbonatés
- q= quartz

20 AOÛT 2003
 Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 F. 38041 B.P. 53
 Tél. 04 76 83 5427 - Fax 04 76 51 4058
 Mail: pialour@ujf-grenoble.fr

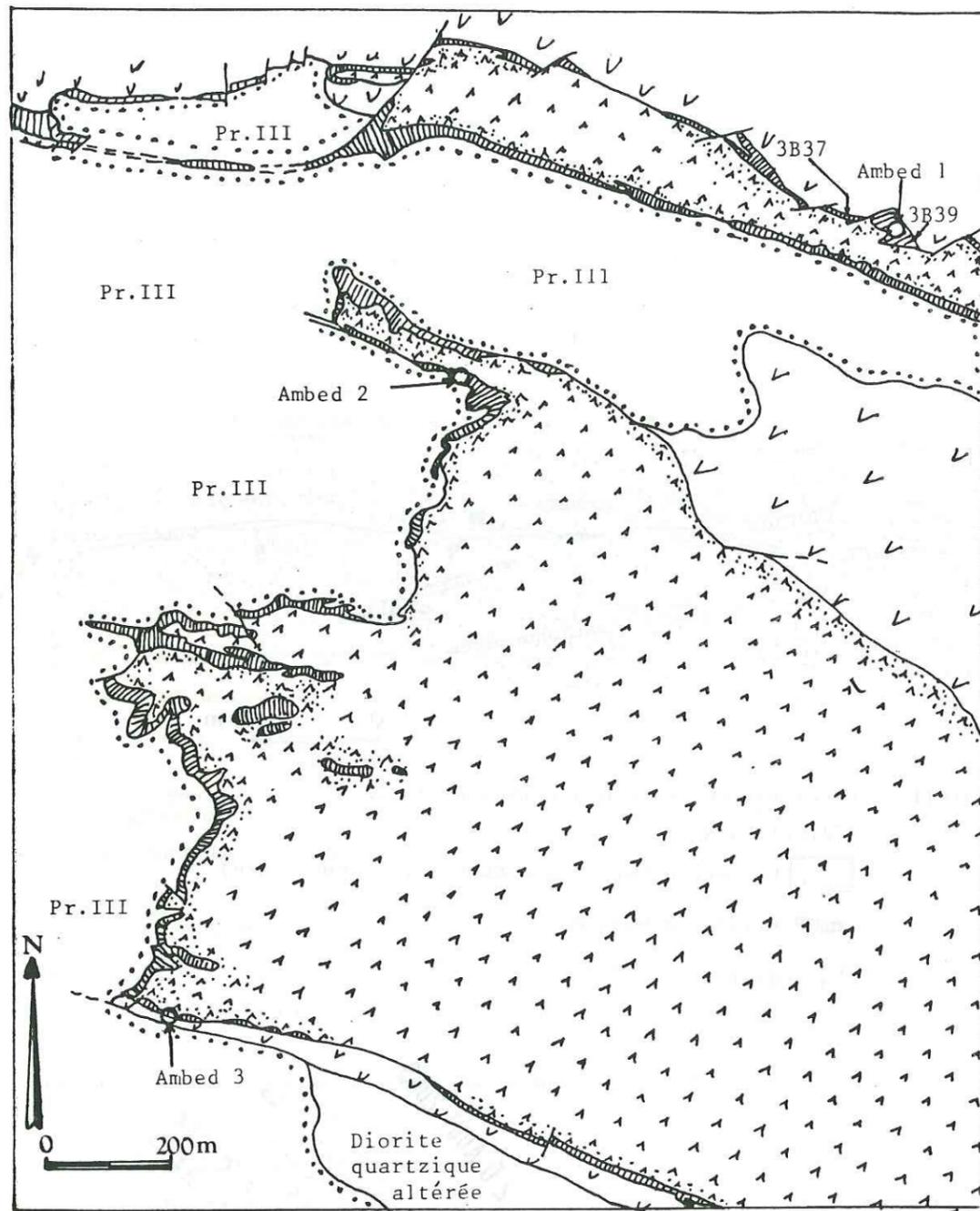
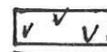
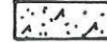
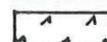


Figure 12 : Carapace d'Ambed avec localisation des échantillons prélevés dans la région d'Ambed I. D'après LEBLANC, 1975 (simplifié)

-  Roches vertes
-  Serpentes carbonatées
-  Serpentes
-  Roches carbonatées (formation d'Ambed)

listvénites (Fig. 13) . Les résultats analytiques sont rassemblés sur le tableau n° 6, 9 et 14 .

III,2,2 FILONS AU CONTACT DES SERPENTINES ET GANGUES DES GISEMENTS DE COBALT (BOU-AZZER ET TAMDROST) .

Les chercheurs soviétiques ont travaillé sur le secteur de Bou-Azzer . Ils ont défini les formations carbonatées qui sont au contact des serpentines comme des listvénites, formés donc aux dépens des serpentines .

Nous avons entrepris l'étude de certains échantillons des listvénites (tableau 1) prélevés de façon très dispersée dans la région de Bou-Azzer :

- région de Mechoui
- région de Mokhazni
- région d'El Guir
- région de Bou-Azzer Est

Toutes ces formations sont en filons . Elles sont constituées de quartz qui se présente parfois en lits millimétriques alternant avec un matériel quartzo-carbonaté .

La diffractométrie des R.X. montre l'association de quartz, de dolomite, de calcite, d'oxydes de fer et parfois de talc, plus quelques traces de chlorite . (Tableau 3) .

Pour définir les relations génétiques et chronologiques entre les différentes phases carbonatées, quelques échantillons ont été sélectionnés pour une double coloration . L'alizarine colore en rose la calcite ; le ferrocyanure de potassium colore en bleu la dolomite (bleu vert pour la dolomite ankéritique) .

L'examen des lames minces colorées montre les mêmes caractéristiques que les carbonates C1 de Bleïda : dolomite ankéritique baroque qui se développe par remplacement d'anciens minéraux (serpentes) ; une silicification secondaire plus développée, par endroits la dolomite ne subsiste qu'en petites taches dans certains cristaux de quartz qui ont hérité de la forme rhomboédrique de la dolomite .

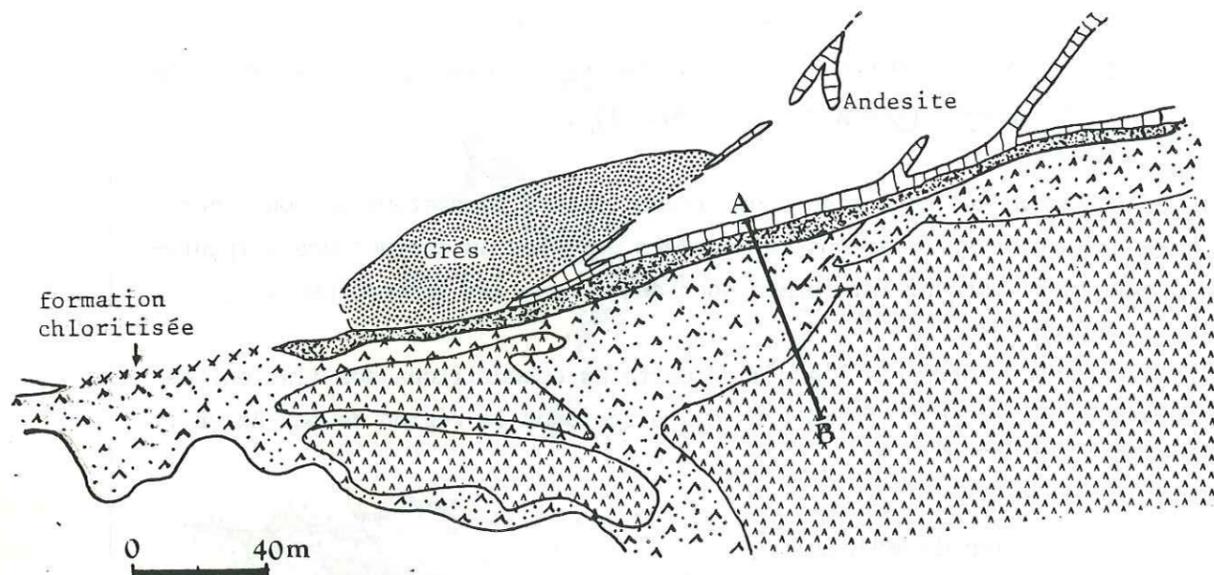


Figure 13 : Localisation des échantillons prélevés dans la région de Bou-Azzer Est

- Serpentine
- Serpentine carbonatées
- Listvénites
- Carbonates bréchiques

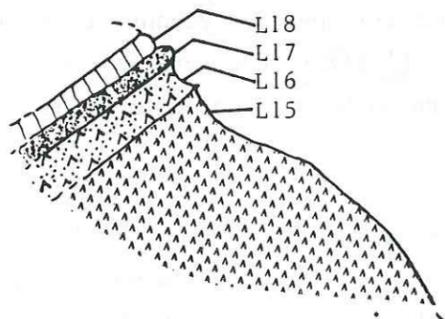


Figure 14 : coupe AB

Dans quelques échantillons, une dédolomitisation par calcitisation fait suite à la silicification .

Cette étude aboutit à la même chronologie que pour les carbonates C1 de Bleïda .

Signalons que, dans certains échantillons, seules les phases de dolomitisation et silicification sont mises en évidence .

Afin de suivre l'évolution géochimique depuis les serpentines jusqu'aux listvénites, trois échantillons ont été prélevés dans la zone de Bou-Azzer Est (Fig. 13) : un échantillon dans les serpentines (L 15), un dans les serpentines carbonatées (L 16) et un dans les listvénites (L 17) . Nous examinerons les résultats obtenus dans le chapitre IV .

III,2,3 FILONS DANS LA COUVERTURE Pr. III (AROULI N'AZOUGAR) .

On constate dans cette zone une abondance de filons carbonatés qui affleurent dans les rhyolites du Pr.III et qui ont un aspect macroscopique comparable à celui des carbonates de Bou-Azzer Est . Trois échantillons ont été prélevés dans trois filons, tous trois de direction N 100, (Fig. 11) et ont fait l'objet d'une étude géochimique .

Ces filons peuvent être liés à des venues hydrothermales de remobilisation post-Pr.III qui sont probablement dues à une phase hercynienne .

Dans ces trois échantillons, c'est la dolomite qui l'emporte sur la calcite et le quartz (tableau 3) .

L'étude microscopique montre que ces carbonates sont en grande partie recristallisés, donnant ainsi des rhomboédres zonés avec une augmentation de la teneur en fer du coeur vers le bord des cristaux (microsonde électronique) .

L'examen des lames colorées montre qu'il ne s'agit plus de dolomite ankéritique et aucune phase de calcitisation n'a eu lieu ; une phase de silicification bien développée est par contre à noter .

III,2,4 FORMATION D'AMBED (FIG. 12) .

Deux échantillons ont été prélevés dans des carbonates gris au contact des serpentines ; ils ont la particularité de renfermer des traces de pyrite et ils montrent beaucoup de calcite recristallisée . Aucune trace de dolomite n'apparaît dans les diffractogrammes R.X qui ne montrent que la présence de calcite avec un peu de quartz (tableau 3) .

III,2,5 FILONS DANS LA DIORITE QUARTZIQUE (BOUZBEN) .

L'essentiel des formations géologiques de la région de Bouzben correspond à des granodiorites recoupées par des filons carbonatés et/ou quartzeux.

Je me suis intéressée d'abord à un filon orienté N 100 de 10 m de puissance en moyenne et long de plusieurs dizaines de mètres, rempli de carbonates beige à rose clair, puis à un filon de direction N 10 rempli de calcite en rhomboédres, qui recoupe les granodiorites de Bouzben et se poursuit jusqu'à la base de l'Adoudounien .

Le premier est constitué de dolomite, calcite et très peu de quartz . La dolomite est cristallisée en gerbes (cf. PL.1) caractérisant ainsi les carbonates hydrothermaux .

Le deuxième ne contient que de la calcite bien cristallisée en rhomboédres .

Ces filons correspondant à des manifestations hydrothermales post-Pr. III, sans liaison apparente ni avec les serpentines ni avec les gisements de cobalt (ce point de vue trouvera sa confirmation dans l'étude géochimique).

III,3 LES PROBLEMES POSES .

L'ensemble de ces constatations soulève quelques questions :

1) Quelle peut être l'origine des carbonates associés aux serpentines (problèmes des listvénites) ?

2) Quelles sont les caractéristiques des carbonates hydrothermaux filoniens ? s'agit-il de plusieurs familles ?

3) Quelles différences réelles peut-on établir entre les carbonates volcano-sédimentaires et ceux qui, dans la même série générale, sont toujours au contact des gabbros ?

Pour répondre à ces questions, quatre-vingts échantillons environ ont été sélectionnés pour l'étude des éléments majeurs et des éléments en traces, notamment des Terres rares .

CHAPITRE IV:

ETUDE GEOCHIMIQUE DES ROCHES CARBONATEES

IV,1) TECHNIQUES D'ANALYSES

IV,2) LES ELEMENTS MAJEURS

IV,3) ETUDE DE LA DISTRIBUTION DES TERRES RARES

L'étude macroscopique et microscopique (§ III,1 et III,2) ne suffit pas à répartir de façon sûre l'ensemble des échantillons étudiés dans les subdivisions signalées précédemment (§ III,1) . Nous attendons alors des analyses chimiques de l'ensemble des échantillons une possibilité complémentaire de discrimination et le cas échéant l'établissement d'une signature géochimique pour chacun des quatre groupes définis (§ III,1) . Pour chaque échantillon, l'analyse chimique systématique sera présentée : les éléments majeurs (fluorescence X et microsonde électronique), les éléments en traces y compris les Terres rares (spectrométrie de masse à étincelles) .

IV,1 TECHNIQUES D'ANALYSES .

Pour les analyses des éléments majeurs nous avons utilisé la fluorescence X à l'Institut de Géologie de Grenoble et à la Faculté des Sciences de Lyon . Pour les éléments en traces y compris les Terres rares, la spectrométrie de masse à étincelles (S.M.E.) au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble .

Nous allons seulement décrire le principe et l'intérêt de la spectrométrie de masse qui représente une technique peu utilisée en géologie et qui a donné de bons résultats dans le cadre de notre étude :

LA SPECTROMETRIE DE MASSE A ETINCELLES :

La spectrométrie de masse à étincelles est destinée à l'analyse semi-quantitative et simultanée de tous les éléments de Li à U .

Son application à la géologie nous permettra d'inventorier les éléments traces et mineurs présents et de déterminer les éléments caractéristiques des différents carbonates étudiés .

a) APPAREILLAGE :

Les principes physiques et l'appareillage ont été décrits en détail par Le Suavé et Voisset (1974 et 1976) . Nous nous bornerons donc ici à une description sommaire .

L'appareil utilisé est un spectromètre de masse MS 702-AEI .

Il comprend trois parties : (Fig. 15)

- La source d'ions
- Le système analyseur
- Le collecteur

Entre deux électrodes constituées par l'échantillon à analyser, on applique une haute tension (10 à 60 KV) à haute fréquence (600 KHZ) . Les ions produits par la décharge sont accélérés et transmis vers le système analyseur à travers la fente source . Ce système analyseur (optique de Mattauch-Herzog) permet de séparer les ions, suivant M/q (M = masse et q = charge) .

Ce système optique admet un plan image permettant d'enregistrer simultanément tout le spectre de la masse 7 à la masse 238 sur une plaque photosensible . Chaque plaque est composée de 14 expositions, d'intensité décroissante de 3 en 3 (exposition 100, 30, 10, ..., 0, 001 nCb) (Fig. 16) .

b) PREPARATION DES ECHANTILLONS ET FABRICATION DES ELECTRODES .

La quantité d'échantillon analysée est très faible : chaque électrode contient environ 100 mg de poudre de roche, et l'ionisation ne porte que sur une partie . C'est pourquoi il faut apporter un soin particulier au choix de l'échantillon ainsi qu'à la préparation des poudres .

Les échantillons analysés ont été choisis de façon à représenter le mieux les formations (§ III,2,1) .

c) BROYAGE :

Après concassage au marteau (précaution pour éviter le contact avec le métal = papier filtre), le concassage à l'étau sur mâchoires donne des morceaux de diamètre inférieur ou égal à 0,5 cm . Les morceaux recueillis sont triés manuellement avec une pince en tantale . Le broyage est terminé à l'aide d'une pulvérisette en agate prépolluée avec une parite de l'échantillon à broyer .

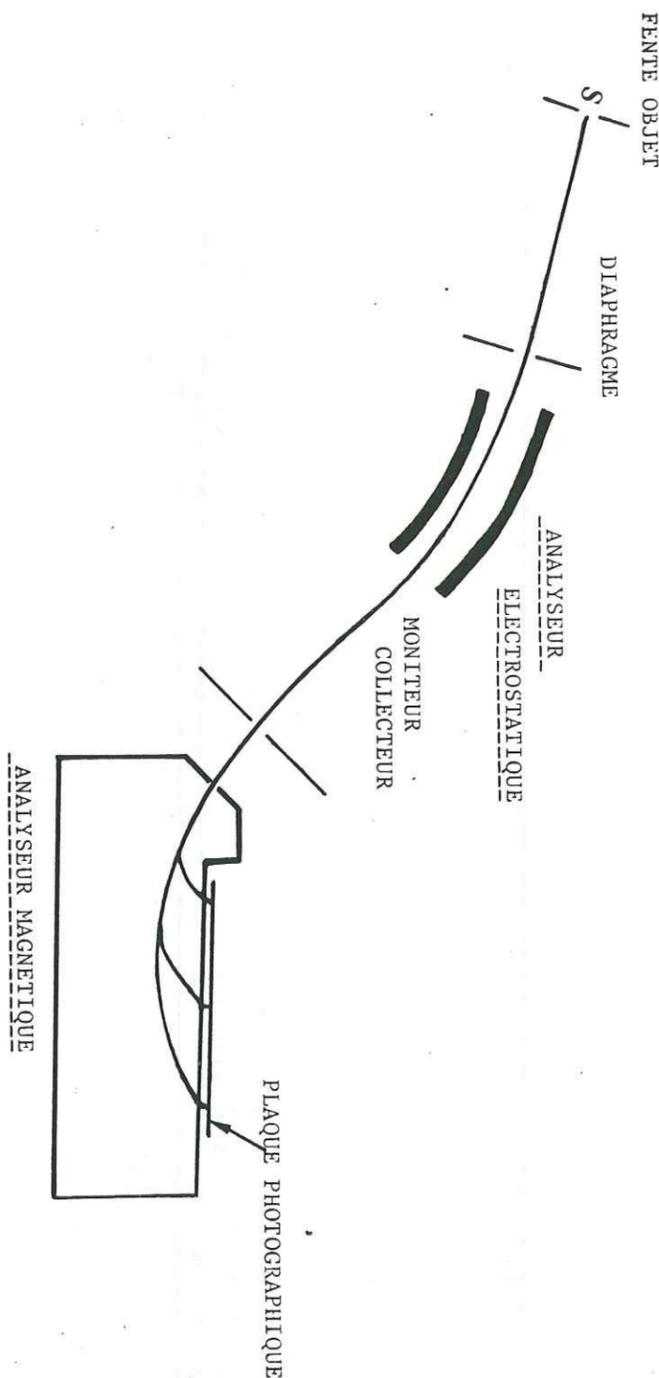


Figure 15 : optique du MS 702-AEI

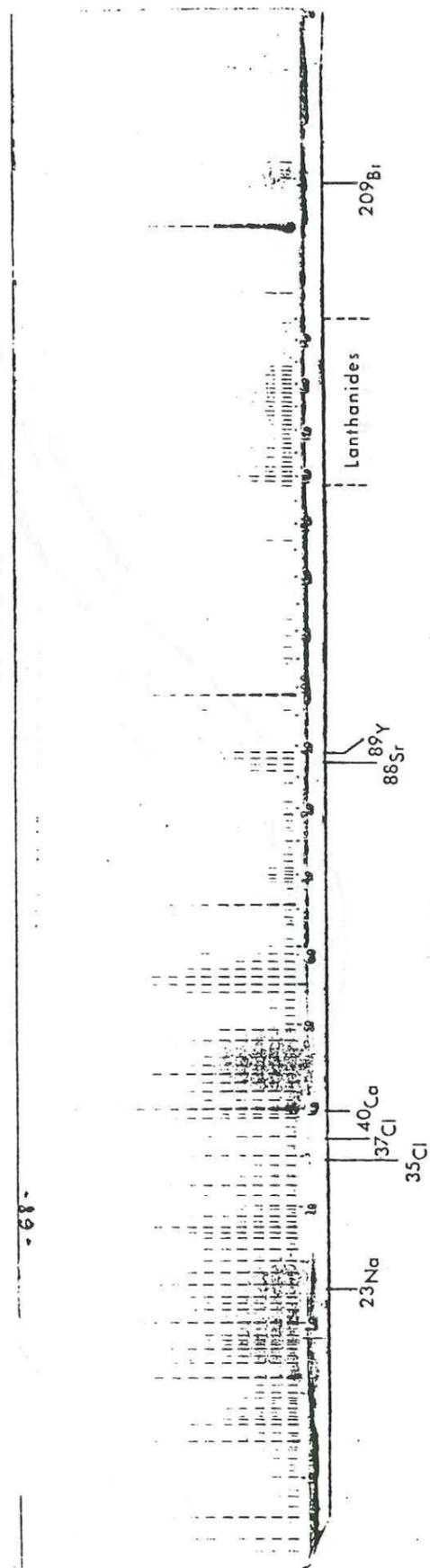


Figure 16: Spectre d'un échantillon de carbonate

d) FABRICATION DES ELECTRODES .

Les roches n'étant pas conductrices, leurs poudres sont mélangées avec un liant conducteur tel que du graphique pur à 99,999 % . Cette pureté a été vérifiée par analyse au spectromètre de masse .

Tous nos échantillons ont été pastillés avec du graphique à raison de 200 mg de graphique et 200 mg d'échantillon (pour deux électrodes) . La poudre obtenue est ensuite introduite dans un moule à électrodes en inox et compactée sous vide à une pression de 1 t/cm pendant 10 mn .

L'homogénéité des poudres est contrôlée sur les spectres : en effet, si l'étincelage se fait sur un grain étranger ou sur une inclusion, il y a création d'une bouffée d'ions représentative de cette anomalie .

Cela se traduit sur la plaque par l'apparition soit de teneurs très différentes pour un même élément, soit par la présence de nouveaux éléments sur une seule exposition . Pour certains échantillons de carbonates étudiés, deux types d'inclusions ont été ainsi mis en évidence (inclusions de NaCl et KCl).

e) ANALYSE QUALITATIVE .

Plusieurs types d'ions sont produits au cours de l'étincelage :

- . ions monochargés
- . ions polychargés qui apparaissent aux masses apparentes $m/2$, $m/3$... m/n dont les abondances décroissent rapidement avec le nombre de charge .
- . ions polyatomiques (ex. $2C^+$ à la masse $24 = 2 \times 12$) (quelques ppm).
- . ions d'associations qui se produisent entre les éléments de la matrice et les éléments les plus courants tels que C, H, O (ex. CaC à la 52) . Ils sont peu abondants (quelques ppm) sauf pour les Terres rares .

L'exemple d'analyse d'un échantillon (tableau n° 2) permet de mieux comprendre le dépouillement qualitatif des spectres .

Tableau 2 : RAIES CHOISIES POUR L'ANALYSE D'UN ECHANTILLON CARBONATE :

Eléments	Masse	Elément interférent
Li	7	Si ⁴⁺ (doublet résolu)
Be	9	
B	11	pas d'interférence
F	19	
Na	23	pas d'interférence
P	31	monoisotopique
S	34	³⁹ S (interférence du Zn ²⁺)
Cl	35	
cK	39	
Ca	42	⁴⁰ Ca est souvent saturé
Sc	45	pas d'interférence
Ti	47 et 49	⁴⁶ Ti (⁴⁶ Ca), ⁴⁸ Ti (⁴⁸ Ca)
V	51	pas d'interférence
Cr	53	(⁴⁰ Ca + ¹³ C) (doublet résolu)
Co	59	
Ni	60	(⁴² Ca + ¹⁸ O) (doublet résolu)
Cu	63	
Zn	67	pas d'interférence
Ga	71	rare
As	75	pas d'interférence
Br	79	rare
Rb	85	pas d'interférence
Sr	88	pas d'interférence
Y	89	pas d'interférence
Zr	90	pas d'interférence
Nb	93	rare
Mo	98	rare
Cs	133	pas d'interférence
Ba	137 et 138	pas d'interférence

Pour une analyse qualitative correcte quelques règles sont à suivre :

- respect du motif isotopique et de l'abondance naturelle des différents isotopes (chaque élément est caractérisé par son cortège isotopique).

- présence d'ions polychargés à niveau de masse adéquat ; ces ions sont pratiquement séparables des ions monochargés.

- séparation des raies de masses très voisines en vérifiant si le pouvoir de résolution le permet ou non.

f) ANALYSE QUANTITATIVE .

Elle comprend les étapes suivantes :

- choix des raies mesurables (raies sans interférences non séparables) .

- mesure par un microdensitomètre du noircissement de chaque raie (ou densité optique D.O.) . Ce noircissement n'est pas directement proportionnel aux ions produits car on doit tenir compte de la réponse de l'émulsion photographique .

- transformation des D.O. en intensité à l'aide d'une courbe de calibrage construite pour chaque plaque photographique ; l'intensité est proportionnelle à la quantité d'ions déposée sur la plaque .

- calcul de la teneur des impuretés : la teneur des impuretés est déterminée par le rapport de l'exposition de l'impureté à celle de l'élément de référence donnant le même niveau d'intensité selon la formule suivante :

$$T = 10^6 \cdot E_m / E_i \cdot A_m / A_i$$

avec: E_m = exposition de la matrice

E_i = exposition de l'impureté

A_m / A_i = abondance isotopique des raies choisies

T est en ppm atomique

L'élément de référence est choisi selon le type d'échantillon (Ca pour notre cas de carbonates), on lui attribue arbitrairement une teneur de 10^6 ppm atomique .

L'élément de référence doit être dosé par une autre méthode (la fluorescence X par exemple) pour qu'on puisse donner les teneurs en $\mu\text{g/g}$ par rapport à la roche totale .

g) CONCLUSION .

La spectrométrie de masse à étincelles permet de déterminer de façon semi-quantitative tous les éléments attendus ou non, d'un échantillon avec une très faible limite de détection ($0,1 \mu\text{g/g}$ ou ppm) .

Cependant la faible quantité d'échantillon utilisée pose le problème du choix de la taille du prélèvement initial, afin d'obtenir une valeur moyenne représentative notamment dans les systèmes polyphasés .

IV,2 LES ELEMENTS MAJEURS .

IV,2,1 LES ROCHES CARBONATEES DE BLEIDA .

L'ensemble des éléments majeurs a été déterminé par fluorescence X pour la totalité des échantillons sur roche totale . Les résultats sont rassemblés sur les tableaux 5 et 7 . Une dizaine d'échantillons a été analysée (pour les minéraux de carbonates) par microsonde électronique avec dix points en moyenne par échantillon à l'université de Montpellier .

L'examen des résultats de fluorescence X porte essentiellement sur les constituants principaux des carbonates (Ca, Mg, Fe, Mn) . Les teneurs obtenues sont d'abord présentées dans un diagramme semi-logarithmique (Fig. 17) qui permet de voir l'évolution des teneurs de ces éléments dans les différents types de roches carbonatées (C1, C2, C3, C4) puis dans des diagrammes triangulaires (Ca-Mg-Mn et Ca-Mg-Fe) .

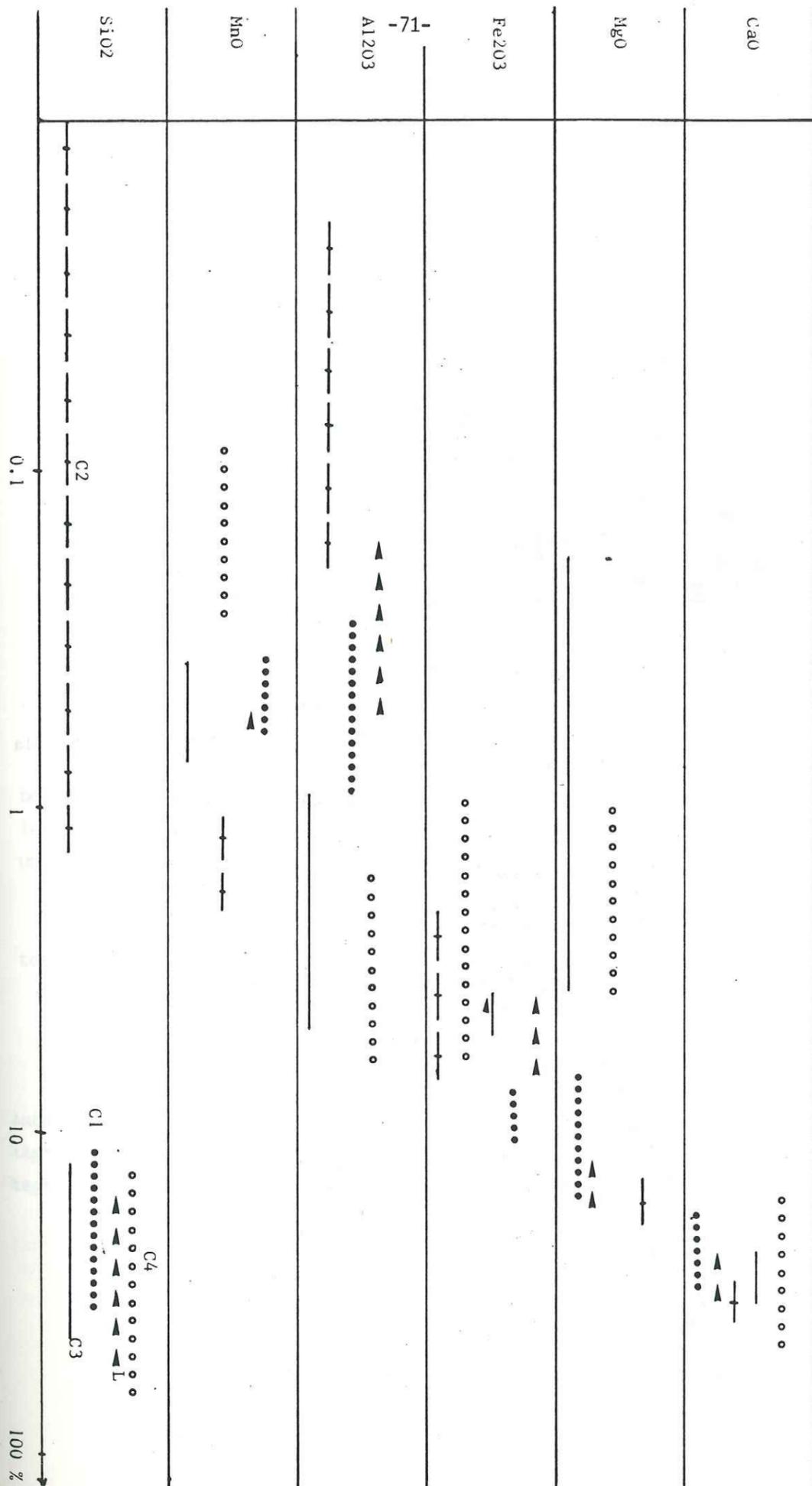


Figure 17 : Variation des éléments majeurs en %

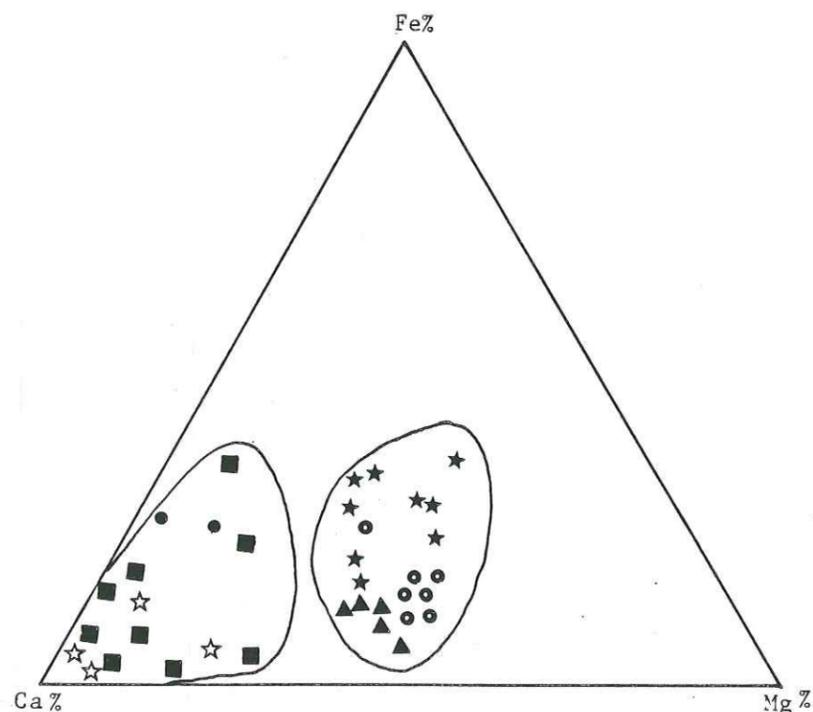


Figure 18 : Les différents carbonates dans le diagramme (Fe, Ca, Mg)

- ★ Roches carbonatées C1
- ▲ Roches carbonatées C2
- ☆ Roches carbonatées C4
- Roches carbonatées C3
- Listvénites (Bou-Azzer)
- Formation d'Ambed

Bleïda

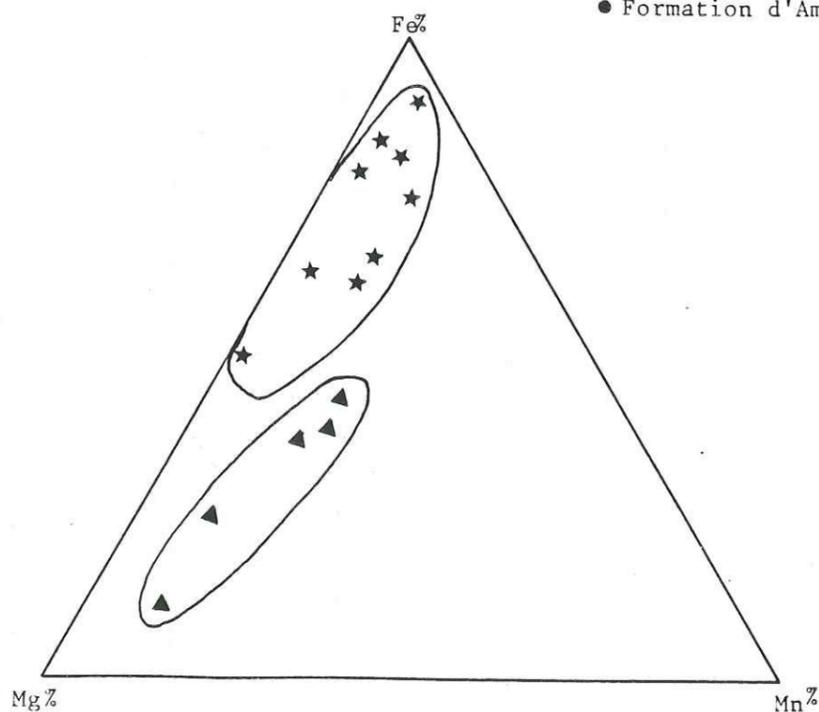


Figure 19 : Les carbonates C1 et C2 dans le diagramme triangulaire (Fe, Mg, Mn)

a) De la figure 17 se dégage que :

Selon la teneur en MgO, deux groupes peuvent être distingués l'un regroupant les carbonates C1 et C2 (carbonates filoniens) avec une teneur variable de 7 à 20 % de MgO et l'autre regroupant C3 et C4 (carbonates non filoniens) avec des teneurs généralement inférieures à 7 % .

Les carbonates C1 sont caractérisés par des teneurs relativement fortes en Fe_2O_3 , deux à quatre fois supérieures à celle obtenues pour les formations C2, C3, et C4 .

Une teneur en MnO supérieure à 1 % caractérise le groupe des C2 . Les C1 peuvent être aussi caractérisés par une teneur en MnO d'environ 0,5 à 1 % en moyenne, mais certains échantillons font exception . Les teneurs en MnO dans C3 ne dépassent qu'exceptionnellement 0,5 % .

Pour le CaO, on peut noter des teneurs fortes mais à peu près identiques pour les quatre types de carbonates .

b) La figure 18 confirme nettement la distinction entre les carbonates filoniens (C1 + C2) représentés par un nuage de points tendant vers le pôle magnésien, et les carbonates non filoniens (C3 + C4) représentés par un nuage de points tendant vers le pôle calcique .

c) La figure 19 permet de distinguer les carbonates C1 des carbonates C2, avec les C1 vers le pôle du Fe et les C2 vers le pôle Mg .

d) Conclusion .

Jusqu'à ce niveau d'étude, les roches carbonatées de Bleïda peuvent être subdivisées en deux grands types : un premier essentiellement dolomitique et regroupant les roches filoniennes et un second essentiellement calcitique et regroupant les roches non filoniennes .

IV,2,2 LES AUTRES ROCHES CARBONATÉES (tableau 6) .

Les teneurs en éléments majeurs dans les roches carbonatées de Bou-Azzer (listvénites) sont très proches de celles des carbonates C1 de Bleïda pour Ca, Mn et Mg, mais légèrement différentes pour Si et Fe (Fig. 17) .

Reporté sur les diagrammes triangulaires (Fig. 18 et 19), leurs points représentatifs appartiennent au même nuage que les C1 de Bleïda . Il s'agit donc là aussi de roches dolomitiques avec une abondance relative de Si qui peut être liée au phénomène de la silicification secondaire déjà signalée (§ III,2).

Les roches carbonatées d'Ambed sont essentiellement calcitiques ; de ce fait elles apparaissent proches du pôle calcique dans le diagramme de la fig. 18 .

Les carbonates d'Arouli N'Azougar s'approchent aussi des carbonates C1 . Une silification secondaire a été mise en évidence dans l'ensemble de ces carbonates et est à l'origine des teneurs relativement fortes en Si .

IV,2,3 CONCLUSIONS .

Au terme de ces premiers stades d'études, on aboutit donc aux mêmes conclusions que celles tirées de l'étude microscopique et qu'on peut résumer comme suit :

Les roches carbonatées prélevées dans la région de Bou-Azzer proviendraient probablement d'une même roche-mère que les C1 de Bleïda, mais avec des processus d'altération différents ou du moins différemment ressentis selon l'endroit considéré .

Pour les roches carbonatées de Bleïda, autres que les C1, et pour celles d'Ambed et celles de Bouzben, il semble que l'étude géochimique des éléments majeurs ne permette pas d'apporter beaucoup de précisions sur les conclusions du chapitre précédent . Ce sera l'étude des éléments en traces et notamment des Terres rares qui va nous permettre de mieux cerner le problème de l'origine de chacun de ces carbonates .

IV,3 LES ELEMENTS EN TRACES .

Dans ce paragraphe, nous étudierons le comportement des éléments en traces dans les différents carbonates échantillonnés . Ces éléments sont groupés en grandes familles selon leur position dans la table périodique .

La finalité de cette étude est non seulement de dégager les lois de variation, mais aussi de mettre en évidence les éléments qui seront utilisés par la suite dans un but de classification et de comparaison, puis pour aborder les problèmes génétiques .

Cette étude a porté sur 70 échantillons représentatifs des différents types de carbonates rencontrés sur le district minier de Bou-Azzer-Bleïda .

Le nombre d'échantillons est réparti de façon inégale entre les différents types de carbonates, selon leur importance quantitative et leurs variations macroscopique dans le secteur (voir tableau 1) .

Les méthodes d'analyse sont résumées dans le paragraphe IV,1 . L'étude des éléments en traces est menée d'une part en comparant les teneurs entre les différents groupes tels qu'ils ont été individualisés à partir de leur mode de gisement (§ III,1,2) et d'autre part, par l'examen des corrélations entre les éléments pris deux à deux .

IV,3,1 INVENTAIRE DES ELEMENTS EN TRACES DANS LES CARBONATES ETUDIES .

Nous avons recherché tous les éléments présents du lithium à l'uranium . Les éléments suivants ont été dosés : Li, B, Be, F, Na, P, S, Cl, K, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Sr, Y, Zr, Ag, Cs, Ba, T.R., Pb, Nb, W .

Les résultats analytiques (en $\mu\text{g/g}$), classés par type de carbonates, sont donnés dans les tableaux 9 à 12 .

Les éléments ne figurant pas sur ces tableaux sont inférieurs à la limite de détection . On remarque que peu d'éléments de masse lourde sont présents dans ces carbonates .

IV,3,2 RESUME DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS PARTIELLES .

Vu le manque de référence bibliographiques, nous ne tenons compte que d'une comparaison relative des teneurs entre les différents types d'échantillons, afin de mettre en évidence les éléments caractéristiques de chacun d'eux .

Pour faciliter la lecture des résultats, les données ont été classées élément par élément sur les diagrammes n° 20,21,22, en indiquant, pour chaque type de carbonate, l'amplitude de variation des teneurs . Notons que ces diagrammes sont en échelle semi-logarithmique .

A partir de ces diagrammes, nous allons considérer les groupes d'éléments (selon les colonnes du tableau périodique) dans les différents types de carbonates .

IV,3,2,1 CARBONATES DE BLEIDA .

* GROUPE IA : Li, Na, K, Cs, Rb :

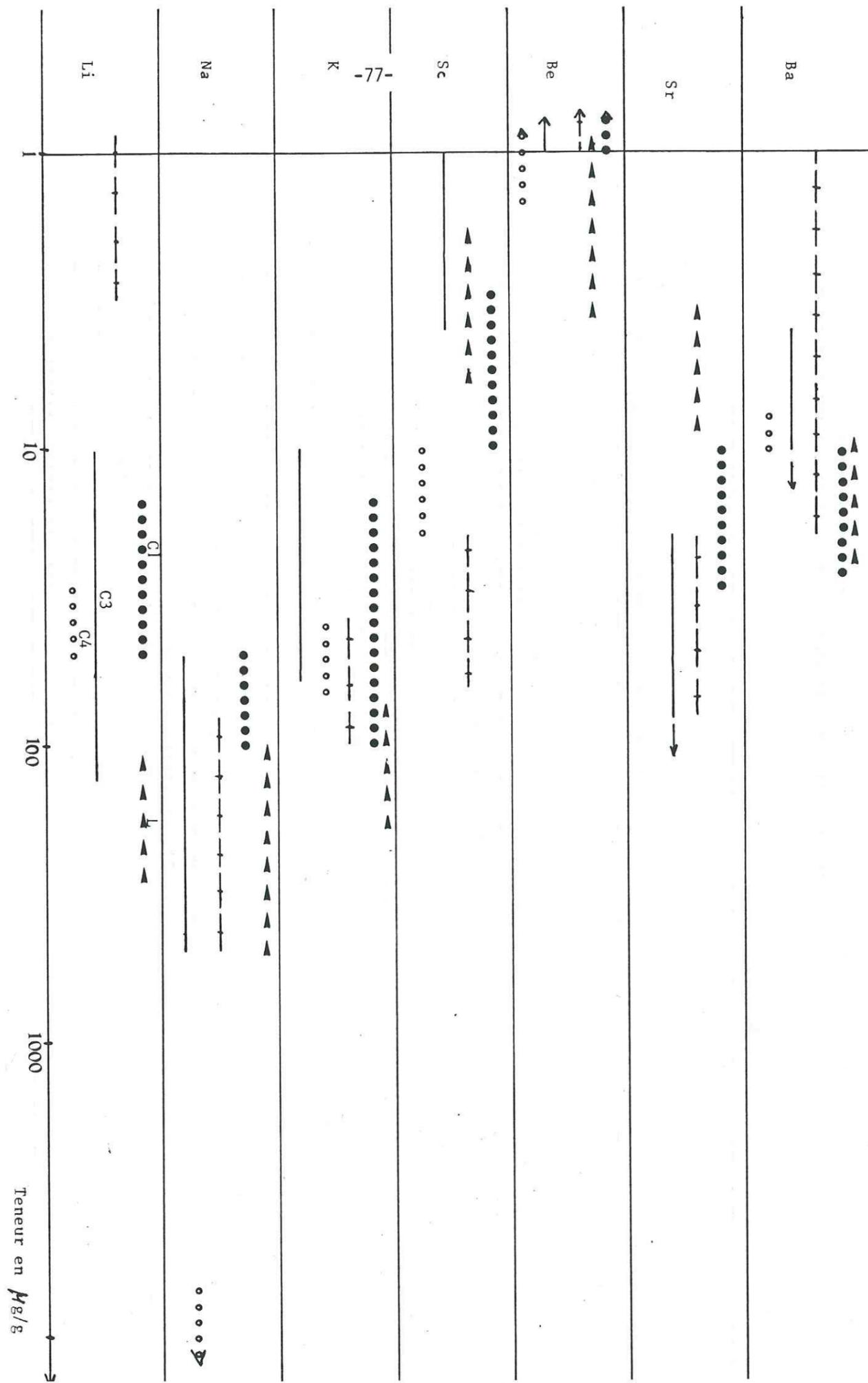
Li : les teneurs dans les carbonates C1, C3 et C4 sont réparties autour d'une valeur moyenne d'environ 30 µg/g . Par contre une teneur inférieure à 3 µg/g est caractéristique des carbonates C2 .

Na : il est présent dans tous les groupes à des teneurs toujours supérieures ou égales à 100 µg/g et ne permet donc pas de caractériser aucun type de carbonates . Certains échantillons du groupe C4 montrent de fortes teneurs en Na (parfois de l'ordre du pour cent) .

K : les teneurs dans les carbonates C1, C2, C3 et C4 sont regroupées autour d'une teneur moyenne de 300 µg/g ; aucun type des carbonates ne peut être alors défini par le potassium .

Rb : il est très rarement détecté dans l'ensemble des échantillons .

Figure 20 : Variation des éléments (les éléments ne figurant pas sur ces diagrammes) en traces (sont très variables dans un même groupe)



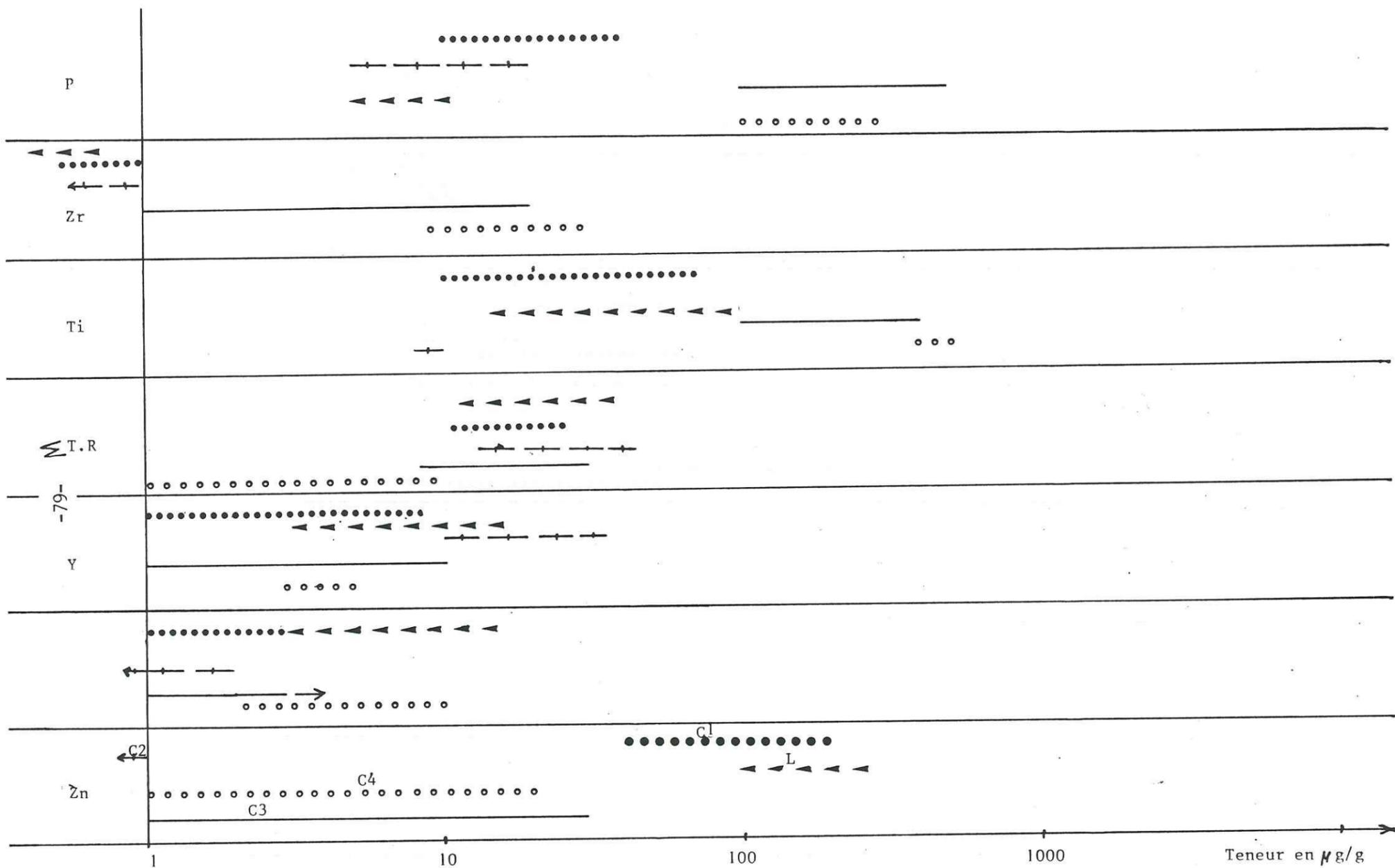


Figure 22 : Variation des éléments en traces (suite)

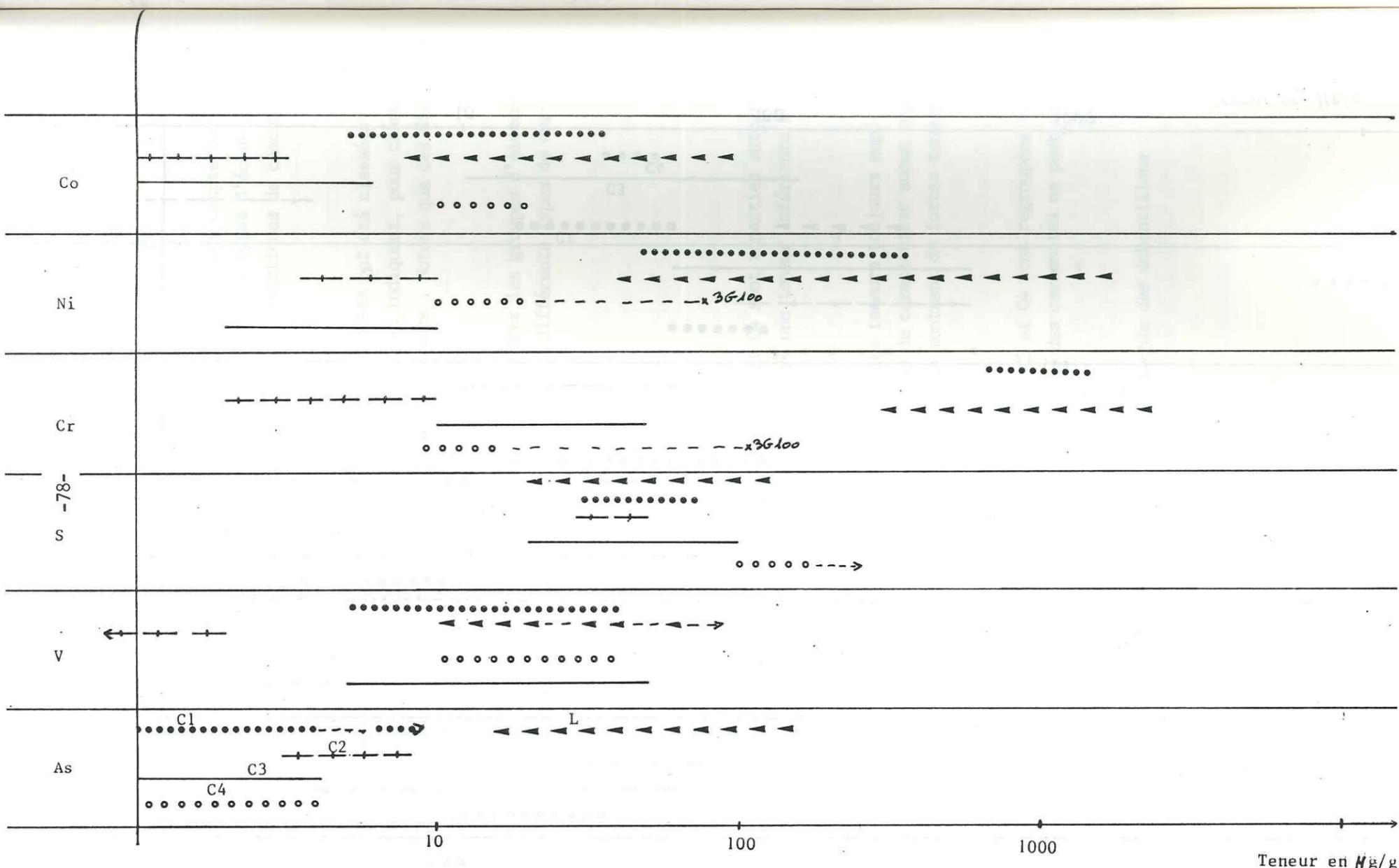
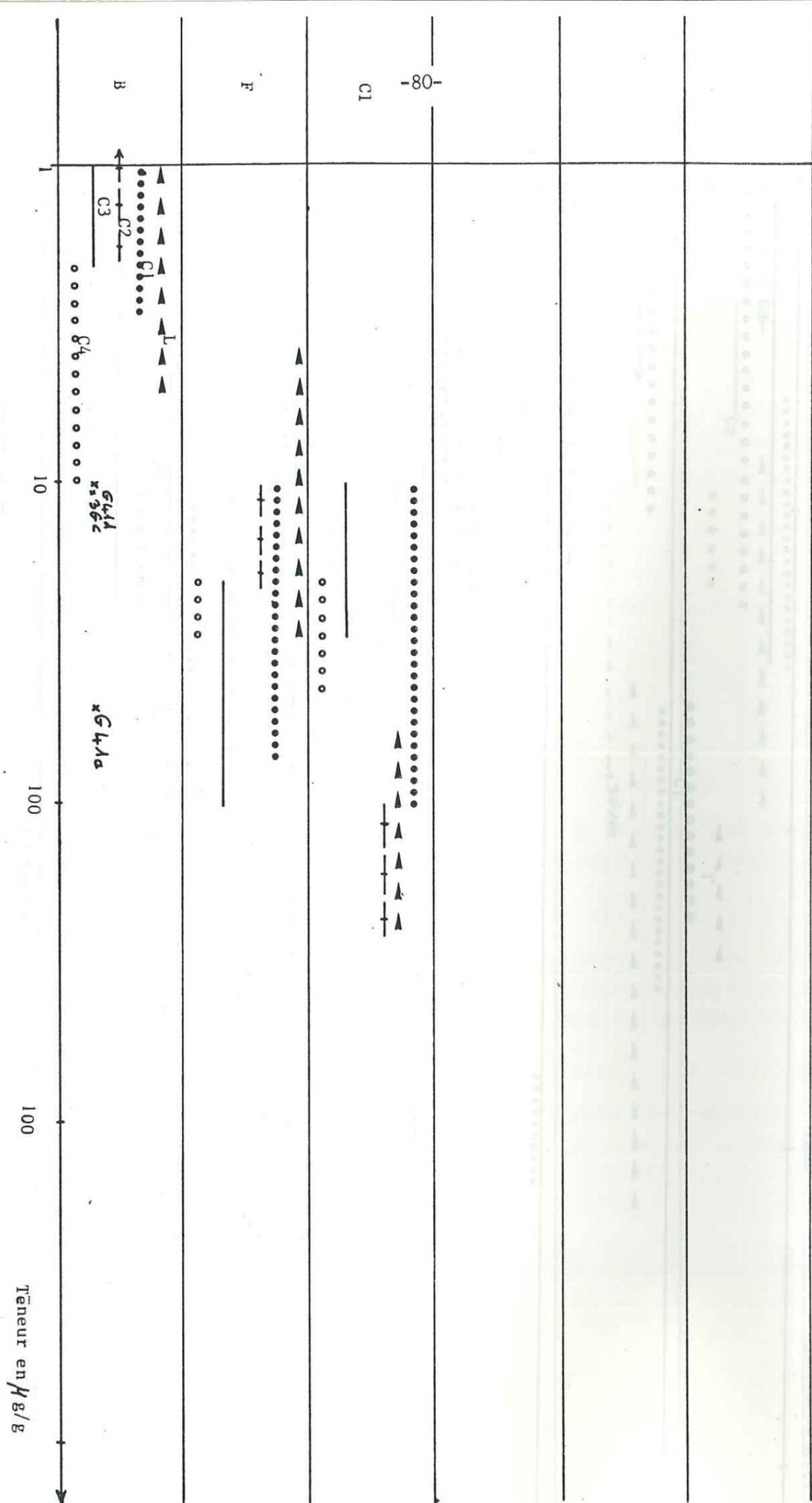


Figure 21 : Variation des éléments en traces (suite)

L= roches carbonatées prélevées à Bou-Azzer et à Aroulin'Azougar

Figure 22 Bis : Variation des éléments en traces (suite)



* GROUPE IB : Cu, Ag, Au :

Cu : les teneurs en cuivre varient de 1 à 20 $\mu\text{g/g}$ dans l'ensemble des échantillons, sauf dans le cas de la présence de sulfures de cuivre alors les teneurs peuvent dépasser 1 % (3G100, KOU1...).

Ag : rarement détecté à de faibles teneurs, essentiellement dans les jaspes et/ou carbonates du niveau repère .

Au : quelques traces ($<1 \mu\text{g/g}$) sont détectées dans certains carbonates C1 de Bleïda et dans certains carbonates prélevés au contact des serpentines à Bou-Azzer .

* GROUPE IIA : Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra :

Be : il est rarement présent et à des teneurs qui ne dépassent jamais 3 $\mu\text{g/g}$. Il ne paraît pas caractéristique d'un type particulier de carbonates .

Ca et Mg : voir les éléments majeurs (§ IV,2,1) .

Sr et Ba : ils se trouvent à des teneurs très variables, même pour les échantillons appartenant à un même groupe de carbonates, et ne permettent donc pas de caractériser un type donné .

* GROUPE IIB : Zn, Cd, Hg :

Zn : les carbonates C1 sont caractérisés par des teneurs supérieures à 40 $\mu\text{g/g}$. Les carbonates C2 sont pratiquement dépourvus de Zn . Les C3 et les C4 montrent un large intervalle de variation dans une zone de teneur intermédiaire, mais les variations ne sont pas caractéristiques .

* GROUPE IIIA : B, Al, Ga, In, Tl :

B : les carbonates C4 ainsi que quelques échantillons du groupe C3, sont relativement plus riches en B que les C1 et les C2 et les autres C3 .

Ga : les teneurs en Ga sont inférieures à la limite de détection dans les carbonates C1 et C2 . Certains échantillons des groupes C3 et C4 contiennent entre 1 et 10 µg/g de Ga .

* GROUPE IIB: Sc, Y, T.R. :

Sc : seuls les carbonates C2 présentent des teneurs supérieures à 20 µg/g . Les teneurs varient de 3 à 10 µg/g dans les C1, de 10 à 20 µg/g dans les C4 et sont inférieures à 4 µg/g dans les C3 .

Y : seuls les carbonates C2 présentent des teneurs supérieures à 10 µg/g . Dans les carbonates C1, C3 et C4 sa teneur est généralement inférieure à 10 µg/g .

T.R. : La teneur globale des Terres rares est très faible dans l'ensemble des échantillons étudiés, mais les formes des profils de leur répartition sont différentes d'un type à l'autre .

Les Terres rares feront l'objet à la fin de ce chapitre d'un traitement détaillé .

* GROUPE IVA : C, Si, Ge, Sn, Pb :

Si : voir les éléments majeurs (§ IV,2,1) .

Pb : les teneurs sont toujours inférieures ou égales à 3 µg/g, sauf dans certains échantillons ; il s'agit de ceux généralement prélevés au voisinage de la zone minéralisée .

* GROUPE IVB : Ti, Zr, Hf, Rf :

Ti : les teneurs supérieures ou égales à 100 µg/g sont caractéristiques de l'ensemble C3 + C4 (carbonates non filoniens), avec un intervalle de variation très réduit pour les carbonates C4 (de 400 à 500 µg/g) .

Les carbonates C1 et C2 sont relativement pauvres avec un faible intervalle de variation pour les C2 (8 à 10 µg/g) .

La réduction de l'intervalle de variation dans les C2 et les C4 peut être liée au nombre réduit d'échantillons analysés dans les deux cas .

Zr : les teneurs sont inférieures à la limite de détection dans les groupes C1 et C2 et elles varient de 1 à 30 µg/g dans les groupes C3 et C4. Comme le Ti, le Zr permet donc la discrimination du groupe filonien (C1 + C2) et du groupe non filonien (C3 + C4) .

* GROUPE VA : N, P, As, Sb, Bi :

P : la teneur en P permet de distinguer deux groupes, un premier regroupant les carbonates filoniens (C1 et C2) avec une teneur inférieure ou égale à 40 µg/g, un deuxième regroupant les carbonates non filoniens (C3 et C4) avec une teneur supérieure ou égale à 100 µg/g .

As : il ne permet l'identification d'aucun type des formations carbonatées . Notons cependant que certains échantillons sont relativement enrichis par rapport aux autres . Cette augmentation de teneur peut être liée à la présence d'inclusions de sulfure ^{d'arsenic} qui a été observée pour un échantillon (C.T.C.O.) prélevé dans la gangue de la minéralisation de cobalt dans la région de Tamdrost, grâce aux spectres d'analyse qui montrent une hétérogénéité identique des teneurs de l'As et du S .

* GROUPE VB : V, Nb, Ta :

V : seuls les carbonates C2 sont caractérisés par les faibles teneurs en vanadium (1 µg/g) ; dans les autres types de carbonates, le vanadium est rencontré à des teneurs variables : de 10 à 100 µg/g .

* GROUPE VIA : S, Se, Te :

S : les teneurs en S sont très variables même pour les échantillons d'un même type de carbonates .

Cette variation peut être liée à la proximité de la minéralisation .

* GROUPE VI B : Cr, Mo, W :

Cr : les carbonates C1, présentent des teneurs supérieures à 700 µg/g .

Il est aussi caractéristique des C2 pour des teneurs inférieures à 10 µg/g .

Les teneurs appartenant à l'intervalle [10, 100] caractérisent les carbonates C3 et C4 .

Les fortes teneurs en Cr des carbonates C1 montrent l'influence des serpentines sur ces carbonates .

W : les teneurs sont inférieures à la limite de détection pour l'ensemble des échantillons sauf l'échantillon G 4la qui en contient quelques µg/g .

* GROUPE VII A : F, Cl, Br, I :

F : les teneurs en fluor dans les différents types de carbonates sont réparties autour d'une valeur moyenne de 100 µg/g . Les carbonates C3 et C4 tendent vers des teneurs supérieures .

Cl : il est présent à des valeurs décroissantes dans l'ordre suivant : C2, C1, C4 et C3 et peut être alors caractéristique des carbonates C2 dès que sa teneur dépasse 100 µg/g .

* GROUPE VII B : Mn, Re :

Mn : voir les éléments majeurs (§ IV,2,1) .

* GROUPE VIII : Fe, Co, Ni :

Fe : voir les éléments majeurs (§ IV,2,1) .

Co : les carbonates C1 et C4 sont relativement plus riches en Co que les carbonates C2 et C3 avec quelques points à fort enrichissement dans les C4 .

Ni : seul les carbonates C1 sont relativement riches en Ni (100 à 500 µg/g) . Pour les C2 et C3 les teneurs sont inférieures à 15 µg/g ; par contre elles sont comprises entre 10 et 80 µg/g pour les carbonates C4 .

Le cobalt et le nickel, dans les carbonates C4, sont probablement liés à une influence magmatique (gabbros), alors qu'ils sont liés à l'influence des serpentines dans les C1 .

IV,3,2,2 LES AUTRES CARBONATES .

Notons que les éléments traces présents dans ces carbonates sont les mêmes que ceux détectés à Bleïda .

a) Filons au contact des serpentines et gangues des gisements de cobalt .

Reportées sur les diagrammes n° 20,21,22, les teneurs en éléments traces de ces échantillons sont toujours incluses dans les mêmes intervalles de variations que les carbonates C1 de Bleïda, sauf pour Li, K, et As qui sont ici à des teneurs plus élevées .

b) Filons d'Arouli N'Azougar .

Malgré la particularité de leur contexte géologique (Pr.III) et leur aspect macroscopique et microscopique (§ III,2,3), qui diffèrent de tous les carbonates étudiés, les teneurs en éléments en traces, notamment en Cr, Ni, et Co, permettent de rapprocher les carbonates d'Arouli N' Azougar des C1 de Bleïda, avec un enrichissement en Li, K et As comme pour ceux de Bou-Azzer .

C'est uniquement au niveau des éléments traces qu'apparaît l'influence des serpentines, qui sont présentes à une certaine profondeur sous le Pr;III.

c) Filons de Bouzben .

Les teneurs en éléments traces de ces échantillons les rapprochent toujours des carbonates C2 de Bleïda mais certaines variations sont à noter : ils contiennent plus de Li, Na et K et moins de Cl par rapport aux C2 .

d) Formation d'Ambed .

Ses teneurs en Cr, Ni et Co la rapprochent plutôt des carbonates C1 de Bleïda .

Ils ont par contre une teneur en Zn beaucoup plus élevée de plus des traces de Sb, Cs, Au, et Pb sont détectables . L'enrichissement en ces éléments est peut être lié à la proximité de la minéralisation cobaltifère .

IV,3,2,3 CONCLUSIONS .

Cette étude permet d'une part une bonne discrimination des différents types de carbonates signalés à Bleïda (C1, C2, C3, C4) (§ III,1) avec quelques chevauchements pour les carbonates C3 et C4, pour lesquels les données géochimiques sont assez souvent identiques . D'autre part, elle permet de rattacher les carbonates de Bou-Azzer, ceux d'Arouli N'Azougar et ceux de la formation d'Ambed, au même type de carbonates que les C1 de Bleïda avec un cachet ultrabasique (Cr, Co, Ni, Zn) comme point commun . On peut alors dégager trois types d'éléments :

A) Les éléments nullement caractéristiques, c'est-à-dire dont les teneurs ne permettent de repérer aucun type de carbonates . Il s'agit là des éléments mobiles à distribution aléatoire sans site minéralogique précis . Ce sont :

- * Les éléments alcalins : Na, K, Li, Rb, et Ba
- * Les éléments associés à des minéralisations dont les teneurs sont variables en fonction de la proximité de celles-ci : S, As, Sb, Cu, Pb, Au, Ag, (Zn) .
- * Les éléments liés à des fluides hydrothermaux avec altération hydrothermale magnésienne : Li, V, Zn (W, Be, F) .

B) Les éléments partiellement caractéristiques qui, pour une certaine fourchette de teneurs permettent de repérer au moins un type de carbonates . Il s'agit :

- soit des éléments qui peuvent être liés au réseau des carbonates, comme c'est le cas pour le Sc qui peut être substitué à Mn, et le Zn qui peut être substitué à Mg .

- soit des éléments peu mobiles qui peuvent être liés à des micro-phases associées aux carbonates ; ce sont :

- * Cr, Co, Ni dont les fortes teneurs sont accompagnées de très faibles teneurs en Cr et constituent ainsi un cachet ultrabasique .
- * Ti, V indiquant une influence basique
- * Zr indiquant une influence acide
- * P indiquant une influence sédimentaire

C) Les éléments caractéristiques qui permettent d'identifier n'importe quel type de carbonates . Appartiennent à cette catégorie les Terres rares à condition d'être considérées globalement . Cependant nous ne pouvons tenir compte ici que de la forme des profils de Terres rares et non des teneurs puisque nous n'avons pas procédé à des analyses sur fractions carbonatées séparées .

Ces observations nous permettent également de classer l'ensemble des carbonates de la manière suivante :

1) Les carbonates à cachet ultrabasique : carbonates C1 de Bleïda (filoniens, de direction N130, et soulignant toujours le contact entre le complexe ophiolitique et la série de Bleïda), carbonates d'Ambed, filons d'Arouli N'Azougar, carbonates du contact des serpentines à Bou-Azzer .

2) Carbonates filoniens sans cachet ultrabasique : carbonates C2 de Bleïda (filons de direction variable, différente de N 130 et recoupant n'importe quelle formation de la série de Bleïda) et carbonates de Bou Zben (filons dans la diorite quartzique) .

3) Carbonates à cachet volcano-sédimentaire : carbonates C3 (niveau dans la série volcano-sédimentaire de Bleïda parfois au mur du niveau porteur de la minéralisation de cuivre) et carbonates C4 (qui sont toujours au contact des gabbros dans la région de Bleïda) .

IV,3,3 INTERPRETATIONS, TRAITEMENT STATISTIQUE ET HYPOTHESES GENETIQUES .

IV,3,3,1 TRAITEMENT STATISTIQUE DES RESULTATS .

Un essai de traitement statistique (analyse en composantes principales) a porté sur l'ensemble des résultats analytiques .

a) Les éléments majeurs .

Pour ce calcul six variables ont été retenues : Ca, Mg, Mn, Fe, Si, et P.F. (= CO₂ + H₂O) .

Les résultats sont donnés dans le tableau 17 et visualisés sur la figure 23 et 24 .

Sept facteurs sont définis, avec les trois premiers, exprimant plus de 80 % de la variance globale, avec F1 représentant 49 %, F2 représentant 28 % et F3 représentant 16 % .

Dans le plan F1-F2, (Fig. 23), le premier axe (F1) oppose (PF, Mn, Mg) à (Si) et permet la discrimination de deux groupes de carbonates : un très pauvre en Si (C2 de Bleïda), l'autre légèrement plus riche (Listvénites et C3 + C4) . L'axe F2 permet la subdivision du deuxième groupe en deux autres sous groupes : le sous groupe des listvénites riches en (Fe, Mg, Mn) et le sous groupe (C3 + C4) plus riche en (Ca) . Certains échantillons habituellement classés parmi les C4 apparaissent en dehors du nuage correspondant, à cause de leur richesse en Si liée à l'abondance du quartz détritique . De même les échantillons 5 et 7, normalement classés dans le groupe C3, apparaissent dans le nuage correspondant aux carbonates C1 ; cette anomalie est liée à la richesse en Fer, elle même liée à la présence de pyrite dans ces échantillons .

Notons également que toutes les listvénites peuvent être rattachées au groupe C1 de Bleïda, sauf celles d'Ambed I qui sont essentiellement cal- ciques et par conséquent l'ACPN les a regroupées dans le groupe C3 + C4 .

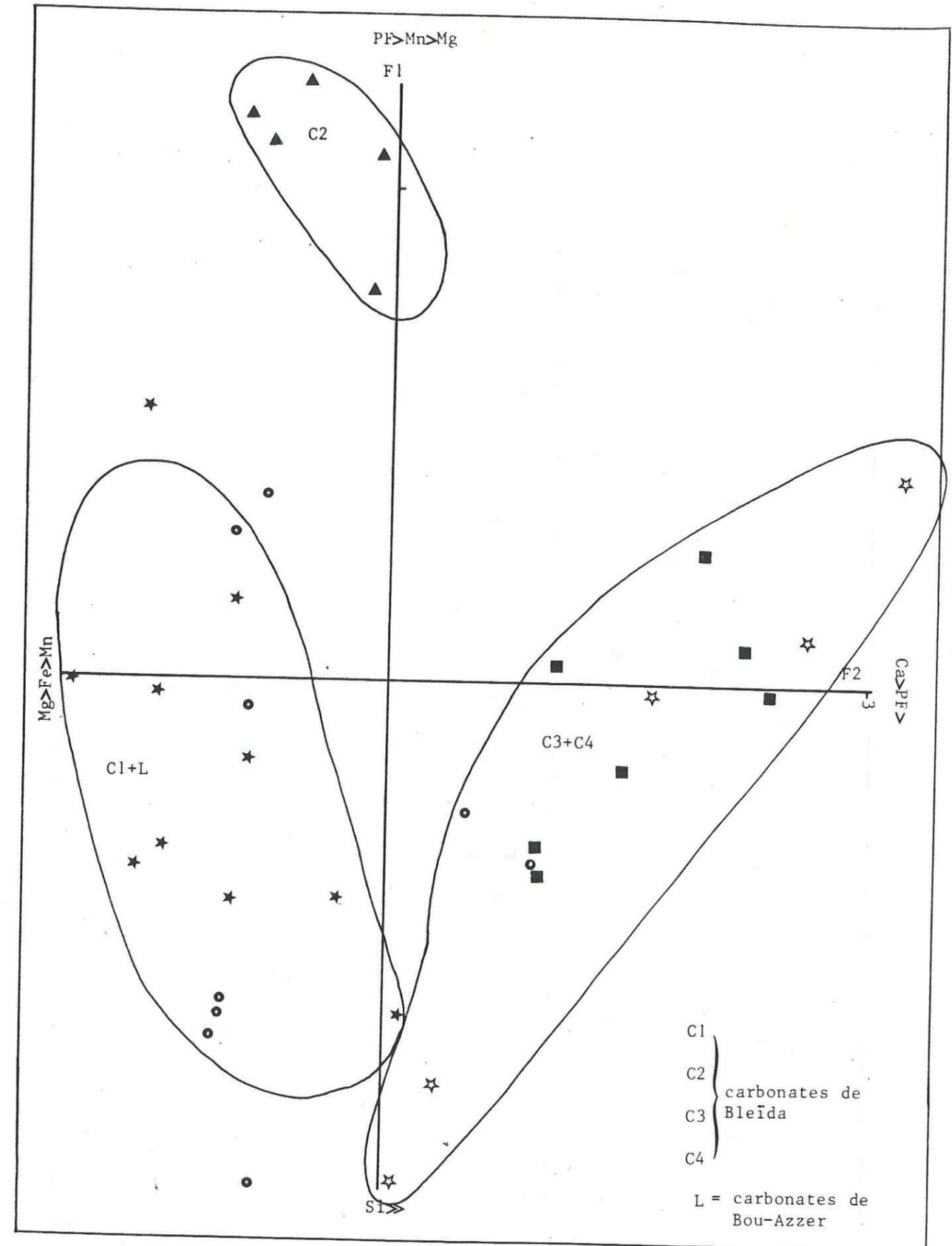


Figure 23 : A.C.P.N.- Carbonates du district minier de Bou-Azzer-Bleïda
Plan F1F2 (les éléments majeurs)

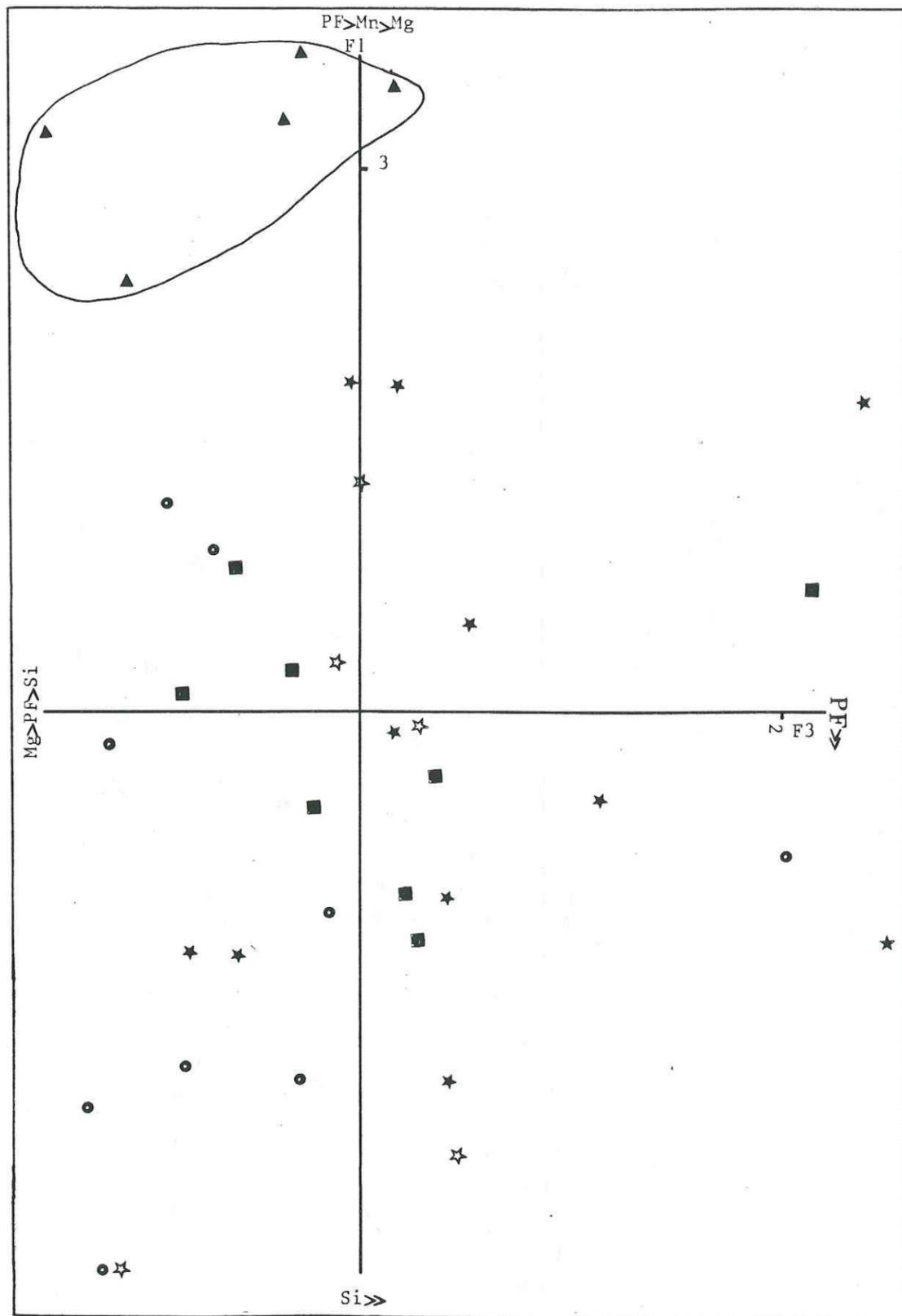


Figure 24 : Plan F1F3 les éléments majeurs)
(même légende que la figure 23)

Dans le plan F1-F3 (fig. 24), seul le groupe C2 est discriminé par son fort pourcentage en P.E, Mn et Mg .

b) Les éléments en traces associés aux éléments majeurs .

Pour ce calcul 29 éléments (ou variables) ont été retenus : Si, Al, Fe, Mg, Ca, Mn, P, PF, Li, B, F, Na, P, S, Cl, K, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Y, Zr, Ba .

Les résultats sont donnés dans le tableau n° 18 et visualisés sur les figures 25 à 29 .

Les cinq premiers facteurs expriment plus de 80 % de la variance globale :

- . F1 représente seulement 31 % et oppose (Mg, Cl, Cr) à (P, Ti, Zn) .
- . F2 représente 17 % et oppose (Sc, Mn, Cl) à (Li, Ni, As) .
- . F3 représente 15 % et oppose (Co, As, Y) à (Fe, Zn, Cr) .
- . F4 représente 10 % et oppose (Na, Zr, Cr) à (Ca, Co, P) .
- . F5 ne représente que 9 % et oppose (Zn, Co, Cr) à (As, Li, Mg) .

Les espaces des individus permettent les résultats suivants :

- Le premier plan F1-F2 (fig. 25) montre la discrimination des différents types de carbonates . Selon l'axe F1, on observe de haut en bas les listvénites riches en (Mg, Cl et Cr) puis les carbonates C3 et C4 de Bleïda . Selon l'axe F2, le groupe de carbonates C2 de Bleïda est bien individualisé par ses fortes teneurs en (Sc, Mn et Cl) . Notons également que le groupe des listvénites peut être subdivisé en deux sous groupes l'un plus riche en (Li, Ni et As) et l'autre relativement plus pauvre en ces mêmes éléments .

- Le plan F1-F3 (Fig. 26) permet de discriminer le groupe C1 de Bleïda (ou listvénites de Bleïda riches en Fe, Zn et Cr (éléments serpentineux), le groupe C2, les groupes C3 et C4 . Les listvénites de Bou-Azzer sont légèrement distinguées de celles de Bleïda ; ceci est peut-être lié au fait que l'altération de la roche mère (serpentes) est plus poussée dans la région de Bou-Azzer (dernier stade de listvénitisation) .

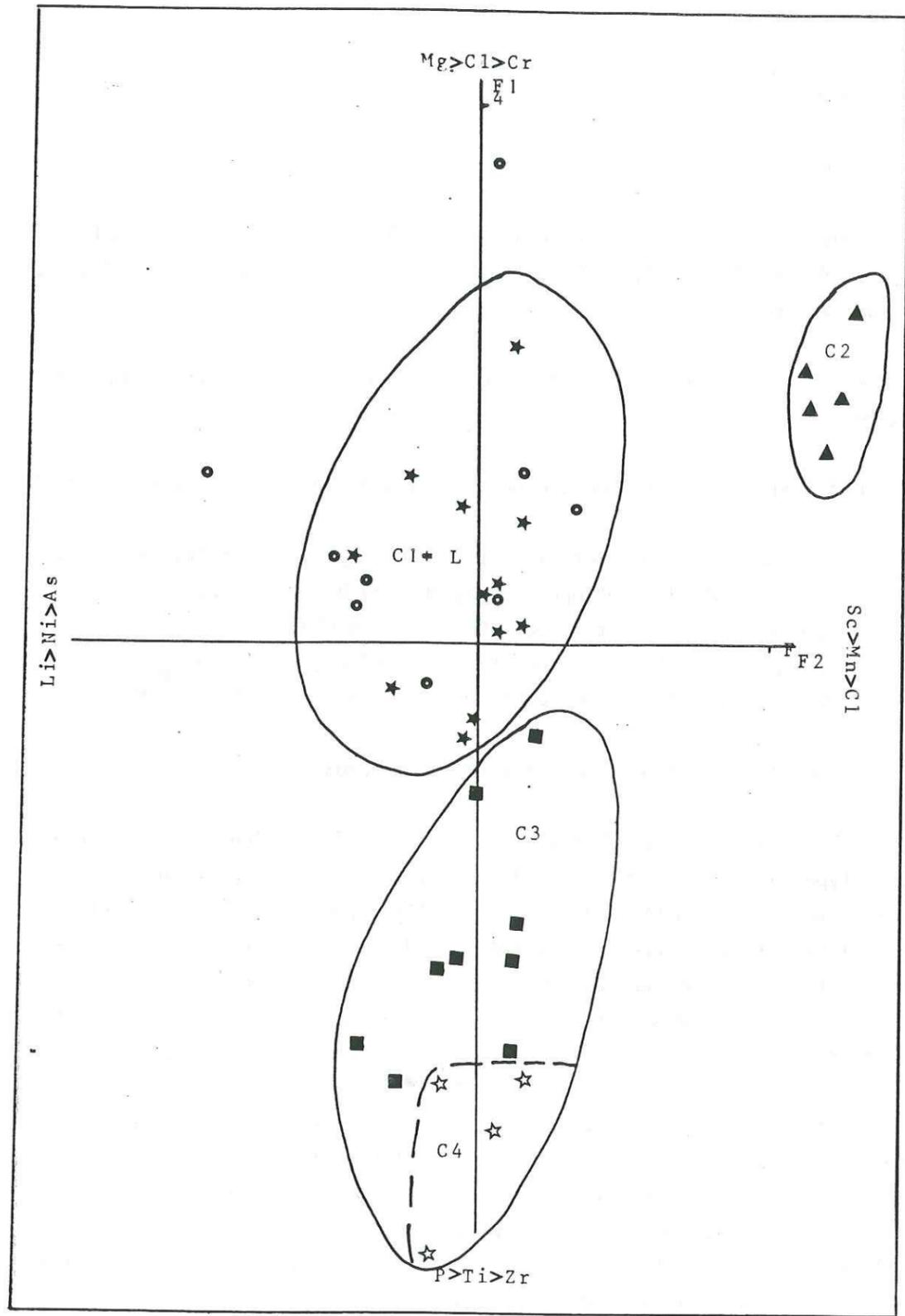


Figure 25 : A.C.P.N.- Plan F1F2 (les éléments en traces)

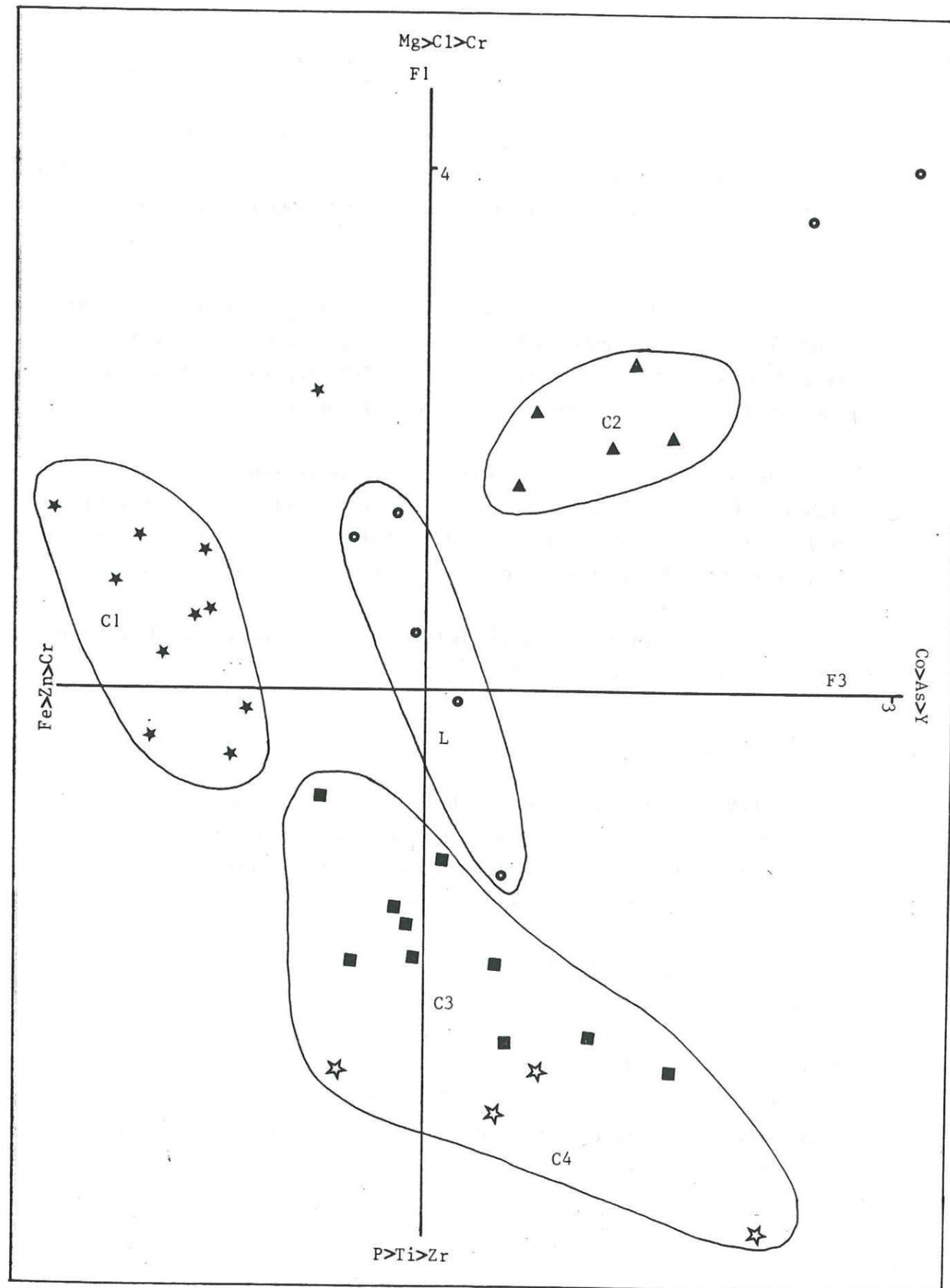


Figure 26 : A.C.P.N.- Plan F1F3 (les éléments en traces)

Les carbonates C4 se distinguent des C3 par leur forte teneur en (P, Ti et Zn) qui peut être liée à la proximité de la minéralisation (§ IV,3,3,2) .

- Le plan F1-F4 (Fig. 27) montre la discrimination des différents carbonates selon l'axe F1 qui visualise d'une part les carbonates magnésiens (listvénites et C2) et d'autre part les carbonates non magnésiens et surtout riches en (P, Ti, Zr) (C3 et C4) .

- Le plan F1-F5 (Fig. 28) montre également la discrimination des différents groupes de carbonates . Certaines variations sont par contre observées au sein du nuage des listvénites, ces variations expriment ainsi le degré d'altération des serpentines (ou la listvénitisation) .

- Le plan F2-F3 (Fig. 29) montre la discrimination des carbonates C2, riches en (Sc, Mn, Cl) et selon l'axe F3 le groupe Cl riche en (Fe, Zn, Cr) et l'ensemble C3 + C4 dont le nuage des points représentatifs est allongé suivant la seconde bissectrice des deux axes .

Les listvénites de Bou-Azzer sont dispersées selon l'axe F3 et ne définissent pas de nuage géométrique .

CONCLUSION .

L'ACPN appliquée à l'ensemble des carbonates a permis de préciser les principaux caractères géochimiques de chacun des types . Elle a permis également de préciser les différentes phases de listvénitisation en discriminant les listvénites de Bleïda et celles de Bou-Azzer .

IV,3,3,2 INTERPRETATION .

Nous synthétisons ici les résultats obtenus par la S.M.E. Cependant seuls les éléments définis comme partiellement caractéristiques seront interprétés (Li, Cl, Sc, Ti, Zr, Cr, Ni, Co, P, Zn, V) . Nous considérons maintenant chaque type de carbonates défini par son cortège d'éléments traces (§ précédent) .

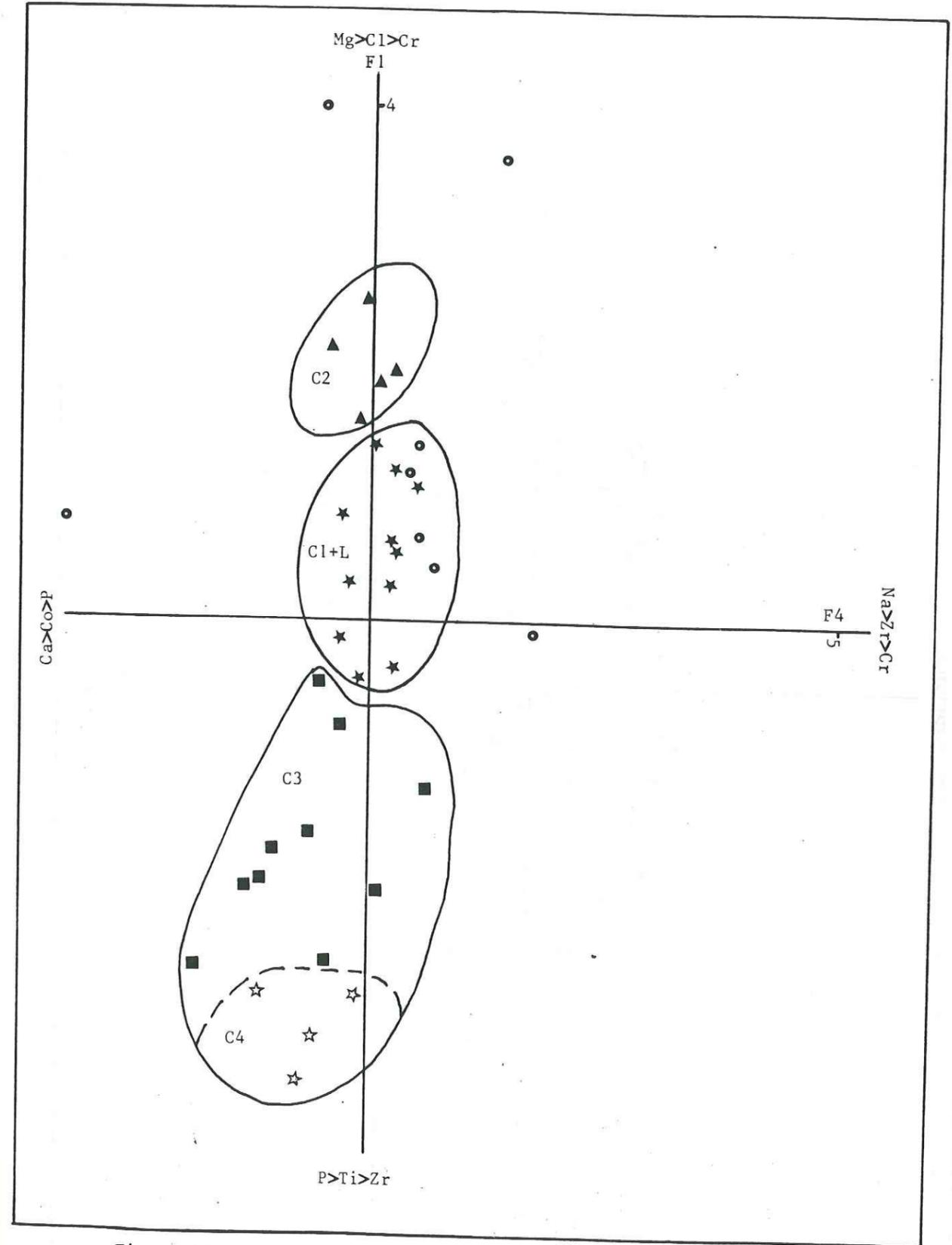


Figure 27 : A.C.P.N.- Plan F1F4 (les éléments en traces)

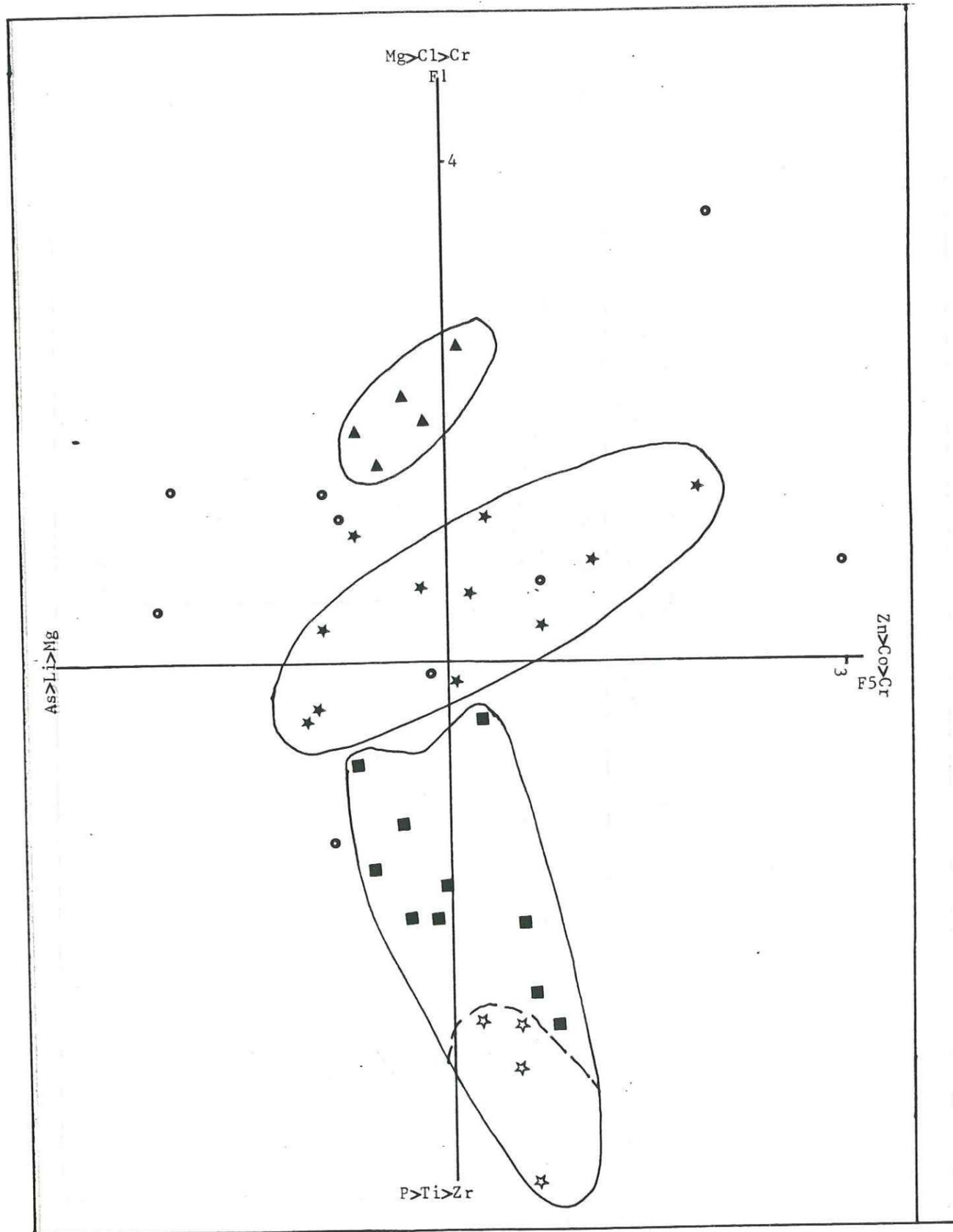


Figure 28 : A.C.P.N.- Plan F1F5 (les éléments en traces)
 (même légende que la figure 23)

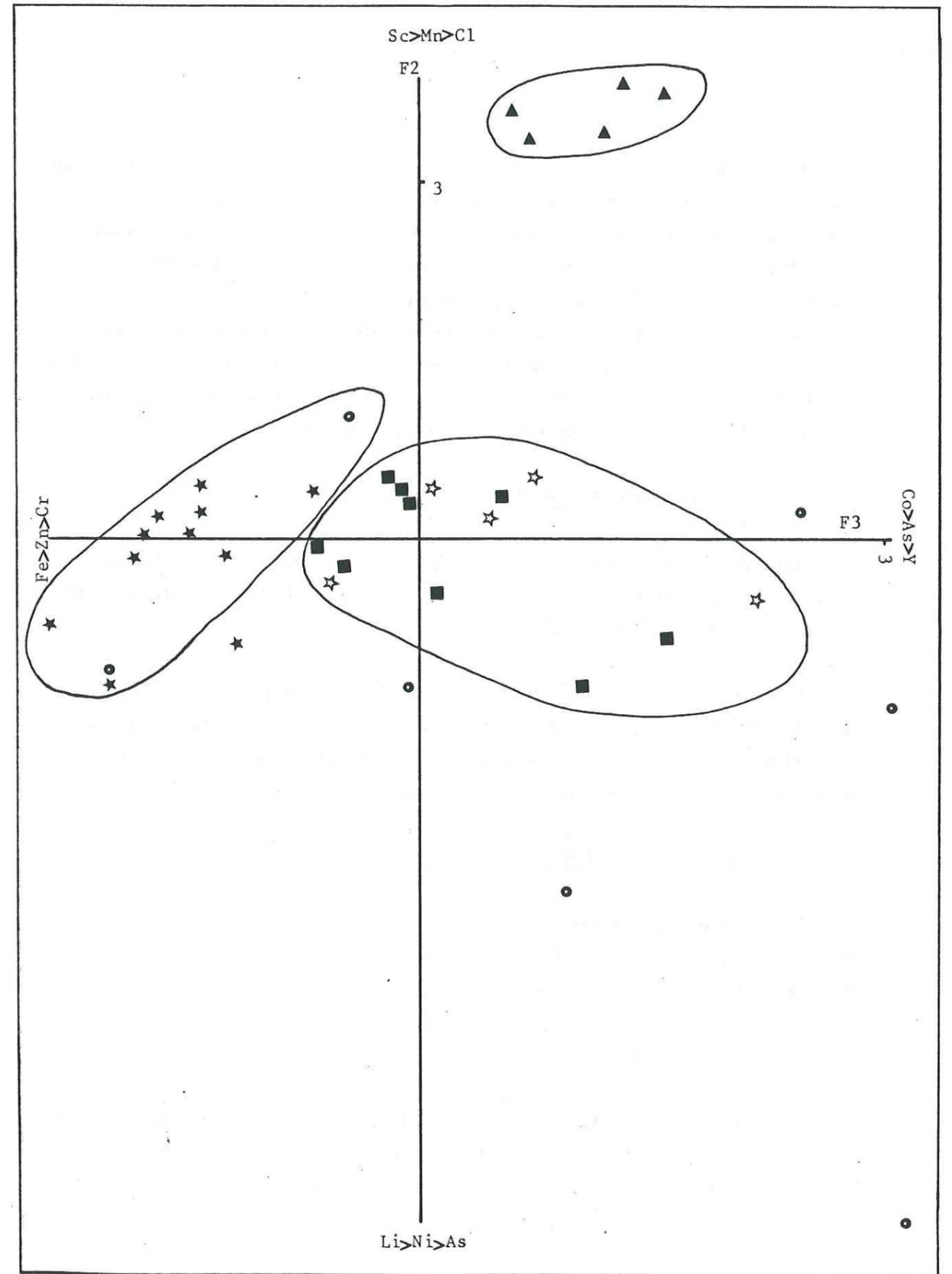


Figure 29 : A.C.P.N.- Plan F2F3 (les éléments en traces)
 (cf. Fig. 23 pour légende)

1) Les carbonates filoniens à cachet ultrabasique .

a) Carbonates C1 de Bleïda .

L'abondance relative dans les formations C1 de (Ni, Cr, Zn et Mg) constitue un indice de l'empreinte des serpentines que l'on suppose donc être à leur origine (§ IV,3,2,1) . Par ailleurs une bonne corrélation positive entre Ni, Cr, Co est à noter avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,7 . Par contre, Mg ne montre de corrélation avec aucun de ces éléments ; Co, Ni, Cr et Zn proviennent alors de la même roche mère (serpentine) alors que le magnésium peut avoir une double origine : une partie de Mg provient de la serpentine et une autre provient des solutions à l'origine de l'altération et qui sont alors magnésiennes .

b) Les carbonates de Bou-Azzer .

Ils présentent les mêmes caractéristiques géochimiques que les carbonates C1 de Bleïda et par conséquent ils dérivent également des serpentines (listvénitisation des serpentines) .

Les teneurs élevées en éléments alcalins Li et K peuvent être liées à une altération plus poussée que pour les C1 . En effet une phase tardive de silicification a été mieux développée (§ III,2,2) et le phénomène de listvénitisation atteint donc là ses termes extrêmes de développement .

c) Les carbonates d'Arouli N'Azougar .

Les teneurs en éléments traces permettent de classer ces carbonates dans le groupe des listvénites, et confirment la présence d'un massif de serpentines à une certaine profondeur sous la couverture Pr. III .

d) Carbonates d'Ambed .

Bien qu'il s'agisse de formations calcitiques et non dolomitiques (comme les C1), la signature serpentineuse est bien marquée par les teneurs relativement élevées en Cr, Ni .

Ces formations sont également riches en sulfures de cuivre, qui sont probablement à rattacher à une phase postérieure à la listvénitisation . (RICHARD, 1982) .

2) Les carbonates filoniens sans influence ultrabasique .

a) Les carbonates C2 de Bleïda .

Ces carbonates sont les plus purs . Ils sont caractérisés par l'extrême pauvreté en éléments en traces, sauf Sc, Mn, Cl, K, Na, et TR .

L'étude à la microsonde électronique des minéraux de carbonates a permis de détecter le Mn et le Fe dans le réseau cristallin des dolomites de ces carbonates ; le Sc³⁺ a des propriétés différentes de celles du Mn²⁺, mais leur substitution est possible (Saw, 1967), ce qui est probablement le cas dans les solutions dolomitiques à l'origine de ces formations ; en effet il n'existe aucune phase minérale dans les C2 à laquelle on puisse lier le Sc .

Les filons des carbonates C2 recoupent les failles B1 . Ils définissent alors une phase hydrothermale postérieure à la phase majeure pan-africaine B1 ; en effet leurs caractères géochimiques diffèrent de ceux des carbonates C1 .

Notons également l'abondance de Cl, K et Na dans les carbonates C2 . Les teneurs de ces trois éléments sont comparables ; les histogrammes de fréquence (Fig. 30) montrent une répartition similaire ce qui laisse supposer que l'association Cl - K et Cl - Na est probable . Par conséquent la séparation de la phase carbonatée a probablement eu lieu à partir d'un milieu fortement concentré en chlorures de Na et de K .

b) Les carbonates de Bouzben .

Les éléments en traces permettent de les classer avec le groupe C2 de Bleïda, sans aucune précision sur les solutions hydrothermales qui sont à leur origine .

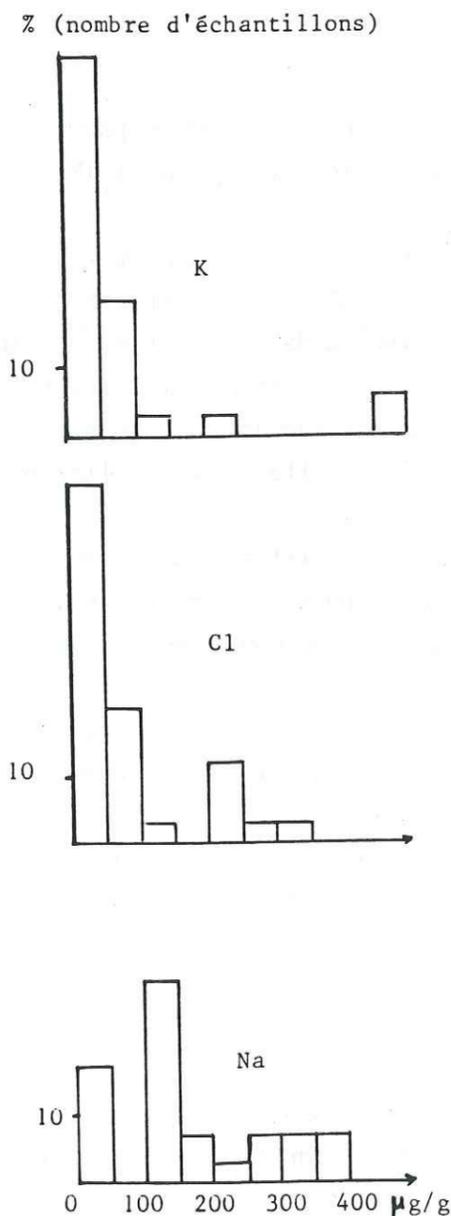


Figure 30: Histogramme de fréquence de Na, Cl, et K dans les carbonates C2 de Bleida

3) Les carbonates à cachet volcano-sédimentaire .

a) Les carbonates C3 de Bleida .

Ces formations sont essentiellement caractérisées par un enrichissement relatif (par rapport aux autres carbonates) en Ti, Zr, P et F . Certains échantillons prélevés au contact du niveau porteur de la minéralisation (G41a et G41d) sont particulièrement riches en K, B, Ti, Zn, Ba, P et F . Nous ne discuterons que du B et Zr dont les teneurs sont toujours élevées dans le niveau porteur (rapport minier) . B peut être lié à une influence hydrothermale, alors que Zr est le signe d'une influence volcanique acide (kératophyre) (rapport minier, 1982) .

d) Les carbonates C4 .

Ces formations ont les plus fortes teneurs en K et Na, et des teneurs en Ti, Zr, P et F proches de celles observées dans C3 . Elles sont plus riches que les C3 en B, Co, et Ni .

Co et Ni peuvent être liés à une influence magmatique (gabbros à proximité immédiate) .

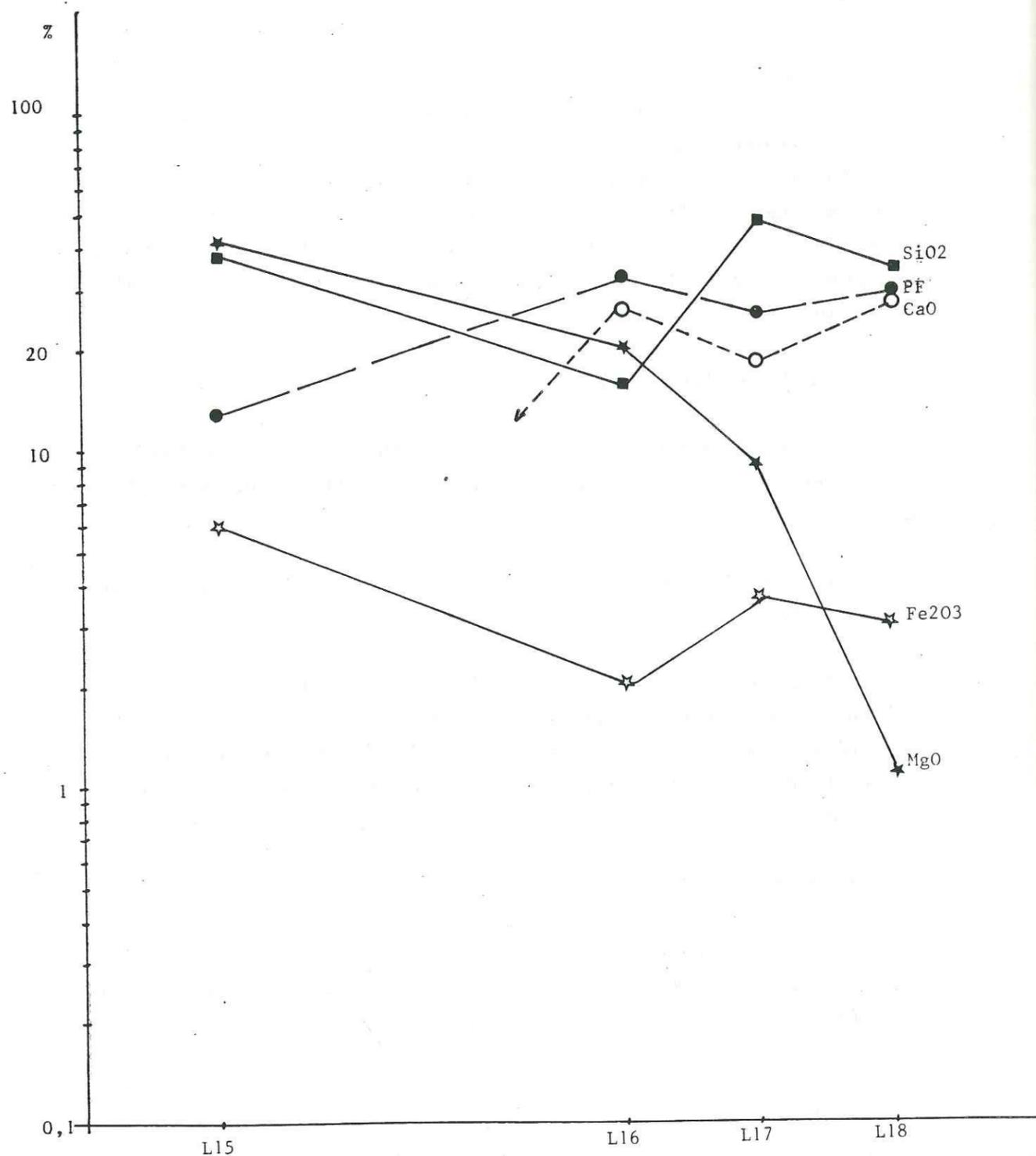
Les fortes teneurs en B, Zr, K, Na s'additionnant aux très fortes teneurs en Cu dans certains échantillons du groupe C4 peuvent être liées à la proximité de la minéralisation . Ces éléments peuvent donc servir de guide de minéralisation facilement repérable dans les zones où le minerai n'apparaît pas directement .

IV,3,4 CONCLUSIONS .

Les différents types de formations carbonatées distinguées à Bleida à partir de critères de terrain (§ III,1 avec C1,C2,C3, et C4) se retrouvent à l'échelle des éléments en traces avec cependant pour les C3 et C4 une moindre différenciation .

L'étude des éléments en traces met en évidence des similitudes entre les formations C1 de Bleida, les carbonates au contact des serpentines

Figure A : Variation des éléments majeurs des serpentines vers les listvénites



(listvénites) de Bou-Azzer et les carbonates filoniens d'Arouli N'Azougar ainsi que ceux d'Ambed I .

L'étude des éléments en traces associée à celle des éléments majeurs et appliquée aux échantillons de la figure 13 permettent de déterminer un bilan géochimique de la listvénitisation (figure A) défini comme suit :

- augmentation de : PF (CO₂ + H₂O), CaO, Li, et K
- diminution de : MgO et Fe₂O₃

La variation de la silice n'est pas prise en compte car elle correspond à une phase de silicification des listvénites (L17) dans l'exemple étudié .

Le même bilan (avec une diminution de silice) a été dressé par Gfonchareko, (1970) dans les listvénites de la région de Kuznetsk-Ala-Tay (U.R.S.S.) et également par Richard (1982) dans les listvénites de la région de Challant (Val d'Aost - Italie) .

En conclusion la formation des listvénites est caractérisée par une carbonatation des serpentines avec un apport du calcium et des éléments alcalins (Li, K, ...)

IV,4 ETUDE DE LA DISTRIBUTION DES TERRES RARES .

IV,4,1 RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE .

Le terme de Terres rares regroupe la famille des lanthanides et l'yttrium Les lanthanides sont constitués par les quinze éléments allant du lanthane (numéro atomique 57) au lutécium (numéro atomique 71) . Tous les lanthanides sont situés dans une même case du tableau périodique (3ème colonne ; 6ème période) .

IV,4,1,1 RAPPELS SUR LA CHIMIE DES LANTHANIDES .

a) STRUCTURE ELECTRONIQUE .

Les lanthanides sont essentiellement caractérisées par leur configuration électronique comprenant deux sous couches (4f et 5d) insaturées en position

profonde relativement abritées à l'intérieur de l'orbitale 6 s .

Cette structure électronique particulière des lanthanides leur confère l'essentiel de leurs propriétés . Ainsi la position de la sous couche 4f lui permet une protection contre l'influence des champs électrostatiques et des structures cristallines où elles sont incluses .

De ces propriétés atomiques découlent une similitude des propriétés chimiques de tous les éléments de ce groupe ainsi qu'un faible fractionnement à l'intérieur du groupe au cours de l'histoire géologique .

b) VALENCE DES LANTHANIDES .

Tous les éléments de ce groupe existent à l'état trivalent mais les lanthanides qui, à l'état "L³⁺" ont des configurations immédiatement voisines des structures stables à niveau 4f vide, semi-saturé (7é) ou saturé (14 é), peuvent également exister sous forme d'ions tétravalents :

Ce	_____	(Ce ³⁺ et Ce ⁴⁺)
Eu	_____	(Eu ³⁺ et Eu ²⁺)
Yb	_____	(Yb ³⁺ et Yb ²⁺)

L'existence du Ce dans une roche ou dans un minéral sous forme Ce³⁺ ou Ce⁴⁺ peut être liée aux conditions d'oxydo-réduction du milieu lors de la cristallisation (Méary, 1983) . En effet une anomalie négative en Eu est généralement attribuée à des conditions réductrices lors de la formation de la roche ou de minéral (Marchand et al., 1976) . Une anomalie négative en Ce est attribuée à des conditions oxydantes du milieu .

c) RAYONS IONIQUES DES LANTHANIDES .

Le rayon ionique des éléments de ce groupe diminue régulièrement du lanthane au lutécium . Cette variation continue amène à une évolution régulière du fractionnement de ces éléments au cours de leurs histoire géochimique . En effet le rayon ionique est l'un des caractères les plus importants en géochimie .

d) ELECTRONEGATIVITE .

Les valeurs données par LITTLE et JONES (1960) sont comparables à celles du Ca (1,04), du Sr (0,99) et du Na (1,01), mais elles sont inférieures à celles des éléments de transition .

Les électronégativités de l'Eu et de l'Y sont plus faibles que celles des autres lanthanides .

La variation de l'électronégativité dans cette famille se répercute dans l'évolution de certaines propriétés chimiques, telles que la diminution de la basicité des oxydes, accompagnée de l'hydrolyse plus faible des sels et d'une tendance de plus en plus marquée (du La au Lu) à la formation des complexes lanthanidiques, ce qui traduit la mobilité relativement forte des Terres légères (cériques) par rapport aux Terres lourdes (yttriques) notamment lors d'un transport en solution .

e) PROPRIETES MAGNETIQUES .

Ca³⁺, Ce⁴⁺, Lu³⁺, Yb²⁺, Eu³⁺, et Sm²⁺ sont diamagnétiques et tous les autres sont paramagnétiques . (Flahaut, 1969) .

f) LES COMPLEXES LANTHANIDIQUES .

Comme les éléments de transition, les lanthanides donnent des complexes avec un grand nombre d'anions, tels que les anions carbonatés [L (Co₃)₂]⁻ et [L (Co₃)₄]⁵⁻, fluorés [L F₄]⁻ et [L (Co₃)₃ F]⁴⁻ et sulfatés [L (SO₄)₃]³⁻. Ces complexes ont une grande importance en ce qui concerne les gîtes hydrothermaux dans lesquels ces anions prédominent .

g) L'YTTRIUM .

L'yttrium est exclusivement trivalent . Son rayon ionique et son électronégativité sont très proches de ceux du Dy³⁺, Ho³⁺ et Er³⁺ . Ceci lui permet d'avoir des profils chimiques et cristallographiques voisins de ceux de ces derniers . Ce qui amène souvent à l'étudier avec les éléments du

groupe lanthanidique .

IV,4,1,2 GEOCHIMIE DES LANTHANIDES .

a) MODE DE REPRESENTATION GRAPHIQUE .

Les diagrammes proposés par Coryell et al. (1963) sont les plus utilisés pour représenter la distribution des lanthanides dans les roches et les minéraux . Ils représentent la concentration (normalisée aux chondrites) des éléments dans l'échantillon en fonction de leur numéro atomique .

Cette représentation a un double rôle : elle permet d'une part la comparaison qualitative et quantitative des différents échantillons . Elle supprime d'autre part l'allure en dents de scie consécutive à la loi de Oddo-Harkins, selon laquelle les éléments de numéro atomique pair sont plus abondants que leur voisins immédiats de numéro atomique impair .

b) LES ROCHES IGNEES .

* Les roches ultrabasiques .

Les difficultés d'échantillonnage et la rareté relative du matériel représentatif de la composition du manteau rendent difficile l'étude des roches ultrabasiques . En effet même les péridotites supposées représenter le constituant principal de la partie supérieure du manteau existent sous différentes formes à la surface de la terre et sont très pauvres en Terres rares notamment en T.R. lourdes . De ce fait plusieurs profils ont été mis en évidence et leur interprétation semble difficile .

Les teneurs globales sont de 5 à 40 ppm .

. Les basaltes .

Vu son abondance sur le globe terrestre et sa facilité d'échantillonnage, le basalte a fait l'objet d'un grand nombre d'études, même en ce qui concerne les Terres rares . Ainsi les deux grands types de basaltes se distinguent parfaitement par leur profil de répartition des lanthanides (Fig. 31) . Celui

Teneur échantillon/Teneur chondrites en ppm

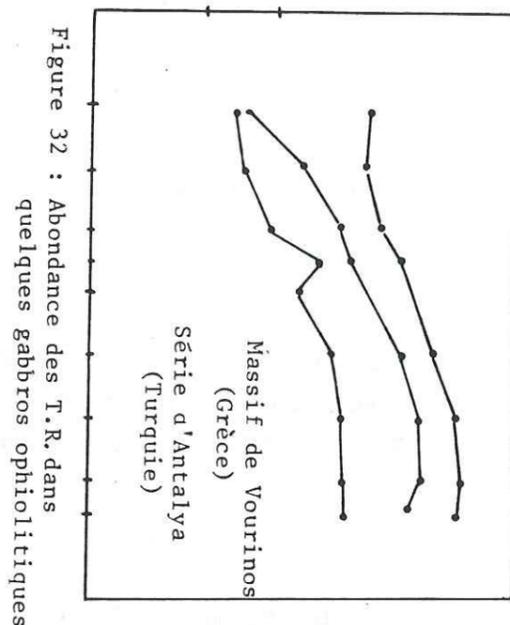


Figure 32 : Abundance des T.R. dans quelques gabbros ophiolitiques

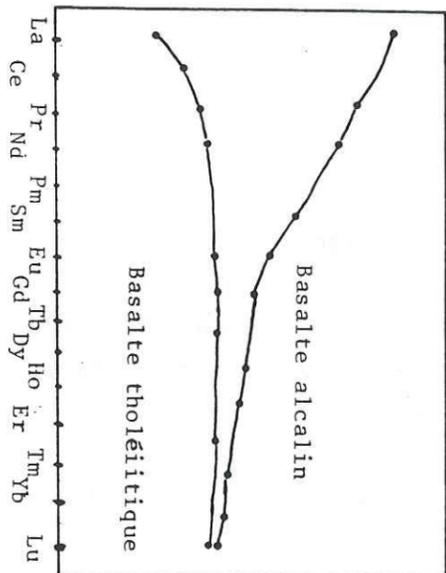


Figure 31 : Diagramme de Coreyell des deux grands types de basalte Daprès TREULLI et al, 1978

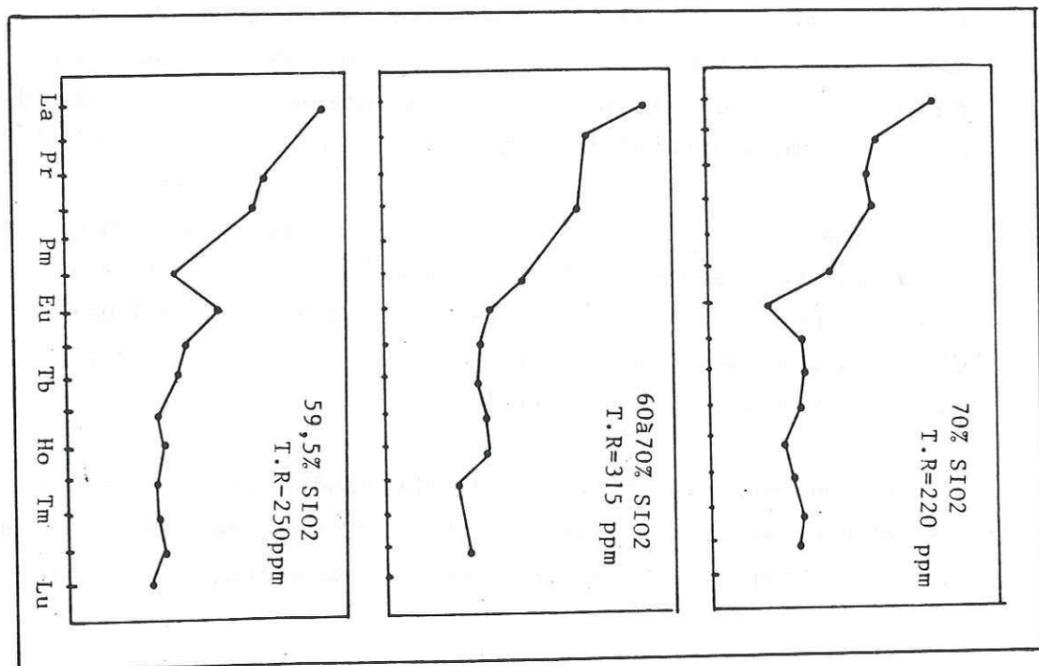


Fig. 33: Trois exemples de roches acides D'après LE SUAVE, 1974

des basaltes alcalins est caractérisé par un enrichissement en Terres légères par rapport aux lourdes avec des teneurs globales d'environ 200 ppm . Par contre celui des tholéiites est plat en ce qui concerne les Terres lourdes et présente un appauvrissement net en Terres légères . La teneur globale est d'environ 100 ppm .

. Les gabbros .

Les teneurs globales dans les gabbros sont très faibles : 20 à 100 ppm, avec des profils de répartition caractérisés par un léger appauvrissement en Terres légères par rapport aux Terres lourdes (Fig. 32) .

* Les roches acides .

Les teneurs globales des Terres rares sont très variables dans ce groupe (de quelques ppm à plusieurs dizaines de ppm) .

Les profils de répartition sont descendants, avec ou sans anomalie positive ou négative en Eu (Fig. 33) .

c) LES ROCHES METAMORPHIQUES .

On dispose de peu de travaux sur le fractionnement des Terres rares dans les roches métamorphiques . Ils indiquent que le métamorphisme peut provoquer une redistribution locale des lanthanides avec modification des profils de répartition, si les conditions de température et de pression sont différentes de celles dominant durant la formation de la roche mère (HENDERSON, 1984) .

Muecke et al. (1979) ont signalé, par l'étude d'une formation métamorphique au Sud-Ouest de Nova Scotia (Canada), que, malgré la mobilisation d'autres éléments que les Terres rares (notamment les alcalins) au cours d'un métamorphisme régional de roches sédimentaires et volcaniques, les lanthanides peuvent rester immobiles .

On peut conclure alors que selon les conditions métamorphiques les T.R. peuvent être mobiles ou immobiles . Ces conditions sont jusqu'à présent mal connues et beaucoup d'études sont encore, nécessaires dans ce domaine .

d) LES TERRES RARES DANS LES CARBONATES ET LES CARBONATITES .

Les travaux sur les carbonates en général sont très rares surtout en ce qui concerne le comportement géochimique des lanthanides .

Quelques données numériques fournies par les auteurs soviétiques étaient citées par Lesuavé (1974) :

- calcite ----- 0, 56 % d'oxydes de Terres rares (TR₂O₃)
- sidérite ----- 1, 67 % d'oxydes de Terres rares (TR₂O₃)
- dolomite ----- 0, 08 % d'oxydes de Terres rares (TR₂O₃)
- ankérite ----- 0, 1 % d'oxydes de Terres rares (TR₂O₃)

* Les Terres rares dans les carbonates sédimentaires

Les teneurs en T.R. dans les carbonates sédimentaires sont très variables (30 à 100 ppm) . Les profils de répartition sont caractérisés par deux parties, lourdes et légères (Fig. 34) .

La majorité des courbes obtenues selon la représentation de Coryelle et al. par les différents auteurs, ne présente aucune anomalie, ni en Ce, ni en Eu .

* Les Terres rares dans les carbonates métamorphiques .

Les carbonates métamorphiques contiennent des teneurs en Terres rares analogues à celles des carbonates sédimentaires .

La forme du profil de répartition des lanthanides est également la même que pour les carbonates sédimentaires (Fig. 34) .

NB : Les quelques données citées dans ce paragraphe doivent être considérées avec prudence, en effet on dispose de très peu de bibliographie sur les calcaires métamorphiques .

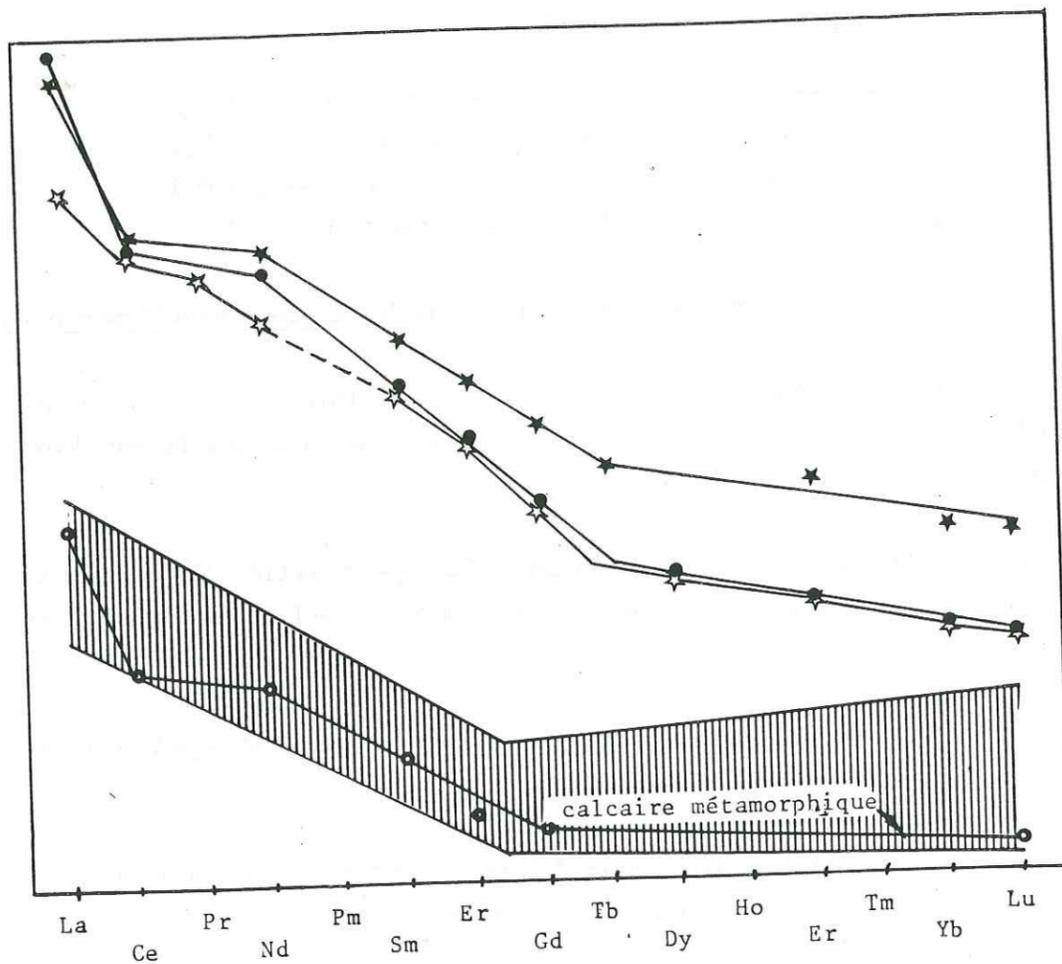


Figure 34 : Trois exemples de profils de répartition des T.R. dans les carbonatites (★, ●, ☆) et domaine des profils des calcaires sédimentaires (hatched) et métamorphiques (●)

Daprès ALLEGRE et al, 1970

* Les Terres rares dans les carbonates filoniens (hydrothermaux).

Les Terres rares peuvent être facilement transportées sous forme de complexes dans les fluides hydrothermaux. Ainsi, les carbonates hydrothermaux sont relativement plus riches en lanthanides. Les profils sont généralement descendants, marquant un enrichissement en T.R. légères pouvant être lié à leur facilité de mise en solution.

Ils précisent le caractère hydrothermal de ces formations, mais, selon les conditions de précipitation, ils peuvent ou non caractériser la phase fluide carbonatée initiale.

* Les Terres rares dans les carbonatites.

Par rapport aux carbonates (sédimentaires ou métamorphiques) les carbonatites sont très riches en lanthanides (800 à 10 000 ppm).

La forme des profils des T.R. en deux parties est identique à celle des carbonates sédimentaires. Généralement une anomalie négative apparaît pour le Ce, alors qu'aucune anomalie en Eu n'est visible (Fig. 34). (Loubet et Allège 1970. Robert et J. Graf 1984).

* Conclusion.

Les teneurs ainsi que les profils de répartition des T.R. peuvent permettre de distinguer sans ambiguïté carbonatites et roches carbonatées sédimentaires ou métamorphiques. Ceci apparaît bien sur le diagramme La/Yb en fonction du logarithme de la teneur en Terres rares (Fig. 35).

IV,4,2 COMMENTAIRES DES RESULTATS ET HYPOTHESES GENETIQUES.

En raison des problèmes non résolus par l'étude des éléments majeurs et des éléments en traces autres que les Terres rares, l'étude de la distribution des Terres rares semblait judicieuse dans la mesure où elle pourrait apporter quelques informations complémentaires sur l'origine des carbonates du district minier de Bou-Azzer-Bleïda.

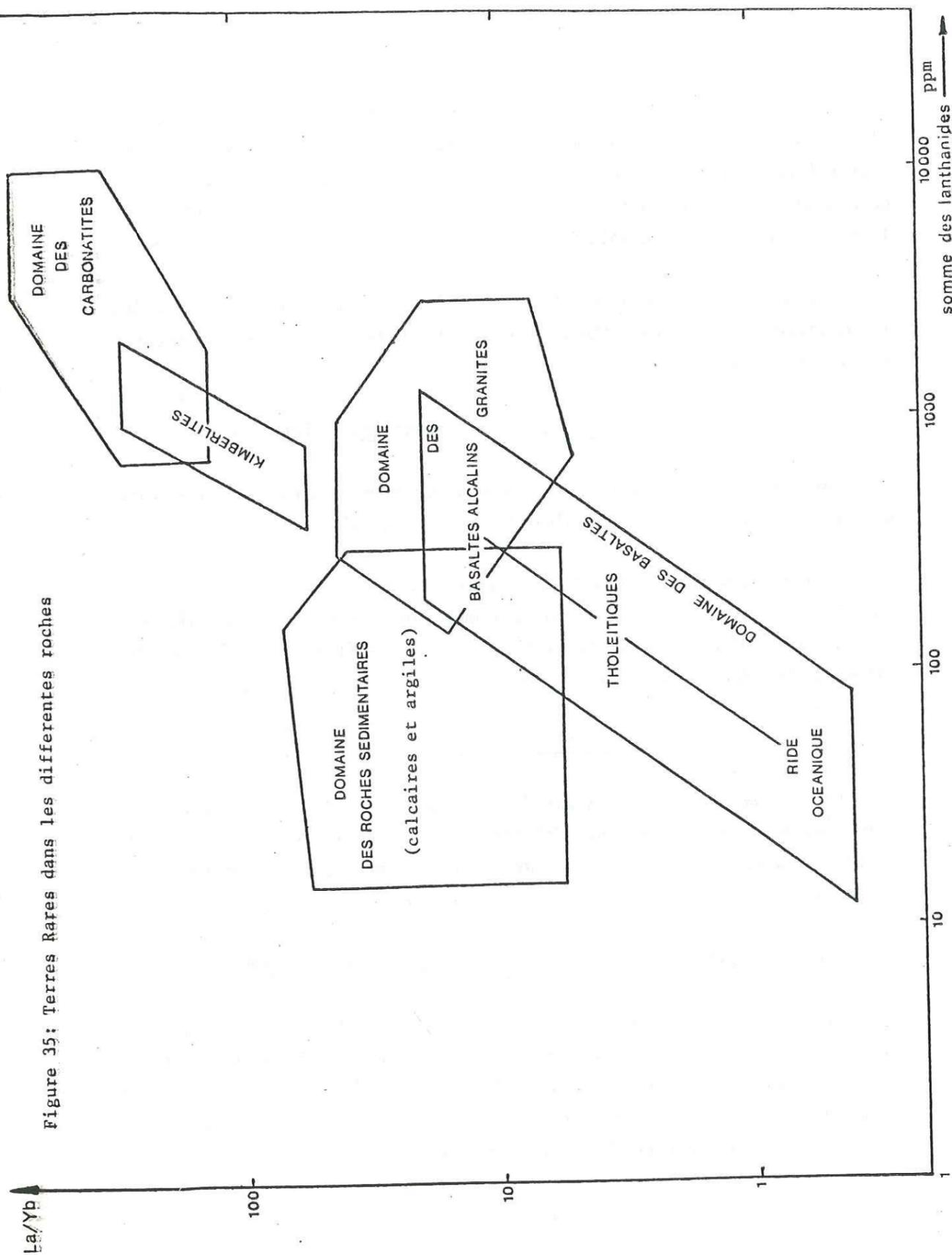


Figure 35: Terres Rares dans les différentes roches

Les Terres rares ont été déterminées par spectrométrie de masse à étincelles dans l'ensemble des échantillons (70). Les teneurs sont très basses, voire même inférieures à la limite de détection dans certains échantillons. Par contre les profils de leur répartition sont très différents d'un type de carbonate à l'autre. Nous ne pouvons tenir compte ici que de la forme des profils et non des teneurs puisque nous n'avons pas procédé à des analyses sur fractions carbonatées mais sur roches totales. La finesse du grain rendait en effet aléatoire les séparations de phases minérales sous binoculaire et les méthodes chimiques d'extraction de la phase carbonatée risquaient d'entraîner des pertes en certains éléments. De ce fait, bien qu'elle soit toujours indiquée, la teneur globale en Terres rares (T.R.) ne sera pas prise en compte dans nos interprétations ; seule interviendra donc la forme des profils.

Les résultats analytiques sont rassemblés dans les tableaux 13 à 16 et présentés à la manière de Coryell et al. (1963), c'est-à-dire par rapport aux abondances dans les chondrites (normalisation aux chondrites) et reportés en diagrammes semi-logarithmiques en fonction du numéro atomique.

Nous rappelons que les chondrites sont considérées comme les matériaux les plus anciens du système solaire, donc les moins différenciés, au sens de la géologie ; elles sont classiquement choisies pour la normalisation parce qu'elles facilitent la comparaison des différents profils de distribution des T.R. en éliminant l'effet dû à la loi de Oddo et Harkins.

Rappelons qu'au terme de notre étude géochimique (§ IV,3), les carbonates du secteur étudié ont été répartis en trois grandes familles :

- Carbonates à cachet ultrabasique : carbonates C1 de Bleïda, filon au contact des serpentines et gangues des gisements de cobalt, formation d'Ambed et filons d'Arouli N'Azougar.
- Carbonates filoniens sans influence ultrabasique : carbonates C2 de Bleïda et carbonates de Bouzben.
- Carbonates à cachet volcano-sédimentaire : les C3 et les C4 de Bleïda.

IV,4,2,1 CARBONATES A CACHET ULTRABASIQUE .

a) LES CARBONATES C1 DE BLEIDA .

Mis à part les échantillons très pauvres en Terres rares, c'est-à-dire à teneurs inférieures à la limite de détection ($0,1 \mu\text{g/g}$), la teneur globale varie de 10 à $40 \mu\text{g/g}$; le rapport somme T.R. légère/ somme T.R. lourdes ($\Sigma\text{L}/\Sigma\text{L}$) est en moyenne égal à 8, avec un rapport La/Yb (normalisé) variable; ce rapport La/Yb permet de chiffrer habituellement l'intensité du fractionnement entre les termes extrêmes cériques et yttriques ; il est voisin de 1 dans les chondrites .

Les profils de répartition des T.R. (normalisés par rapport aux chondrites) obtenus dans ce type C1 montrent trois groupes différents mais sans aucune anomalie apparente pour aucun des trois :

Premier groupe (Fig. 36b)

Il est caractérisé par un fractionnement très élevé, sensible aussi bien sur les terres cériques que sur les terres yttriques ; en effet, le rapport La/Yb est de l'ordre de 100, mais la détermination exacte n'est pas possible du fait de la faible teneur en Yb .

Les mêmes formes de profils sont signalées par JEBRAK (1982) dans des carbonates hydrothermaux .

Deuxième groupe (Fig. 36a)

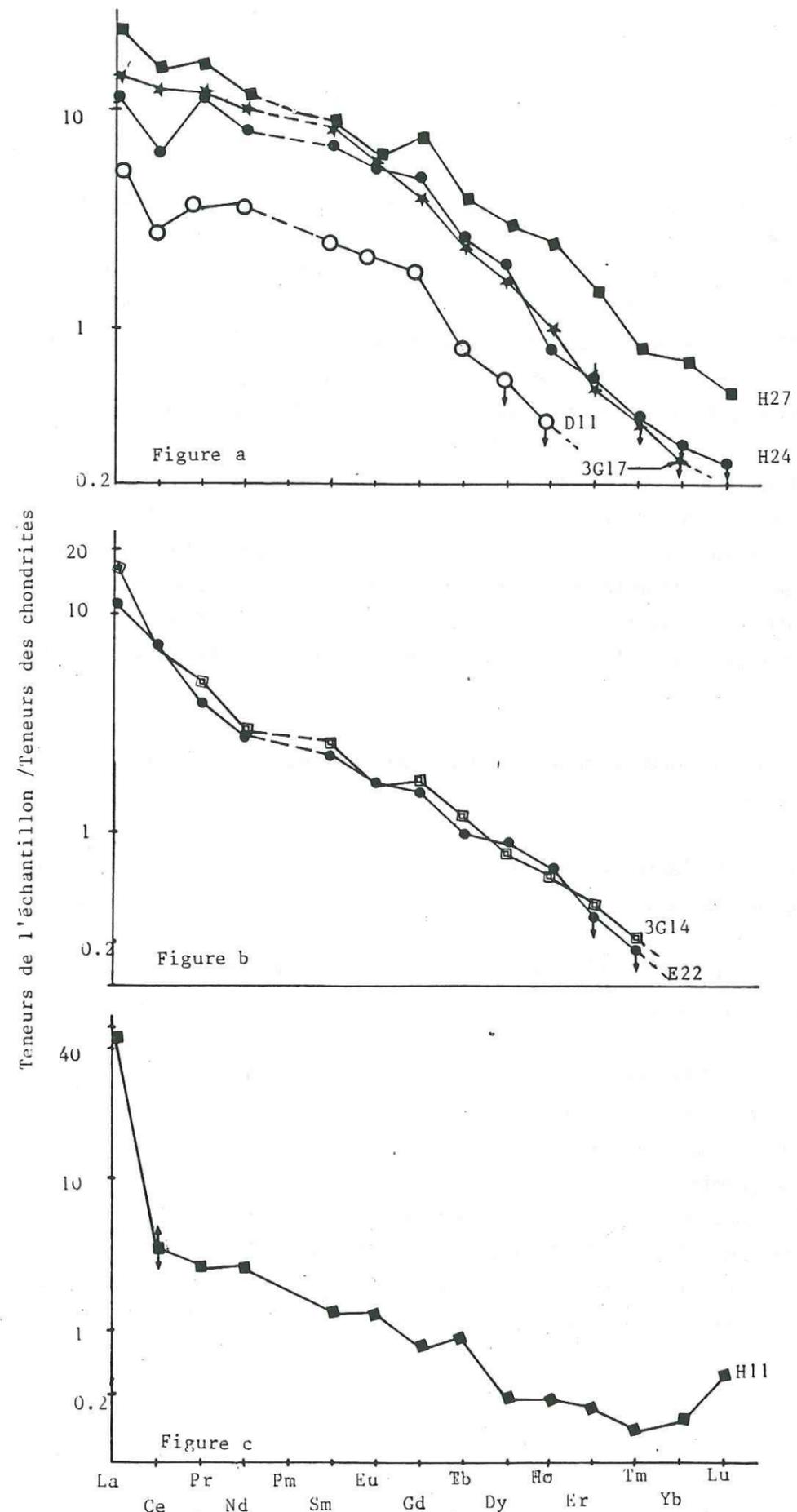
Il concerne des profils presque plats pour les terres cériques mais très descendants pour les terres yttriques .

Le rapport La/Yb est au moins égal à 50 .

Troisième groupe (Fig. 36c)

Ce troisième type est obtenu pour un échantillon prélevé dans le même genre de filon que les précédents (filons de direction N 130 dans les failles

Figure 36 : Profils de répartition des T.R. des carbonates filoniens C1 de Bleida normalisés par rapport aux chondrites



B1), mais dans une zone refaillée postérieurement à la phase B1. Sur le plan géochimique (majeurs et traces) cet échantillon présente simultanément les caractéristiques du groupe C1 (Cr, Ni, Co, Zn, Fe) et quelques unes du groupe C2 (Mn, Cl). Ce profil est particulièrement marqué par une très forte anomalie positive en La ; pour le reste il est descendant d'une façon progressive du Ce au Tm (ce qui le rapproche des formes citées pour le premier groupe). Si on suppose ces carbonates liés à une phase hydrothermale comme les deux premiers groupes, la forme du profil des Terres rares se différencie par la très forte teneur en La et un moindre écart entre l'abondance des Terres cériques et celle des Terres yttriques, ce qui permet de les attribuer à une deuxième phase hydrothermale d'origine différente.

Pour l'instant, nous ne retiendrons comme représentatifs des carbonates C1 que les deux premiers groupes. Des profils analogues ont été décrits à propos de carbonates hydrothermaux (Le Suavé, 1974 ; Jebrack, 1982) ce qui est un argument supplémentaire à l'hypothèse de l'origine hydrothermale de ces carbonates. L'influence serpentineuse a été montrée (§ IV,3,3) ; nous pensons alors que ces carbonates résultent d'une altération hydrothermale des serpentines.

La présence de deux formes de profils hydrothermaux laisse envisager deux hypothèses :

- soit qu'il s'agit de deux phases hydrothermales différentes sans aucune influence mutuelle.
- soit qu'il s'agit d'une seule phase hydrothermale mais subissant des variations sur de petites distances.

Du fait de l'absence de toute zonation à l'échelle de ces filons, la deuxième hypothèse paraît plus probable dans la mesure où la migration des fluides hydrothermaux carbonatés peut s'accompagner de variations des conditions thermodynamiques, soit une baisse de pression liée à des phénomènes de détente, soit une baisse de température liée aux échanges thermiques entre les remplissages filoniens et l'encaissant (Le Suavé, 1975 ; Lister, 1974 ; Smilt, 1981). La différence de profils des Terres rares cériques peut être reliée à ces variations thermodynamiques.

b) LES CARBONATES DE BOU-AZZER .

Ils ont la particularité d'être au contact des serpentines (§, IV,3,3,2) et du point de vue chimique ils sont très proches des carbonates C1 de Bleïda (§ IV, 3,3).

Malgré des points de prélèvement espacés, les profils de répartition des T.R. (Fig. 37 a) sont presque calqués sur le modèle de ceux obtenus pour le deuxième groupe des carbonates C1 de Bleïda, sauf dans les carbonates de Bou-Azzer Est avec des teneurs totales légèrement plus faibles mais des rapports La/Yb relativement voisins. C'est là un argument supplémentaire pour rapprocher ces carbonates des C1 de Bleïda ; on suppose donc qu'il s'agit là aussi de carbonates hydrothermaux formés aux dépens des serpentines sous l'effet d'une altération hydrothermale.

Bien qu'ils appartiennent à ce groupe, les carbonates de Bou-Azzer Est montrent un profil de répartition des T.R. de forme différente et seront traités à part au paragraphe suivant.

Carbonates de Bou-Azzer Est (Fig. 37 b) .

Ces carbonates sont également au contact des serpentines par l'intermédiaire d'un niveau de serpentines carbonatées.

Pour suivre l'évolution de comportement géochimique des T.R. depuis les serpentines jusqu'aux carbonates, les échantillons de la coupe AB (Fig. 14) ont fait l'objet d'analyses à la S.M.E. ; On en a conclu que :

- Les serpentines (L15) sont pratiquement dépourvues de T.R.
- Seul le La et le Ce sont décelables dans les serpentines carbonatées (L16).
- L'échantillon de carbonates (L17) montre la présence de toutes les T.R., sauf Tm, Tb et Lu qui ne sont pas détectées.
- L'échantillon L18 est relativement plus riche en T.R. et montre un profil type hydrothermal.

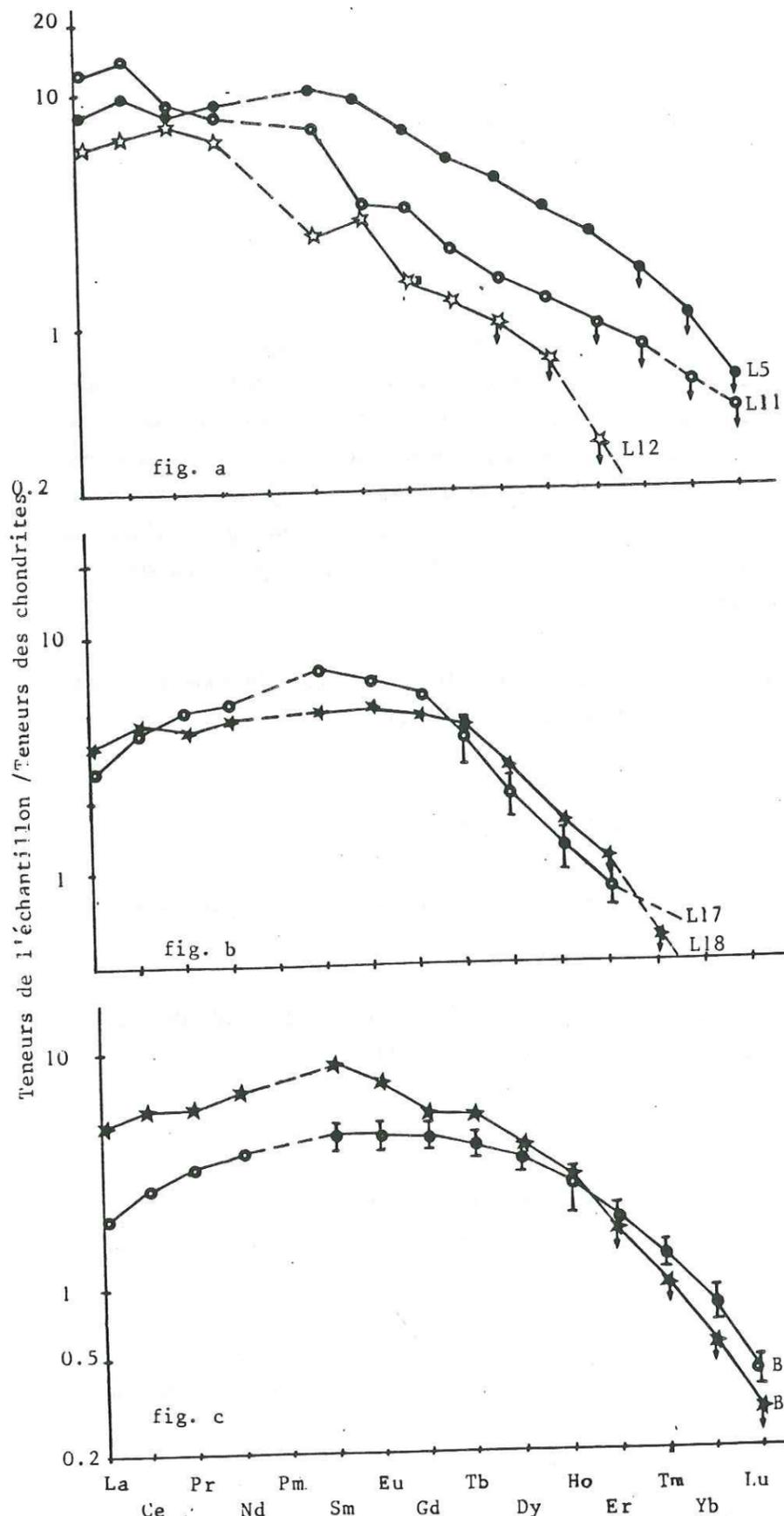


Figure 37 : Profils de répartition des T.R des listvénites : a = échantillon d'Elguir (●), de Mechoui (★), de Mokhazni (○) b = Bou-Azzer Est; c = Arouli N'Azzougar

Il y a donc un enrichissement en T.R. des serpentines vers les carbonates. On peut penser qu'au moment des circulations hydrothermales carbonatées, les T.R. se concentrent dans la phase ultime et précipitent en même temps que les carbonates dans les zones de fractures.

Le profil obtenu dans L17 (Fig. 37b) a une forme en cloche marquant un double appauvrissement en T. cériques et yttriques comme dans les carbonates d'Aroulin'Azougar; les carbonates représentés par cet échantillon ont donc subi une remobilisation; des terres cériques, remobilisation hydrothermale post-Pr.III.

Les éléments en traces autres que les T.R. montrent une influence serpentiniteuse sur les carbonates L17 et comme la forme du profil (surtout la partie correspondant aux T. yttriques) traduit l'origine hydrothermale, ces carbonates peuvent être aussi le résultat d'une altération hydrothermale des serpentines.

La même évolution est repérée dans la région d'Ambed I avec des serpentines dépourvues de T.R., des serpentines carbonatées à T.R. légères seulement mais fractionnées (Fig. 38b) et des carbonates relativement enrichis en T.R. (Fig. 38b).

Signalons que le talc provenant des serpentines (sous l'effet de l'altération) et qui est présent en filonnets dans les serpentines carbonatées, montre un profil descendant avec un fractionnement extrême ressenti même au niveau des T. cériques. (Fig. 38 b - éch. 48).

c) CARBONATES D'AROULI N'AZOUGAR (fig. 37c).

Le caractère géologique particulier de ces carbonates a été signalé: rappelons qu'il s'agit de carbonates en filons dans les formations rhyolitiques du Précambrien III (Pr.III). (§, III, 2, 3).

La géochimie des éléments en traces (autres que les T.R.) les rapproche des carbonates C1 de Bleïda et beaucoup plus encore des carbonates de Bou-Azzer.

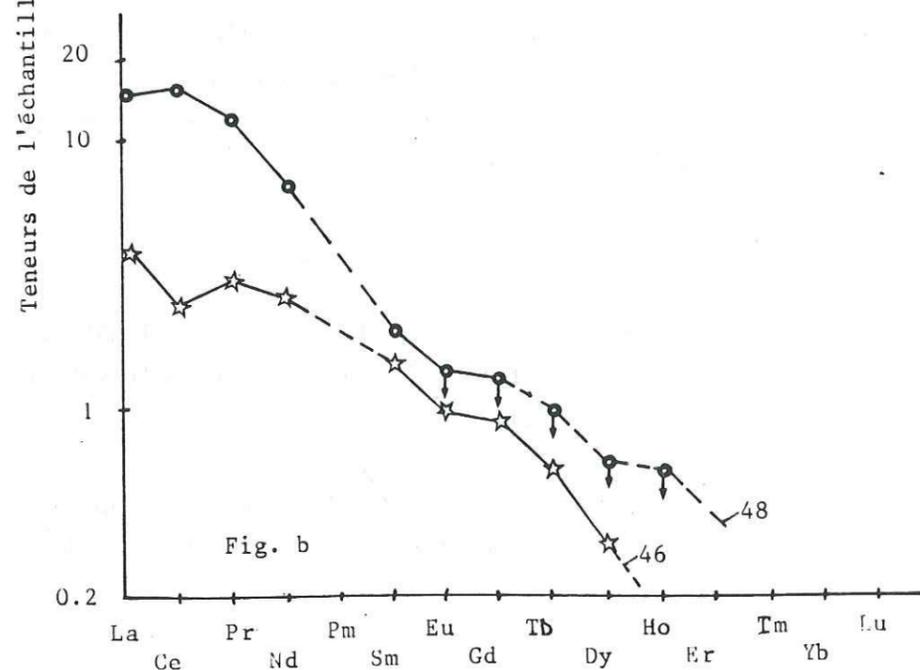
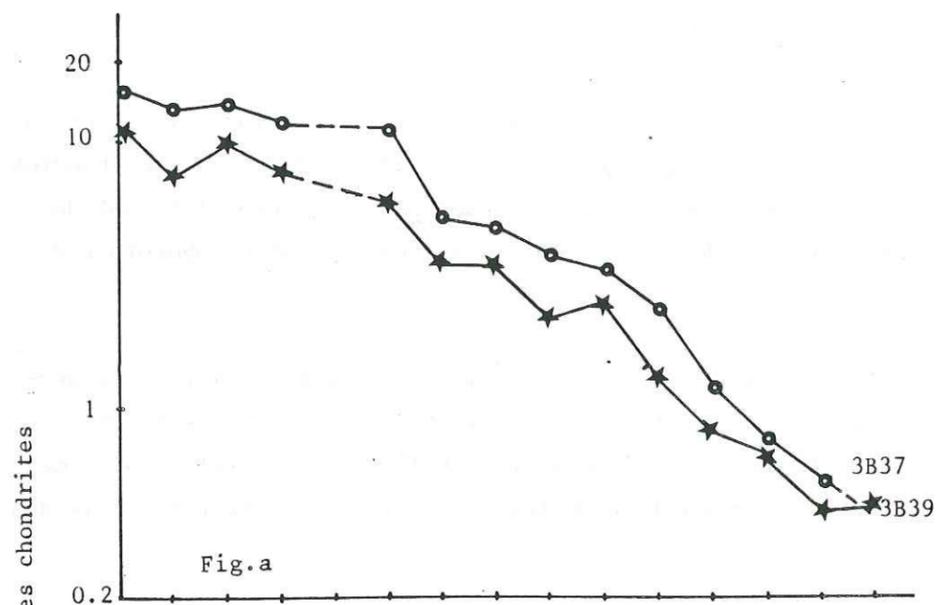


Figure 38 : Profils de répartition des T.R. des échantillons d'Ambed normalisés aux chondrites : a = formation d'Ambed, b = cerne de talc (46) et calcite en gros cristaux près des serpentines

Les profils de répartition des T.R. ne correspondent à aucune des formes précédentes : en effet les trois échantillons étudiés ont un profil calqué sur le même modèle, avec des abondances relatives plus fortes au niveau des Terres rares moyennes (Sm, Eu, Ga) .

Du fait du double appauvrissement relatif en Terres cériques et yttriques, deux possibilités sont à envisager pour l'origine de ces carbonates :

1) soit un matériel carbonaté avec un profil descendant du type groupe 1 des carbonates C1, (Fig. 36b), c'est-à-dire fractionnement important aussi bien pour les Terres cériques que pour les Terres yttriques .

2) soit un matériel carbonaté à profil descendant mais du type groupe 2 des carbonates C1 (Fig. 36a) c'est-à-dire relativement plat pour les T. cériques et descendant pour les T. yttriques .

Dans les deux cas, on considère un appauvrissement en T. cériques ; ceci nécessiterait une remobilisation des T. cériques (qui sont moins stables que les T. yttriques) laquelle peut être liée à des phases de remobilisation hydrothermale post Pr.III (hercynienne) comme dans la région de Bou-Azzer Est.

d) "CARAPACE" D'AMBED (Fig. 38a) .

Deux échantillons ont été prélevés dans le secteur d'Ambed I (Fig. 12) (près d'anciens travaux) dans la formation nommée carapace d'Ambed par Leblanc (1975) . Ils sont constitués essentiellement de calcite .

La géochimie des éléments en traces (autres que les T.R.) permet de les rapprocher des carbonates C1 de Bleïda (§ IV,3,2,2b) .

Les teneurs globales en T.R. sont identiques à ceux du deuxième groupe défini dans les carbonates C1 de Bleïda avec le même degré de fractionnement (La/Yb d'environ 50 à 100) .

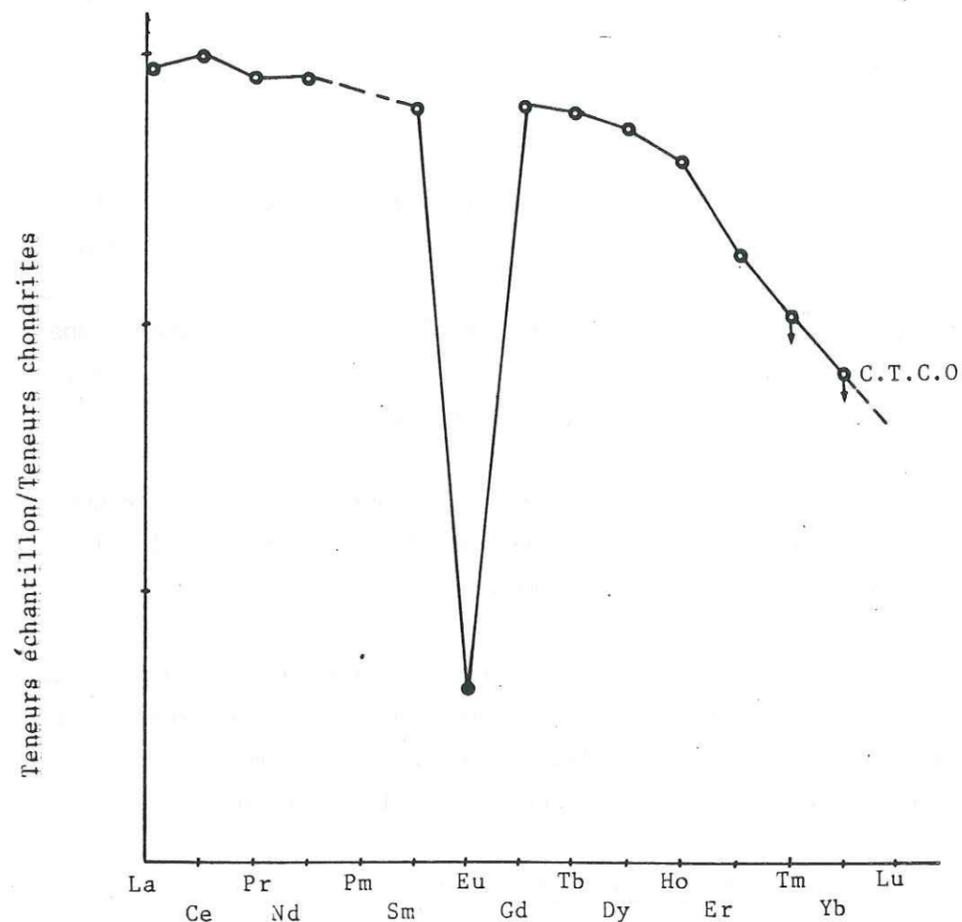


Figure 39 : Profil de répartition des T.R de la gangue calcitique du gisement de cobalt de Tamdrost (normalisé par rapport aux chondrites)

Les formes pratiquement parallèles pour les deux échantillons indiquent probablement un seul et même processus à l'origine des carbonates C1 de Bleïda (groupe 2) et de la carapace d'Ambed ; par conséquent la carapace d'Ambed serait à considérer comme résultant d'une altération hydrothermale des serpentines, plutôt qu'ayant une origine sédimentaire .

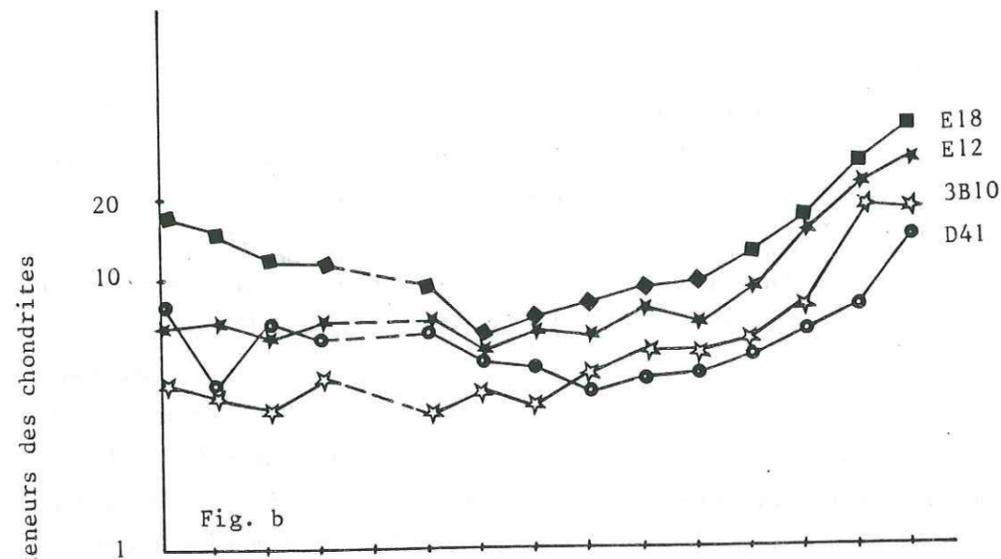
Par ailleurs, Leblanc (1975) a montré que la gangue de la minéralisation cobaltifère dérive de ce matériel, qu'il a appelé "carapace d'Ambed" et dont on vient de voir l'origine probablement hydrothermale . Par extension, nous pensons que la minéralisation cobaltifère et sa gangue seraient elles aussi d'origine hydrothermale . Pour vérifier cette proposition, un échantillon (C.T. C0) de la gangue, prélevé a quelques centimètres du minerai de cobalt dans le gisement de Tamdrost, a été analysé par S.M.E. ; ce matériel calcitique ne montre aucune influence serpentineuse (très peu de Cr et de Ni), mais il est à noter qu'il contient des inclusions de Co ainsi que des inclusions composées simultanément de S, Cu, et As (même type d'hétérogénéité sur les spectres d'analyses) .

Le profil de T.R. (Fig. 39) est du type parfaitement hydrothermal, particulièrement marqué par une forte anomalie négative en Eu qui constitue un indicateur de milieu réducteur favorisant donc le dépôt du métal cobaltifère .

IV,4,2,2 CARBONATES FILONIENS SANS INFLUENCE SERPENTINEUSE .

LES CARBONATES C2 DE BLEIDA .

Ces carbonates sont prélevés dans des encaissements différents . Ils sont caractérisés par les plus forte teneurs en Terres rares, le rapport $\Sigma L/\Sigma L$ est d'environ 2, indiquant donc une moindre amplitude que pour les formations C1 . Notons une tendance des T.R. lourdes à remonter en fonction du numéro atomique .



Teneurs de l'échantillon / teneurs des chondrites

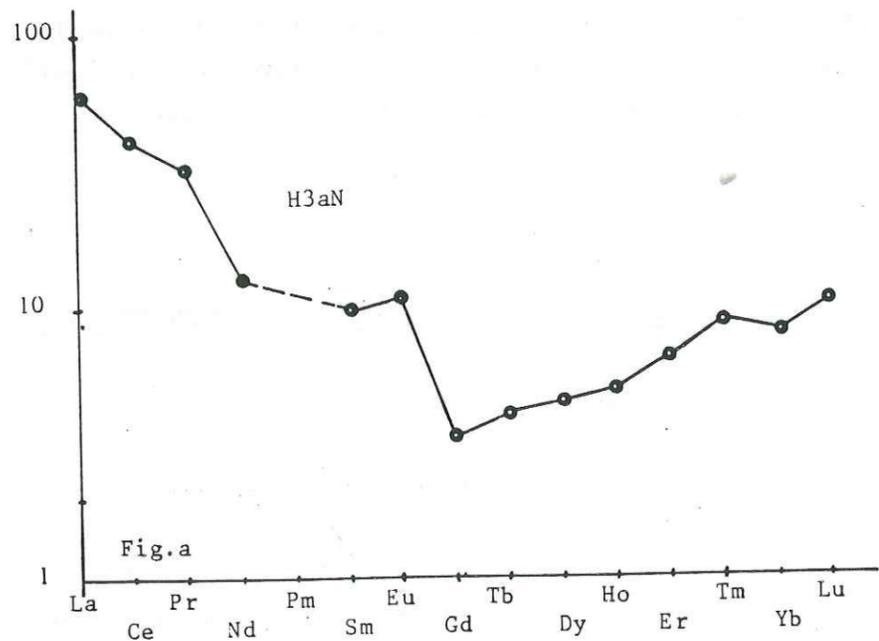


Figure 40 : Profils de répartition des T.R des carbonates filoniens C2 de Bleida normalisés par rapport aux chondrites: a= bord du filon , b = coeur du filon

N.B: L'échantillon 3B10 est prèlevé dans la région de bouzben

Rappelons que ces filons ont des épontes siliceuses et qu'une variation de couleur a été signalée du bord du filon (brun foncé) vers le coeur du filon (beige clair) .

Dans un même filon, on obtient toujours deux types de profils : un premier qui caractérise les carbonates brun foncé de bordure (particulièrement au contact du quartz des épontes) Fig. 40a ; un deuxième caractérisant les carbonates beige clair du coeur Fig. 40b . Cette distinction est marquée par la forte teneur et le fractionnement extrême des Terres cériques dans les carbonates de bordure, donnant ainsi un profil descendant du La jusqu'au Gd ; à l'opposé d'un profil relativement plat pour les Terres cériques dans les carbonates du coeur du filon . Au niveau des Terres yttriques, les deux types de profils sont pratiquement identiques avec une allure montante du Gd au Lu .

L'enrichissement des carbonates de bordure en Terres cériques peut s'expliquer de différentes façons :

- On peut tout d'abord supposer deux phases hydrothermales différentes, mais l'étude macroscopique montre un passage progressif de la couleur brun foncé au bord à la couleur beige clair vers le coeur du filon, et aucun signe d'une deuxième manifestation hydrothermale n'a été repéré : cette hypothèse n'est donc pas à retenir à priori .

- En admettant que le remplissage d'un filon se fasse de la périphérie vers le coeur, une deuxième hypothèse consiste à envisager une seule venue hydrothermale, mais avec une évolution dans le temps de la composition chimique de ses fluides .

Ainsi, les Terres cériques étant connues comme plus solubles que les Terres yttriques, leur enrichissement relatif au cours de l'individualisation des fluides carbonatés est probable : cet enrichissement se manifesterait donc dans les premières mises en place (bordure des filons) de carbonates, puis, progressivement et en liaison avec une activité hydrothermale relativement longue, les derniers liquides (coeur des filons) seraient marqués par un appauvrissement de plus en plus important en Terres cériques .

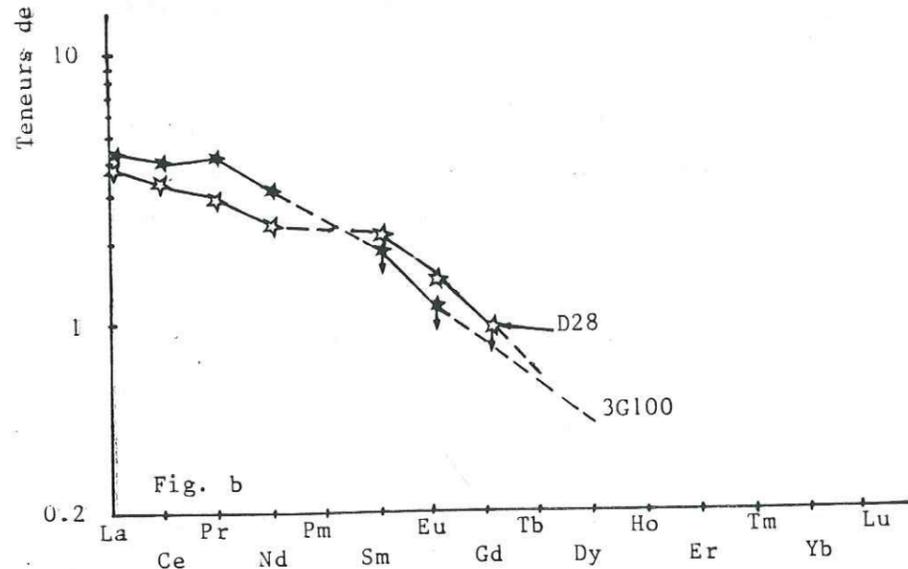
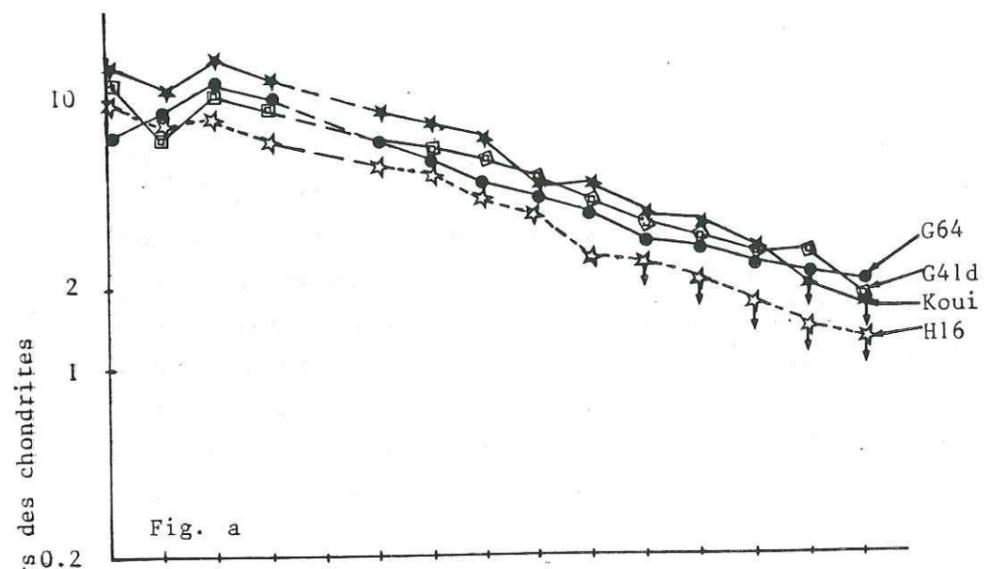


Figure 41 : Profils de répartition des T.R. des carbonates non filoniens (C3,C4) de Bleida (normalisés par rapport aux chondrites) : a = C3, b = C4

- A titre de troisième hypothèse nous nous sommes posé la question de savoir si les Terres cériques n'avaient pas tendance à se concentrer dans les carbonates situés au voisinage immédiat du quartz .

Pour répondre à cette question nous avons analysé les carbonates au contact d'un cristal de quartz, par étincelage direct de la surface de ce cristal . Aucune concentration de Terres rares cériques n'est détectée .

Nous pensons donc que le quartz en tant que tel n'exerce aucune attraction particulière sur les T.R. cériques et nous retenons la deuxième hypothèse comme la plus plausible .

IV,4,2,3 LES CARBONATES A CACHET VOLCANO-SEDIMENTAIRE .

a) LES CARBONATES C3 DE BLEIDA .

Rappelons que ces carbonates se trouvent en niveaux de faible épaisseur dans la série volcano-sédimentaire de Bleida et que certains d'entre eux sont au contact du niveau porteur de la minéralisation cuprifère de ce secteur .

La teneur globale en Terres rares varie de 15 à 25 $\mu\text{g/g}$, avec un rapport La/yb d'environ 2 . Ce rapport définit clairement le faible fractionnement des T.R. dans les C3 : c'est le seul caractère qui les différencie du deuxième groupe défini dans les C1 .

Les profils obtenus (Fig. 41a) sont régulièrement descendants du La au Lu avec une faible pente .

Ces formes, très proches de celles connues dans les calcaires sédimentaires (Jebrack, 1982), sont un argument en faveur de l'origine sédimentaire des carbonates C3 .

Aucune anomalie en Eu ni en Ce n'a été détectée, même pour les carbonates au contact du niveau porteur de la minéralisation, ce qui peut indiquer qu'au cours de la mise en place de celle-ci aucun changement des conditions d'oxydo-réduction ne s'est manifesté et que la minéralisation a été de ce

fait liée uniquement à la sédimentation .

b) LES CARBONATES C4 .

Ces carbonates montrent des similitudes (au niveau des éléments en traces autres que les T.R.) avec les carbonates C3 dont ils se distinguent essentiellement par leur mode de gisement toujours au contact des gabbros .

L'étude des Terres rares ne permettra pas de préciser l'origine des carbonates C4, mais les profils de leur répartition (Fig. 41b) permet de les différencier par rapport aux C3 . En effet ils sont caractérisés par une absence quasi-totale des Terres yttriques (compte tenu du seuil de détection) ; seules les Terres cériques sont décelables avec des profils descendants à pente plus forte que dans les C3 . Ce type de fractionnement des T. cériques est semblable à celui obtenu pour le premier groupe des C1 .

Il est difficile, compte tenu des réserves précédentes, de les classer dans un type particulier .

Le caractère sédimentaire déjà signalé lors de l'étude microscopique n'apparaît pas à ce niveau ; une autre hypothèse doit alors être envisagée : ces carbonates sont d'origine sédimentaire mais ils auraient subi une influence hydrothermale probablement liée au volcanisme basique sous-marin .

Les C4 peuvent donc être d'origine hydrothermale et sédimentaire .

IV,4,3 LES ELEMENTS SUSCEPTIBLES DE JOUER UN ROLE DANS LE TRANSPORT DES TERRES RARES .

IV,4,3,1 LE FLUOR .

Cet élément fortement électronégatif a une grande possibilité de pouvoir se complexer avec les Terres rares . Ainsi une bonne corrélation positive entre le fluor et les T.R. est souvent notée dans la littérature, surtout dans les carbonates hydrothermaux . Par contre, dans les carbonates étudiés ici cette corrélation n'apparaît pas (Fig. 42) : il n'y a donc aucune liaison évidente entre les teneurs en fluor et celle des T.R. (même pour les carbonates

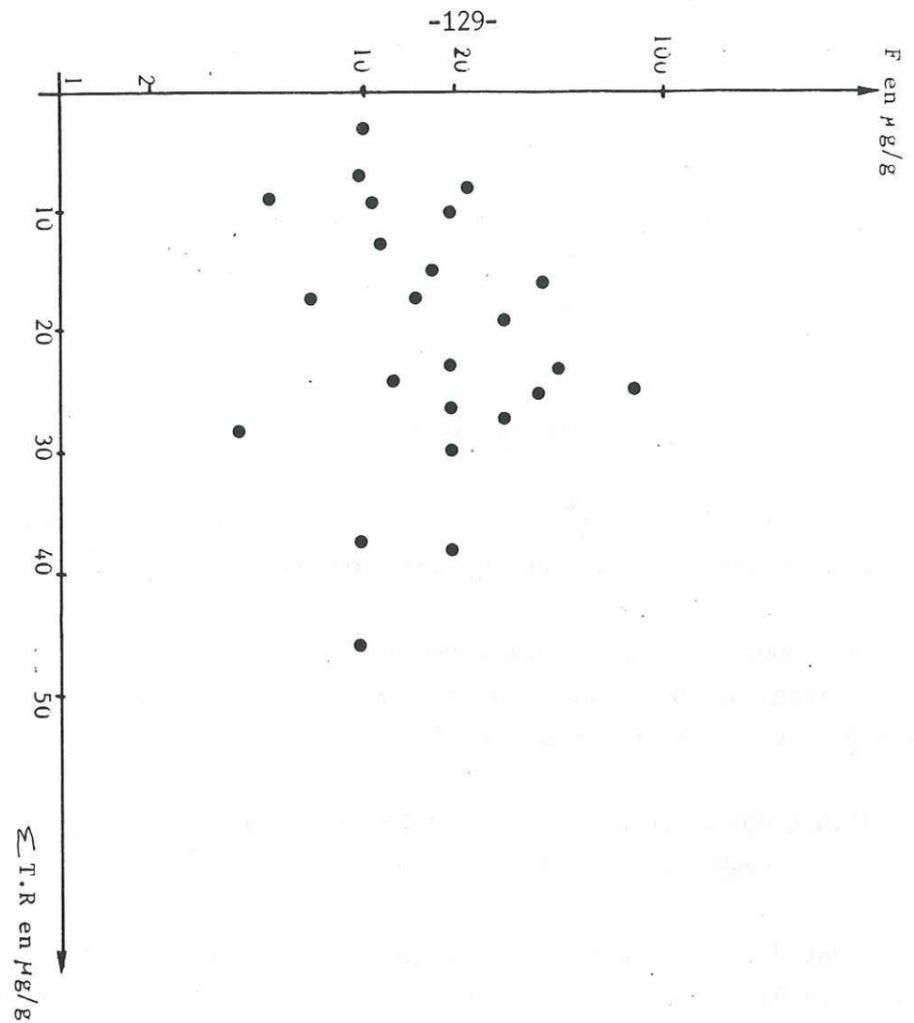


Figure 42: Liaison entre le fluor et la somme des T.R.

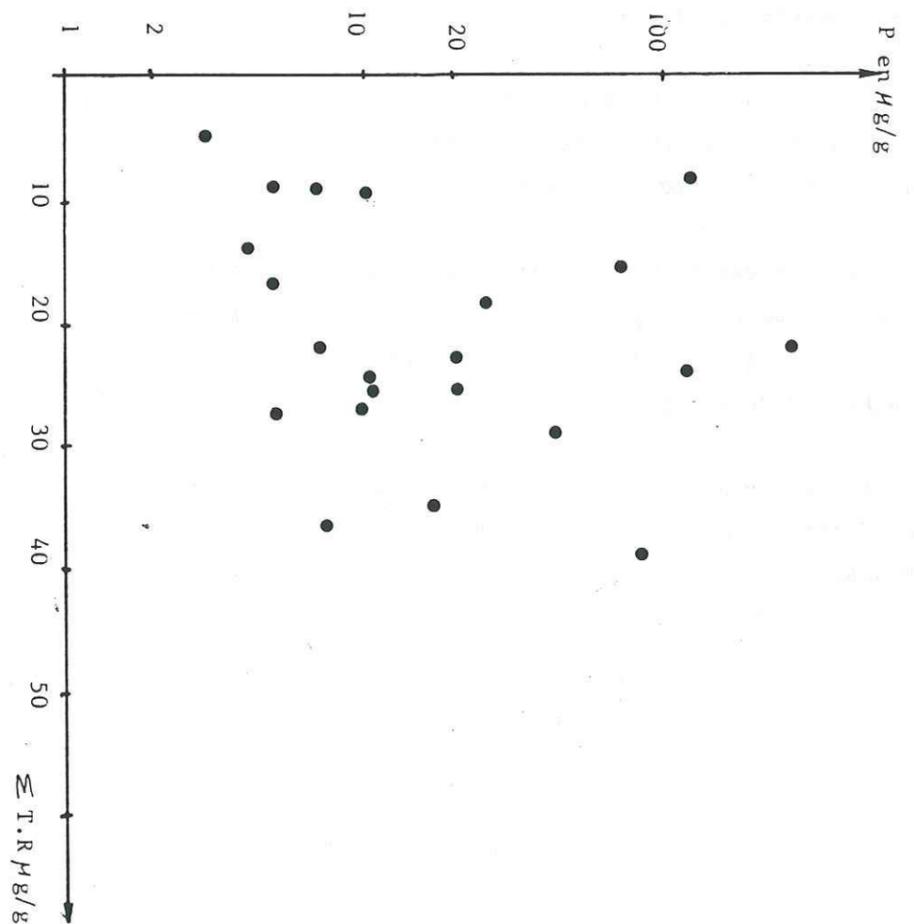


Figure 43: Liaison entre le phosphore et la somme T.R.

C1 et pour ceux de Bou-Azzer qui sont considérés comme hydrothermaux). Il faut noter cependant que, dans ces carbonates, les teneurs en F sont très faibles comparativement à celles des T.R., ce qui rend impossible pour ces dernières la formation de complexes fluorés.

IV,4,3,2 LE PHOSPHORE .

Le rôle de l'anion PO_4^{3-} qui favorise la fixation des T.R. dans certains minéraux (apatite) méritait qu'on étudie son comportement dans les carbonates.

Comme pour le fluor, aucune corrélation entre le phosphore et la somme des T.R. (Fig. 43) n'est ici visible et la formation de complexes phosphorés de T.R. n'est pas possible non plus.

IV,4,4 CONCLUSIONS : ORIGINE ET GENESE DES DIFFERENTS TYPES DE ROCHES CARBONATEES ETUDIEES .

L'étude des T.R. a permis de distinguer quatre types de carbonates dans la région de Bleida : chacun des types repéré sur le terrain est en effet caractérisé par un profil particulier, de sorte qu'il pourrait avoir une origine particulière également :

* Les carbonates C1 sont caractérisés par un profil descendant marquant un degré de fractionnement et précisant une origine hydrothermale : altération hydrothermale des serpentines .

* Les carbonates C2 d'origine hydrothermale également (leurs conditions de gisement avaient suffi à la prouver) mais sans influence de serpentines, montrent un profil montant pour les Terres yttriques qui semble donc témoigner d'une autre manifestation hydrothermale .

* Les carbonates C3 ont des profils descendants mais à très faible degré de fractionnement ce qui a permis de les classer parmi les calcaires sédimentaires .

* Les carbonates C4 montrent des profils différents des précédents mais ne sont pas caractérisés par un profil donné (rappelons cependant que d'autres arguments nous avaient permis de les classer comme carbonates sédimentaires).

* Les filons au contact des serpentines (Bou-Azzer et gangue du gisement de cobalt de Tamdrost) montrent également des profils de distribution des T.R. qui permettent de leur attribuer une origine hydrothermale .

* La formation d'Ambed est considérée par Leblanc (1975) comme résultant de l'altération météorique des serpentines ayant subi une remobilisation hydrothermale . Par contre notre travail montre que cette formation a les mêmes caractères que les carbonates C1 de Bleida et les filons hydrothermaux de Bou-Azzer . Ceci nous a conduit à supposer que la formation d'Ambed résulte elle aussi d'une altération hydrothermale des serpentines

CHAPITRE V
CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a porté sur les carbonates filoniens et non filoniens du district minier de Bou-Azzer-Bleïda ; elle a concerné essentiellement la région de Bleïda et accessoirement la région de Bou-Azzer . Elle a permis de mettre en évidence l'origine des différents types de carbonates dans la région de Bleïda, ainsi que celle des gangues de la minéralisation de cobalt et de la carapace d'Ambed dans la région de Bou-Azzer .

Les carbonates filoniens de Bleïda sont assez nombreux et se différencient en deux sous-ensembles par leur direction et par la nature de leur encaissant . Le premier sous-ensemble marque la fin de la phase majeure panafricaine B1 et correspond aux carbonates C1 (toujours de direction N 130°) ; le deuxième, postérieur à cette même phase, correspond aux carbonates C2 (de direction variable et différente de N 130) .

Les carbonates non filoniens se différencient également en deux sous-ensembles par la nature des roches qui sont à leur contact : carbonates C3 dans la série volcano-sédimentaire de Bleïda (et particulièrement au mur du niveau porteur de la minéralisation en cuivre) et carbonates C4 toujours en contact des gabbros .

Sur le plan géochimique, l'utilisation de différentes méthodes nous a permis d'étudier les éléments majeurs, mineurs et traces, y compris les Terres rares, présents dans l'ensemble des carbonates échantillonnés .

Tout d'abord, des analyses par fluorescence X et par microsonde électronique ont mis en évidence une similitude géochimique entre les carbonates filoniens de Bleïda et les carbonates de Bou-Azzer situés au contact des serpentines . On observe de même des ressemblances géochimiques à l'intérieur du groupe des carbonates non filoniens de Bleïda .

Les analyses par S.M.E. ont contribué à caractériser la composition des différents carbonates, ainsi que leurs profils de répartition des Terres rares :

1) Les carbonates C1 remplissant les failles de la phase majeure pan-africaine B1; ceux situés au contact des serpentines à Bou-Azzer, ceux de la carapace d'Ambed et ceux d'Arouli N'Azougar (dans le P.III), sont caractérisés par l'abondance relative des éléments serpentineux (Cr et Ni), avec des profils de répartition de T.R. indiquant un caractère hydrothermal; nous les avons interprétés comme le résultat d'une altération hydrothermale des serpentines et nous avons adopté pour eux le nom de listvénites. Ils définissent ainsi une phase hydrothermale qui marque la fin de la phase majeure pan-africaine B1.

2) Les carbonates hydrothermaux C2 sont relativement riches en Mn et Sc et sont caractérisés par un profil de répartition des T.R. qui les différencie de celui obtenu pour les C1, et permet d'envisager pour eux une origine hydrothermale également différente.

3) Les carbonates C3 montrent les teneurs les plus élevées en Ti, Zr et B, teneurs qui augmentent à l'approche des zones riches en minerai de cuivre, avec diminution de la teneur en T.R. . Leurs profils de T.R. ainsi que la présence de quelques grains de quartz détritique permettent de classer ces carbonates parmi les calcaires sédimentaires.

4) Les carbonates C4 sont géochimiquement identiques aux C3 sauf pour les T.R. qui y montrent de plus faibles teneurs.

5) Cette étude vient également préciser une origine hydrothermale pour la gangue carbonatée de la minéralisation cobaltifère (région de Tamdrost) et indique l'état réducteur du milieu qui favorise le dépôt de cobalt.

De ce point de vue, nous n'avons étudié que le site de Tamdrost, mais nous pensons que cette étude mériterait d'être étendue aux gangues des autres minéralisations cobaltifères de la région.

A partir de la définition de ces divers groupes, des conclusions plus générales se dégagent quant aux relations entre carbonates et minéralisation. Par exemple :

1) Les fortes teneurs en Ti, Zr, B associées à l'extrême pauvreté en T.R. à la proximité de la minéralisation, nous a amené à définir ces particularités comme un guide possible pour la recherche des minéralisations cuprifères.

2) La classification des carbonates d'Arouli N'Azougar dans le groupe des listvénites laisse présumer la présence de serpentines sous la couverture P.III. Cette information, liée à la richesse de ces carbonates en arsenic, nous conduit à envisager la présence d'une minéralisation cobaltifère cachée sous le P.III comme dans la région de Tamdrost. Il serait donc intéressant d'entreprendre une étude géologique structurale et géochimique détaillée de cette région, afin de confirmer ou d'infirmer cette présomption.

3) Enfin, la présence d'or dans certaines listvénites de Bleïda et de Bou-Azzer nous amène à proposer une recherche systématique des minéralisations aurifères dans ce type de matériaux.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

20 AOÛT 2003

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I

- BOUDDA A. et CHOUBERT G., 1972 . - Sur la limite inférieure du Cambrien au Maroc C.R. Acad. Sci., Paris, D, 275, 1, 5-8 .
- BOULADON J. et JOURAVSKY G., 1954 . - Sur la véritable nature de certaines laves de la série volcanique du Précambrien III de Tiouine (région d'Ouarzazate, Sud marocain) . C.R. Acad. Sci., Paris, 238, 5, 599 .
- BOULADON J. JOURAVSKY G., 1954 . - Les ignimbrites du Précambrien III de Tiouine et du Sud marocain . Note et M. Serv. géol. Maroc, 8, 120, 37-49 .
- CHIKHAOUI M., 1981 . - Les roches volcaniques du Protérozoïque supérieur de la chaîne pan-Africaine (Hoggar, Anti-Atlas, Adrar des Iforas . Caractérisation géochimique et minéralogique . Implications géodynamiques . Thèse de Doctorat d'Etat . Montpellier .
- CHOUBERT G., 1947 . - L'accident majeur de l'Anti-Atlas . C.R. Acad. Sci., Paris, 224, 16, 1172-1173 .
- CHOUBERT G., 1952 . - Histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas, in Géologie du Maroc . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 100, et XIX Congr. Géol. Int., Alger, 3^os., 6, 77-194 .
- CHOUBERT G., 1952 . - Le volcan géorgien de la région d'Algoum (Anti-Atlas). C.R. Acad. Sci., Paris, 234, 3, 350-352 .
- CHOUBERT G. et MARCHAIS J., 1956 . - Les grands traits de la géologie du Maroc, introduction au lexique stratigraphique du Maroc . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 134 et publ. CNRS, Paris, 4 Afrique, la, 5-38 .
- CHOUBERT G., 1957 . - L'Adoudounien et le Précambrien III dans l'Anti-Atlas. in les relations entre Précambrien et Cambrien, coll. Int. CNRS, Paris, 76, 143-162 .

- CHOUBERT G., 1960 . - Histoire géologique de l'Anti-Atlas de l'Archéen à l'aurore des temps primaires . Thèse Doct. Etat, Paris, publ. 1963 in Notes et M. Serv. géol. Maroc, 169 .
- CHOUBERT G., 1967 . - Divisions du Précambrien, en particulier dans l'Anti-Atlas. C.R. somm. Soc. géol. Fr., Paris, 4, 129-130 .
- CHOUBERT G., 1970 . - Principales caractéristiques du Précambrien de l'Anti-Atlas, in livret-guide excursion Anti-Atlas occidental et central - colloque int. corrélation Précambrien, Notes et M. Serv. géol. Maroc, 229, 7-49 .
- CLAUER N., 1976 . - Géochimie isotopique du strontium des milieux sédimentaires . Application à la géochronologie du craton ouest-africain . Sci. Géol. Strasbourg, Mém. 45, 256 p.
- DESPUJOLS P., 1933 . - Historique des recherches géologiques au Maroc (zone française) des origines à 1930 . Notes et M. Serv. Mines et carte Géol. Maroc, 25 .
- DUCROT J. et LANCELOT J., 1977 . - Problème de la limite Précambrien-Cambrien: étude radiochronologique par la méthode U-Pb sur zircons du volcan du Jbel Boho (Anti-Atlas) . can. J. Earth. Sci.
- DUCROT, et LANCELOT, 1978 . -
- DUCROT, 1986 . - Sous presse .
- HASSENFORDER B. et JEANNETTE D., 1974 . - Rapports entre le Précambrien supérieur et l'Infracambrien dans la boutonnière de Kerdous (Anti-Atlas occidental) . C.R. Acad. Sci., Paris, D, 278, 3287-3290 .
- HORRENBARGER C., 1973 . - Tectoniques superposées dans le Précambrien de la plaine de Tazenaght (Anti-Atlas central, Maroc) . C.R. Acad. Sci., Paris, D, 277, 1601-1604 .

- HUPE P., 1953 . - Sur les limites de l'Infracambrien, spécialement au Maroc. C.R. Acad. Sci., Paris, D, 236, 1, 103-105 .
- JOURAVSKY G., 1963 . - Filons de manganèse dans les formations volcaniques du Précambrien III de l'Anti-Atlas . Etude métallogénique . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 22, 170, 81-92 .
- JUERY A. et al., 1974 . - L'âge des rhyolites du Précambrien III du haut Atlas et le problème de la limite Précambrien . Cambrien . 2è Réunion Sc. Terre, Nancy .
- LEBLANC M., 1972 . - Un complexe ophiolitique dans le Précambrien II de l'Anti-Atlas central (Maroc) : Description, interprétation et position stratigraphique . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 236, 119-144 .
- LEBLANC M., 1973 . - Tectonique du Précambrien II Bou-Azzer-El Graara (Anti-Atlas central) . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 33, 249, 59-81 .
- LEBLANC M., 1973 . - Les formations infracambriennes de Bou-Azzer (Anti-Atlas central, Maroc) : lithostratigraphie, tectonique et position structurale . Notes et M. Serv. géol. Maroc, 34, 254, 7-14 .
- LEBLANC M., 1975 . - Ophiolites précambriennes et gites arseniers de cobalt (Bou-Azzer-Maroc) . Thèse Doct. Etat, Montpellier, publ. 1981 in Notes et M. Serv. géol. Maroc, 280 .
- LEBLANC M. et BILLAUD P., 1978 . - A volcano-sedimentary copper deposit on a continental margin of Upper Proterozoic age : Bleïda (Anti-Atlas, Maroc) . Econ. Geology, 73 (6), 1101-1111 .
- LEBLANC M. et LANCELOT J.R., 1980 . - Le domaine pan-africain de l'Anti-Atlas (Maroc) . Canad. J. Earth Sci., 17 (1), 142-155 .

CHAPITRE II

- BILLAUD P., 1977 . - Les structures tectoniques pan-africaines (Précambrien supérieur) du gisement de cuivre de Bleïda (Anti-Atlas-Maroc) . Thèse de 3^e cycle . Montpellier .
- CHOUBERT G., 1960 . - Histoire géologique de l'Anti-Atlas de l'Archéen à l'aurore des temps primaires . Thèse Doct. Etat, Paris, publ. 1963 in Notes et M. Serv. géol. Maroc, 162 .
- LEBLANC M., 1968 . - Chevauchement dans la boutonnière précambrienne de Bou-Azzer-El Graara (Anti-Atlas, Maroc) . Bull. Soc. géol. Fr., X, 1, 93-96.
- LEBLANC M., 1975 . - Ophiolites précambriennes et gites arseniers de cobalt (Bou-Azzer-Maroc) . Thèse Doct. Etat, Montpellier, publ. 1981 in Notes et M. Serv. géol. Maroc, 280 .
- LEBLANC M. et BILLAUD P., 1978 . - A volcano-sedimentary copper deposit on a continental margin of Upper Proterozoic age : Bleïda (Anti-Atlas, Morocco) . Econ. Geology, 73 (6), 1101-1111 .
- SAADI M., 1964 . - Etude de quelques échantillons provenant des sondages N°9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 et 18 du gite de cuivre d'El Bleïda (Graara Anti-Atlas). Rapport S.E.G.M., N° 790 .

CHAPITRE III et IV

- ALLEGRE C.J. JAVOY M. et MICHARD G., 1968 . - Etude de la distribution et de l'abondance des éléments de transition dans l'écorce terrestre, comparée à celles des Terres Rares . In origin and distribution of the Elements, edited by L.H. Ahrens . Pergamon Press. Oxford . New-York . 913-928 .
- ALLEGRE J. et LOUBET M., 1970 . - Analyse des Terres rares dans les échantillons géologiques par dilution isotopique et S.M. - Application à la distinction entre carbonatites et calcaires .

- AUBAGUE M., 1973 . - Etude des relations entre les gites de sidérites de giobertites et de talc de pyrénées françaises . compte rendu . BRMG . Contrat N° 68.01.202.
- BALASHOV, 1966 . - Differentiation of the rare earths during magmatic processes . Chemistry of the earth's crust, éditeur Vignigraclov, pp, 372-387.
- BARBIERI M. et al., 1978 . - Use of Strontium in carbonates for the Interpretation of the Deep Minerogenetic Fluids circulation in the Tolfa Mts (Rome) Chem. Erde Bd. 37, S. 143-153 .
- BARNES I. et al., 1973 . - Silica-carbonate alteration of serpentine : Wall Rock alteration in mercury deposits of the California Coast Ranges . Economic Geology, Vol. 68, 388-398 .
- BAUDRON J.C. et al., 1985 . - Age et caractères de deux épisodes à fluorine du district provençale (Tanneron-Estérel) . C.R. Acad. Sci. Paris, t. 300, Série II, n° 11, 511-516 .
- BEAUFORT D. and MEUNIER A., 1983 . - Petrographic characterization of an argillic hydrothermal alteration containing illite, K-rectorite, K beidelite and carbonates in a cupromolybdenic porphyry at Sibert (Rhône, France) . Bull. Mineral., 106, 535-551 .
- BERKEY, MORRISON, 1968 . - Distribution of trace elements in Smithsonian iron meteorite by spark source mass spectrometry . In Origin and distribution of the elements, pp 345-357 . Pergamon Press .
- BURNHAM, 1967 . - Hydrothermal fluids at the magmatic stage, In Geochemistry of hydrothermal ore deposits, pp 34-74 .
- BITTAR K., 1966 . - Etude expérimentale de l'altération chimique des roches magnésiennes (serpentinites) . Thèse de 3^e cycle - Paris V.
- BRATTER P. et al., 1972 . - Le fractionnement des Terres rares dans les fluorines . Erzmetall, Dtsch, t. 25, N° 8, 389-394 .

- CAPREDI S. et ROSSI, 1974 . - Conditions governing the formation of ophicalcite and listvenites . Bull. Soc. Géol. Grecia 10, p. 278-297 .
- CHASE, CORRYELL and WINCHESTER, 1963 . - Lanthane, europium and dysprosium distribution in igneous rocks . J. of Geophy. Res. Vol. 68, 567-570 .
- CORRYELL C.D., CHASE J.W. and WINCHESTER J.W., 1963 . -
- COURTOIS C. et DESPRAIRIES A., 1978 . - Les Terres rares et quelques éléments de transition dans les minéraux argileux issus de deux processus d'altération de roches basiques . C.R. Sann. Soc. géol. Fr., Fasc. 5 .
- CHASE, CORRYELL, WINCHESTER, 1963 . - Lanthane, europium and dysprosium distribution in igneous rocks . Journal of Geophysical Research, Vol. 68, p. 567 .
- CORRYELL C.D., et al., 1963 . - A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare earth abundance patterns . J. Geophys. Res. 68 (2), 559- 556 .
- DOSTAL J. et al., 1983 . - Partition coefficients of trace elements : application to volcanic rocks of St. Vincent, West Indies Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 47, 525-533 .
- DUBOIS M., 1984 . - Plagiogranites et hydrothermalisme, une approche à la partie des complexes ophiolitiques de Chypre d'Oman . Thèse- Nancy .
- DUPUY J.J., 1984 . - Etude du gîte planifère de Oued Mekta (Maroc oriental); essai d'explication de la répartition des métaux (Pb, Zn (Cu, Ba)) dans le district de Touissit-Bou Beker . Thèse de 3^e cycle - Orléans .
- FENELON J.P., 1981 . - Qu'est-ce-que l'analyse des données ? LEFONEN .éditeur.
- FLAHAUT, 1969 . - Les éléments des Terres rares . Masson éditeur .

- FLEET A.J., 1984 . - Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements . In Rare earth element geochemistry - HENDERSON P. éditeur 345-373 .
- FREY, HASKIN, 1964 . - Rares earths in oceanic basalts . Journal of Geophysical Research, vol. 69, pp. 775-779 .
- FROMAGE, GOBRON, 1965 . - Sur la constitution en solution des carbonates complexes des Terres rares . C.R.A.S., T. 261 .
- FROMAGE, 1968 . - Sur les carbonites complexes des lanthanides . Annales de chimie, tome 3, 457-467 .
- GRAHAM A.L., and NICHOLLS G.D., 1969 . - Mass spectrographie determinations of lanthanides elements contents in basalts . Geochimica acta 33, N° 5, pp 555-568 .
- GUERIN H., 1970 . - Géochimie du manganese dans les roches volcaniques du Mont Dore (Auvergne) . 95^e congrès National des soci. savantes . Reims, 23-27 .
- HASKIN, 1966 . - Rares earths in european schales . Science, 154, 507-509 .
- HASKIN, FREY? SCHMITT, 1966 . - Meteoritic, solar and terrestrial rare earth distributions . Physics and chemistry of the earths , 7, 167-321 .
- HEMLEY, JONES, 1964 . - Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism . Economic geology, 59, 538-569 .
- HENDERSON III F.B., 1969 . - Hydrothermal alteration and ore deposition in serpentinite . Type Deposits Economic geology, Vol. 64, 489-899 .
- HENDERSON P., 1984 . - General geochemical properties and abundances of the rare earth elements in rare earth element geochemistry - HENDERSON P. éditeur . 1-32 .

- HERRMANN A. et al., 1976 . - Major, Minor, and Trace Element Compositions of Peridotitic and Basaltic Komatites from the Precambrian Crust of Southern Africa . Contrib. Mineral. Petrol. 59, 1, 1612 .
- HOLLAND, 1967 . - Gangue minerals in hydrothermal deposits in geochemistry of hydrothermal ore deposits, 382-431 .
- HORVORKA D., IVAN P., 1981 a. - Serpentinite in Paleozoic near Dobsina . (English summary of slovak text) . In Paleovulkanizmus Zapadnych Karpat. S. Bajanič. D. Hovorka eds. Bratislava, G 21 DS, pp 79-80 .
- HOVORKA D., IVAN P., 1981 b. - A hydrothermal Leaching of an ultrabasic body - a determinant phenomenon of the Co-Ni arsenides vein deposit genesis . Dobsina, the west Carpathians . In : UNESCO Int. Symp. Metaboy . Mafic and Ultramafic Complexes : East. Medeterr. West. Asia Area and Com. Similar Matalloy. Emiron. World, Athens, pp. 172-184 .
- IVAN P., 1984 . - Metasomatites (listvénites) replacing ultrabasics (Paleozoic, Inner Western Carpathians) . Mineralia Slov. 16, 1, 103-114 .
- JEBRAK M., 1982 . - Les districts à fluorine du Maroc central Bull. du BRMG, (2), section II, N° 2, 211-221 .
- JEBRAK M., TOURAY J.C. et WALSH N., 1983 . - Les Terres rares dans les minéraux calciques (carbonates, fluorine, scheelite), outil de la prospection minière . Résultat Sci. et Tech. du BRMG, p 95 .
- JEBRAK M., DEBBRAH B. et TOURAY J.G., 1984 . - Saumures associées aux fluorines filoniennes du Maroc central, dans le district d'El Hamman Bull. Mineral., 107, 233-240 .
- JEBRAK M., 1985 . - Le district filonien à Pb-Zn-Ag et carbonates du Jebel Aouam (Maroc central) . Bull. Minéral., 108, 487-498 .
- JEBRAK M., 1984 . - Contribution à l'histoire naturelle des (F, Ba) du domaine Varisque : Essai de caractérisation structurale et géochimique des filons en extension et en décrochement dans les massifs centraux français et marocain . Thèse d'Etat Orléans .

- KASHKAI M.A., 1964 a . - Listvenitisation of basic rocks and classification of listvénites . Merzhodumar . Geol. Kongr., XXII Sessiya, Dokl. Sov. Geologov 1964 . - Prol. 16, 18-100 .
- KASHRAI M.A., 1964 b . - Metasomatic zoning and chemistry of listvénites . Inst. Geol. in Geofiz, Sibirsk. Otb Akad. naud SSSR, pp 198-214 .
- KARKAI M.A., ABDULLAEV Z.B., NASIBOR T.N., GUSEINOVA S.F., 1975 . - Distribution of nickel and cobalt in various genetic types of listwanites . Dokl. Akad. Nauck Az. SSR 1975, 31 (1), 22-6 .
- KHOMVADOV A.P., 1973 . - La modalité géochimique des lanthanides . Prétraduction B.R.G.M., N° 739, 13 p .
- LARRY A.HASKIN and MARY A. HASKIN, 1971 . - Rare Earth abundances in some Ultramafic Rocks . Journal of Geophysical research, Vol. 76, 8, 2057-2070 .
- LE SUAVE R., 1974 . - Etude par spectrométrie de masse à étincelles des lanthanides et autres éléments traces dans les carbonates filoniens (Alpes externes françaises) Thèse 3è cycle - Grenoble .
- LETOLLE R., 1965 . - Géochimie du lithium dans les roches volcaniques de la série du Mont Dore . Bull. Soc. Minér. Crist. LXXXVIII, 426-431 .
- LETOLLE R., 1978 . - Article géochimie. Encyclopaedia Universalis, V7, pp. 598-606 .
- LOUBET M., 1970 . - Etude des lanthanides et des éléments de transition dans les carbonatites . Thèse de 3è cycle, Paris IV .
- MARIE R., 1980 . - Etude par spectrométrie de masse à étincelles de la répartition des éléments traces dans quelques gites alpins d'arsénopyrite . Thèse 3è cycle, Grenoble .

- MEARY A., TOURAY J.C., GALLAND D., JEBRAK M., 1984 . - Interpretation de l'anomalie en europium des fluorine hydrothermale . Données de la RPE. Application au gite de fluorine de Montroc (Tarn) . Chemical Geology .
- MINEYEN, 1968 . - Chemical differentiation of the rare earths Geochemistry, 12, 1129-1149 .
- MUECKE G.K., PRIDE C. and SARKAR P., 1979 . - Rare - earth Element Geochemistry of Regional Metamorphic Rocks . In Origin and Distribution of the elements, 1977, Second Symposium physics chemistry of the Earth. Volume II 449-461 .
- NAGASAWA H., 1970 . - Rare Earth concentration in zircons and apatites and their Host Danite and Granites . Earth and Planetary Science Letters 9, 359-364 .
- NEKRASOV I. Ya, 1978 . - Relation between gold and cobalt mineralization in arsenide formation deposits . Akad. Nauk SSSR, 243 (3) 752-755 (Geochem) .
- NYSTROM J.O., 1984 . - Rare earth element mobility in vesicular lava during low-grade metamorphism . Contrib Mineral Petrol, 88, 328-331 .
- PERRUCHOT A., 1971 . - Etude expérimentale du comportement du Nickel au cours de phénomène d'altération . Thèse de 3è cycle . Orléans .
- RAMAMOHANA RAO T., 1981 . - Fuchsite mica from chronite deposits of khamman district, A.P. Science and culture, Vol. 47., N° 5, 184-186 .
- RICHARD A., 1981 . - Le district aurifère de Challant (Val d'Aost - Italie): Géologie, géochimie et métallogénie de l'or . Thèse de 3è cycle, Grenoble .
- ROBERT L. et al., 1984 . - Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust : predominantly basic and ultrabasic rocks in rare earth element geochemistry - HENDERSON P. éditeur 237-274 .

- RODGERS C., 1982 . - Chimie des roches carbonatées de l'Ile de Nuire, dans le pacifique Sud. J. géol., 21 SA, 11, Vol. 90, n° 6, 645-662 .
- SAW D.M., 1964 . - Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines . Masson éditeur .
- SUSA N E., 1984 . - The mobility of the rare earth elements in the crust . In rare earth element geochemistry . HENDERSON P. éditeur . 317-342 .
- STEINBERG M., TOURAY J.C., TREUIL M. et MASSARD P., 1979 . - Géochimie : principes et méthodes . Tome II : Cristallachimie et éléments en traces Doin éditeur .
- SVERJENSKI D.A., 1984 . -Europium an aqueous solution . Earth and Planet . Science Letters, 57, 70-78 .
- TOTH J.R., 1980 . - Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron . Geol. Soc. Am. Bull., 91 ; 44-54 .
- TUGUANGZHI, et al., 1985 . - Evolution of Precambrien REE mineralization . Precambrien Research, 27, 131-151 .
- VADALA P., 1981 . - Le gite de ZnS-PbS a gangues ankériques de reocin (Standander, Espagne) Tectonique diapirique phénomène karstiques et minéralisations . Thèse de 3è cycle Orléans .
- VANDERBORGNT B., PILATE A. et ADAMS, 1979 . - Application de la Spectrométrie de Masse à Etincelle à la pollution . SPECTRA 2000 - Vol. 7 N° 54.
- VLSSOV, 1968 . - Genetic types of rare elements deposits . t.3, 490 - 495 .
- VOISST M., 1976 . - Etude géologique du Nord des massifs du Pelvoux et des Grandes Rousses . Application de la spectrométrie de masse à étincelles à la géochimie des éléments traces des paragenèses à molybdénite . Thèse 3è cycle, Grenoble .

VOROBYEN E.N. et al., 1985 . - Geochemical peculiarities of calcites in kimberlite, complexes of Yakutia .

YPMA, 1963 . - Reuvenation of ore deposits as exemplified by the Belledonne metalliferous province . Leidse Geologische Mededelingen .

WILDEMAN T.R. and HASKIN L.A., 1973 . - Rare earths in Precambrian sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 419-438 .

WILDEMAN T.R. and HASKIN L.A., 1965 . - Rare earth elements in ocean sediments . J. Geophys. Res., 70 : 2905-2910 .

A N N E X E S I :
Résultats numériques

Tableau 3 : Résultat de la diffractométrie des rayons X (en %)

1) les roches carbonatées CI de Bleïda:

	H9	H11	H5	H27	H24	H25	D14	G33a	3G14	3G17	H6	D6	D11
CAL.	5.00	4.00	20.00	33.00	16.00	60.00	43.00	40.00	12.00	73.00	3.00	5.00	20.00
DOL.	46.00	73.00	25.00	1.00	33.00	7.00	0.00	5.00	62.00	0.00	1.00	80.00	70.00
QTZ.	23.00	0.00	45.00	26.00	10.00	21.00	34.00	3.00	9.00	7.00	69.00	10.00	0.00
CHL.	19.00	0.00	0.00	19.00	11.00	10.00	5.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00
TAL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	41.00	0.00	0.00	0.00	5.00	2.00
FLA.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OXY.	0.00	15.00	4.00	21.00	22.00	0.00	12.00	10.00	17.00	20.00	10.00	0.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	94.00	100.00	100.00	100.00	99.00	99.00	100.00	100.00	99.00	100.00	100.00

2) les roches carbonatées (ou listvénites) de :

	Bou-Azzer			Arouli N'Azougar			Ambed I		Bou-Azzer Est	
	L2	L5	L11	B14	B15	B16	3B37	3B39	L17	L16
CAL.	0.00	0.00	0.00	10.00	2.00	15.00	64.00	74.00	5.00	30.00
DOL.	74.00	00.00	70.00	35.00	00.00	25.00	0.00	0.00	50.00	40.00
QTZ.	23.00	10.00	25.00	55.00	2.00	60.00	23.00	16.00	40.00	5.00
CHL.	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	10.00
TAL.	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	6.00	0.00	0.00	15.00
FLA.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OXY.	0.00	10.00	5.00	0.00	6.00	0.00	0.00	9.00	5.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.00	100.00	100.00

Tableau 4 : Résultat de la diffractométrie des Ryons X (en %) dans:

	1) Les C2 de Bleïda					et les Carbonates de Bouzben				
	E18	E19	E12	D41	H3am	B28	FJLT	B34	3B131	3B10
CAL.	10.00	20.00	30.00	20.00	60.00	100.00	100.00	25.00	50.00	100.00
COL.	50.00	80.00	70.00	80.00	40.00	0.00	0.00	70.00	40.00	0.00
QTZ.	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	2.00	0.00
CHL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TAL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PLA.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OXY.	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

-153-

	2) Les C3 de Bleïda										et les C4 de Bleïda					
	G41a	3Gc	G73	G64	G46	D36	H16	KOUI	3Gd	G18	G41d	3G29	3G100	3G1a	3G2	D28
CAL.	51.00	62.00	59.00	15.00	56.00	72.00	42.00	70.00	72.00	65.00	40.00	40.00	63.00	63.00	80.00	40.00
COL.	1.00	0.00	0.00	56.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QTZ.	31.00	4.00	0.00	19.00	26.00	13.00	49.00	10.00	20.00	25.00	30.00	41.00	13.00	12.00	20.00	25.00
CHL.	0.00	17.00	19.00	9.00	10.00	0.00	5.00	5.00	7.00	5.00	20.00	14.00	19.00	11.00	0.00	0.00
TAL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PLA.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	21.00
OXY.	17.00	17.00	22.00	0.00	0.00	15.00	4.00	5.00	0.00	0.00	10.00	0.00	4.00	0.00	0.00	14.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	99.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.00	100.00	100.00	100.00	99.00	94.00	100.00	100.00

Tableau N° 5: Les éléments majeurs dans les carbonates C1 (ou listvénites) de Bleïda (en %)

REF	3G14	H24	E22	D1	H27	D14	H5	3G17	633A	H11	H9	D12	H6	D6
SiO2	12.67	21.35	42.75	27.95	30.46	41.05	37.41	4.55	20.84	14.06	22.47	46.90	78.53	33.45
Al2O3	0.32	1.13	0.38	0.53	2.05	0.24	1.03	0.00	0.35	1.05	3.19	0.37	1.25	0.26
Fe2O3	0.59	9.54	4.86	9.39	18.50	7.30	9.64	12.90	13.37	9.65	12.69	6.50	11.48	5.91
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	16.20	10.05	8.39	12.31	4.42	3.33	8.02	1.29	7.62	13.72	14.40	7.26	1.98	10.99
CaO	22.65	24.02	18.07	19.43	24.60	26.29	18.66	46.65	32.14	19.85	18.51	16.75	2.49	25.05
Na2O	0.00	0.00	0.02	0.03	0.40	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
TiO2														
MnO	1.45	1.03	0.79	0.82	0.80	0.23	0.79	1.28	0.45	1.40	0.76	0.47	0.14	0.20
P2O5														
H2O+	35.64	31.09	23.33	28.76	19.33	20.65	24.00	35.01	25.24	39.20	26.85	21.01	3.27	23.00
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	97.68	98.40	98.65	99.31	100.76	99.31	100.78	102.65	100.25	99.12	99.02	99.31	99.14	98.86

Tableau N° : Les éléments majeurs dans les carbonates C2 de Bleïda et ceux de Bouzben (en %)

REF	C2 de Bleïda					carbonates de Bouzben				
	H3AM	E19	E12	D41	E18	3B131	B34	B28	FJLT	3B10
SiO2	1.01	0.00	1.63	0.70	6.54	3.04	0.77	2.09	2.83	5.06
Al2O3	0.05	0.05	0.20	0.04	0.02	0.00	0.05	0.17	0.09	0.46
Fe2O3	5.40	2.30	6.52	5.19	3.49	4.49	0.45	1.30	0.19	1.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	17.71	19.50	17.62	15.77	16.86	11.22	17.13	0.51	0.21	2.54
CaO	31.86	30.20	36.02	33.00	29.23	38.20	34.67	53.26	53.26	52.34
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO2										
MnO	1.85	1.13	2.24	2.02	1.00	1.42	1.00	0.62	0.31	0.42
P2O5										
H2O+	42.09	46.85	36.44	44.02	42.68	41.00	45.74	41.75	42.16	37.45
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	100.05	100.34	100.79	100.83	99.92	99.37	99.81	99.70	100.52	99.77

Tableau N°6 : Les éléments majeurs dans les différents listvénites (en %) de:

REF	Bou-Azzer			ArouliN'Azzougar			Ambed I	
	L2	L5	L11	B14	B15	B16	3B37	3B39
SI02	31.07	16.76	18.11	52.63	5.65	57.53	23.05	23.86
AL203	0.60	0.21	0.18	0.56	0.12	3.55	0.45	0.25
FE203	3.07	5.53	6.63	2.56	7.09	2.06	2.71	12.95
FE0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGO	13.81	16.86	16.64	8.14	18.22	5.59	1.25	0.85
CAO	19.34	23.61	22.35	12.80	26.69	12.51	39.46	34.16
NA2O	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.00
K2O	0.02	0.02	0.00	0.12	0.00		0.01	0.00
TI02								
MNO	0.66	0.67	0.64	0.59	0.63	0.36	0.38	0.30
P2O5								
H2O+	30.39	37.10	35.14	21.46	40.66	16.60	31.09	26.85
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	99.87	100.85	99.86	99.05	99.14	99.33	98.49	99.46

Tableau N°7 : Les éléments majeurs dans les carbonates C3 de Bleïda (en %)

REF	36C	D36	641A	646	641D	664	KOU1	673	36D	618	H16
SiO2	13.59	16.97	32.93	32.65	32.75	26.45	15.00	20.26	19.26	25.03	45.60
Al2O3	1.23	2.79	2.88	0.87	4.30	5.37	1.58	1.28	0.93	3.72	1.29
Fe2O3	0.94	2.64	4.19	5.39	6.78	8.05	13.26	1.61	1.20	2.57	2.83
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	6.68	1.22	0.23	1.42	5.22	8.44	3.39	10.53	2.95	3.38	1.73
CaO	41.89	43.20	31.18	32.53	26.24	24.00	31.86	36.22	42.40	36.00	25.60
Na2O	0.00	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.81	0.00	0.02	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO2											
MnO	0.50	0.25	0.64	0.41	0.44	0.85	1.28	0.41	0.43	0.39	0.52
P2O5											
H2O+	34.64	31.50	26.55	25.56	23.18	25.55	29.23	28.45	33.30	28.21	23.00
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	99.76	99.05	99.87	99.21	99.20	99.06	96.30	98.90	100.00	99.30	100.57

Tableau N°7bis : Les éléments majeurs dans les C4 de Bleïda (en %)

REF	36100	629	362	361A	D28
SiO2	17.86	52.15	5.06	14.53	40.30
Al2O3	1.86	5.59	0.46	2.35	5.85
Fe2O3	4.57	1.04	1.00	1.63	6.45
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	2.50	3.87	2.54	1.28	0.04
CaO	37.78	18.75	52.34	43.84	24.40
Na2O					
K2O	0.03	0.30	0.00	0.00	0.00
TiO2					
MnO	0.31	0.15	0.42	0.25	0.20
P2O5					
H2O+	31.81	16.03	37.45	35.00	18.44
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	100.34	100.50	99.97	98.88	106.64

Tableau N° 8 : Les éléments en traces dans les carbonates C1 de Bleïda (en μ g/g)

Ref. Elem.	3G14	G33a	H24	E22	D11	H27	D14	H5	3G17	H11	H9	D6	H6	D12
LI	50.00	30.00	30.00	5.00	14.00	30.00	50.00	30.00	80.00	20.00	180.00	15.00	10.00	5.00
BE	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.10
B	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	3.00	3.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00
F	15.00	75.00	15.00	15.00	10.00	30.00	10.00	10.00	20.00	15.00	40.00	30.00	5.00	5.00
NA	100.00	150.00	100.00	100.00	100.00	50.00	40.00	80.00	40.00	100.00	100.00	50.00	200.00	30.00
P	5.00	30.00	15.00	10.00	3.00	10.00	6.00	10.00	40.00	20.00	10.00	20.00	5.00	1.00
S	70.00	80.00	160.00	30.00	40.00	180.00	0.00	40.00	70.00	30.00	40.00	20.00	10.00	10.00
CL	30.00	10.00	40.00	80.00	90.00	40.00	10.00	50.00	20.00	230.00	200.00	3.00	300.00	10.00
K	80.00	200.00	20.00	20.00	15.00	20.00	10.00	100.00	25.00	90.00	50.00	15.00	10.00	10.00
SC	3.00	6.00	3.00	3.00	2.00	10.00	10.00	4.00	20.00	5.00	10.00	3.00	6.00	2.00
TI	30.00	70.00	35.00	20.00	40.00	75.00	30.00	10.00	70.00	90.00	170.00	10.00	50.00	4.00
V	10.00	15.00	10.00	10.00	10.00	120.00	20.00	30.00	70.00	25.00	40.00	10.00	20.00	6.00
CP	1100.00	900.00	1220.00	1000.00	850.00	1400.00	700.00	350.00	800.00	1100.00	5200.00	100.00	1200.00	200.00
CO	15.00	30.00	20.00	10.00	5.00	10.00	20.00	2.00	10.00	25.00	50.00	10.00	6.00	5.00
NI	120.00	350.00	100.00	100.00	260.00	110.00	320.00	50.00	60.00	500.00	900.00	260.00	160.00	50.00
CU	3.00	6.00	0.00	1.00	1.00	20.00	2.00	0.00	5.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZN	10.00	110.00	5.00	60.00	75.00	115.00	45.00	0.00	20.00	40.00	200.00	0.00	200.00	0.00
GA	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
AS	5.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	10.00	40.00	15.00	5.00	1.00	1.00	1.00
BR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
RB	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SR	80.00	25.00	20.00	10.00	15.00	30.00	50.00	10.00	10.00	60.00	40.00	10.00	3.00	6.00
Y	1.00	1.00	5.00	5.00	4.00	12.00	3.00	1.00	30.00	5.00	10.00	0.20	0.25	1.00
ZR	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RA	15.00	100.00	15.00	3.00	10.00	170.00	10.00	40.00	30.00	6.00	10.00	30.00	20.00	6.00
FB	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 9 : Les éléments en traces dans les carbonates de : (en µg/g)

Ref. Elem.	Bou-Azzer			Aroulin'Azougar			Ambed I					Bou-Azzer Est	
	L2	L5	L11	B14	B15	B16	3B37	3B39	46	47	48	L17	L18
LI	300.00	100.00	20.00	210.00	100.00	70.00	2.00	150.00	10.00	10.00	10.00	40.00	90.00
BE	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	5.00	1.00	2.00	4.00	2.00	1.00	1.00
B	5.00	3.00	1.00	2.00	4.00	15.00	10.00	10.00	1.00	6.00	1.00	5.00	5.00
F	20.00	10.00	5.00	5.00	30.00	30.00	820.00	40.00	3.00	400.00	10.00	10.00	0.00
NA	160.00	500.00	400.00	40.00	120.00	500.00	100.00	500.00	400.00	400.00	500.00	60.00	40.00
P	10.00	10.00	5.00	5.00	30.00	30.00	200.00	5.00	2.00	30.00	10.00	10.00	80.00
S	50.00	100.00	10.00	20.00	40.00	40.00	110.00	15.00	0.00	100.00	40.00	0.00	45.00
CL	100.00	200.00	160.00	20.00	200.00	60.00	170.00	120.00	50.00	0.00	150.00	30.00	15.00
K	500.00	520.00	20.00	1100.00	30.00	6000.00	10.00	80.00	30.00	100.00	200.00	40.00	3000.00
SC	5.00	2.00	10.00	5.00	10.00	20.00	20.00	5.00	1.00	3.00	3.00	2.00	3.00
TI	25.00	20.00	15.00	20.00	50.00	300.00	30.00	10.00	2.00	4.00	20.00	2.00	220.00
V	10.00	10.00	10.00	5.00	30.00	10.00	3300.00	10.00	3.00	10.00	10.00	5.00	30.00
CR	1500.00	900.00	500.00	20.00	4000.00	2000.00	20.00	900.00	500.00	1100.00	700.00	1650.00	20.00
CO	100.00	10.00	10.00	10.00	100.00	10.00	310.00	5.00	2.00	100.00	10.00	10.00	10.00
NI	2000.00	50.00	50.00	200.00	250.00	200.00	660.00	900.00	50.00	700.00	200.00	40.00	20.00
CU	2.00	200.00	10.00	20.00	3.00	20.00	100.00	300.00	20.00	1200.00	15.00	10.00	10.00
ZN	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	30.00	15.00	0.00	110.00	0.00
GA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00
AS	160.00	15.00	20.00	30.00	30.00	10.00	30.00	120.00	20.00	6.00	130.00	5.00	40.00
BR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
RB	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00
SR	100.00	30.00	20.00	10.00	20.00	10.00	110.00	100.00	10.00	20.00	35.00	5.00	20.00
Y	3.00	10.00	10.00	10.00	60.00	10.00	10.00	5.00	1.00	1.00	5.00	2.00	10.00
ZR	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
MO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
BA	10.00	5.00	2.00	20.00	20.00	30.00	10.00	25.00	0.30	10.00	60.00	10.00	1000.00
PB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau N°10 : Les éléments en traces dans les carbonates C2 de Bleïda et ceux de Bouzben (en µg/g)

REF	C2 de Bleïda					Carbonates de Bouzben				
	H3am	E19	E12	E18	D41	3B131	B34	B28	FJLT	3B10
Elément										
LI	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	5.00	5.00
BE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10
B	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	5.00	0.00	2.00	50.00	1.00
F	10.00	5.00	20.00	10.00	10.00	5.00	2.00	4.00	15.00	5.00
NA	300.00	400.00	40.00	100.00	100.00	40.00	100.00	200.00	40.00	30.00
P	2.00	4.00	20.00	3.00	5.00	10.00	2.00	15.00	20.00	1.00
S	50.00	45.00	50.00	30.00	30.00	35.00	100.00	100.00	100.00	10.00
CL	320.00	300.00	240.00	240.00	100.00	15.00	100.00	100.00	100.00	10.00
K	70.00	45.00	10.00	45.00	35.00	10.00	15.00	50.00	10.00	10.00
SC	30.00	45.00	20.00	60.00	50.00	20.00	7.00	3.00	10.00	2.00
TI	10.00	10.00	0.00	10.00	10.00	35.00	15.00	20.00	30.00	4.00
V	5.00	1.00	2.00	0.00	1.00	10.00	0.30	10.00	20.00	6.00
CR	5.00	2.00	2.00	10.00	12.00	10.00	10.00	10.00	900.00	200.00
CO	20.00	1.00	20.00	1.00	2.00	20.00	1.00	5.00	50.00	5.00
NI	10.00	3.00	5.00	6.00	10.00	10.00	5.00	10.00	700.00	50.00
CU	3.00	2.00	5.00	1.00	10.00	10.00	0.20	200.00	0.00	1.00
ZN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
GA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AS	0.00	10.00	10.00	5.00	3.00	5.00	6.00	10.00	5.00	1.00
BR	3.00	2.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00
RB	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
SR	40.00	30.00	80.00	30.00	20.00	40.00	30.00	10.00	10.00	6.00
Y	30.00	11.00	20.00	25.00	15.00	20.00	3.00	20.00	2.00	1.00
IR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	20.00	2.00	20.00	1.00	3.00	20.00	1.00	1000.00	5.00	6.00
PB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Tableau N° 11 : Les éléments en traces dans les carbonates C3 de Bleïda (en µg/g)

N° d'éch. Elément	3GC	D36	G41a	G41d	KOUI	G46	G64	G73	3Gd	G18
LI	25.00	10.00	100.00	130.00	15.00	40.00	100.00	20.00	20.00	170.00
RE	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50
B	12.00	2.00	50.00	10.00	5.00	1.00	1.00	2.00	1.00	25.00
F	60.00	10.00	120.00	80.00	40.00	25.00	50.00	60.00	70.00	30.00
NA	100.00	200.00	300.00	40.00	400.00	20.00	300.00	300.00	100.00	500.00
P	220.00	20.00	300.00	115.00	100.00	370.00	300.00	200.00	500.00	400.00
S	70.00	10.00	100.00	30.00	550.00	30.00	50.00	60.00	50.00	100.00
CL	20.00	10.00	30.00	15.00	50.00	30.00	60.00	20.00	100.00	40.00
K	40.00	40.00	4000.00	60.00	3400.00	10.00	40.00	80.00	20.00	400.00
SC	3.00	2.00	10.00	10.00	5.00	2.00	2.00	5.00	2.00	5.00
TI	300.00	400.00	1100.00	450.00	300.00	100.00	100.00	200.00	250.00	800.00
V	5.00	10.00	50.00	15.00	15.00	10.00	3.00	10.00	5.00	20.00
CR	10.00	10.00	50.00	30.00	15.00	25.00	10.00	40.00	20.00	20.00
CO	0.00	10.00	30.00	10.00	5.00	5.00	2.00	0.00	1.00	20.00
NI	15.00	5.00	20.00	10.00	20.00	5.00	3.00	10.00	2.00	20.00
CU	10.00	2.00	20.00	5.00	12000.00	5.00	5.00	5.00	20.00	20.00
ZN	12.00	0.00	20.00	0.00	20.00	10.00	0.00	0.00	10.00	50.00
GA	0.00	10.00	10.00	10.00	2.00	1.00	0.00	0.00	2.00	5.00
AS	3.00	1.00	20.00	4.00	1.00	5.00	3.00	3.00	1.00	2.00
BR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RB	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
SR	80.00	520.00	80.00	40.00	20.00	70.00	20.00	70.00	40.00	100.00
Y	1.00	14.00	10.00	10.00	5.00	2.00	3.00	2.00	2.00	5.00
ZR	2.00	0.00	20.00	10.00	2.00	1.00	2.00	3.00	2.00	10.00
NP	0.00	0.00	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
MO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
SN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	15.00	5.00	840.00	15.00	80.00	50.00	30.00	10.00	10.00	10.00
PB	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

Tableau N° 12: Les éléments en traces dans les carbonates C4 de Bleïda (en µg/g)

Ref. Elem.	3G100	G29	3G2	D28	3G1a
LI	50.00	35.00	5.00	10.00	15.00
BE	0.00	3.00	0.00	0.10	0.20
B	3.00	10.00	2.00	3.00	20.00
F	20.00	35.00	20.00	15.00	20.00
NA	150.00	M	M	500.00	M
P	110.00	150.00	300.00	160.00	100.00
S	130.00	55.00	130.00	10.00	20.00
CL	40.00	20.00	20.00	25.00	20.00
K	40.00	M	30.00	500.00	M
SC	10.00	10.00	2.00	10.00	10.00
TI	500.00	500.00	100.00	1700.00	1500.00
V	40.00	10.00	10.00	50.00	15.00
CR	110.00	10.00	10.00	70.00	15.00
CO	20.00	10.00	10.00	1.00	2.00
NI	80.00	10.00	15.00	3.00	10.00
CU	M	45.00	10.00	1.00	230.00
ZN	30.00	0.00	0.00	5.00	5.00
GA	5.00	10.00	0.00	5.00	1.00
AS	5.00	1.00	1.00	1.00	0.00
BR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RB	1.00	0.00	0.00	0.30	1.00
SR	100.00	50.00	40.00	30.00	200.00
Y	3.00	5.00	5.00	1.00	3.00
ZR	15.00	30.00	2.00	3.00	4.00
NB	1.00	2.00	0.00	0.20	0.10
MO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AG	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	0.00	1.00	0.00	0.10	0.00
BA	10.00	100.00	0.00	50.00	300.00
PB	3.00	1.00	0.00	3.00	0.00

Tableau 13 :Teneurs en Terres rares dans les carbonates Cl de Bleïda en $\mu\text{g/g}$

	H11	E22	H24	H27	H9	3G14	H5	D11	3G17
LA	15.00	4.00	2.30	6.00	3.00	6.00	1.40	1.00	3.40
CE	4.00	7.00	4.00	9.00	9.00	7.00	4.00	2.00	14.00
PR	0.50	0.50	1.00	1.20	1.00	0.60	0.50	0.30	2.30
ND	2.00	2.00	3.00	5.00	5.00	1.70	2.30	1.00	6.00
SM	0.50	1.00	1.00	1.20	2.00	1.00	0.35	0.50	2.00
EU	0.20	0.50	0.30	0.40	0.50	0.10	0.10	0.10	0.60
GD	0.50	1.00	1.00	1.24	2.00	0.60	0.20	0.20	1.00
TB	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.03	0.04	0.03	0.10
DY	0.30	0.50	0.40	1.00	1.30	0.02	0.16	0.20	1.00
HO	0.10	0.05	0.04	0.20	0.30	< 0.01	\leq 0.04	\leq 0.02	0.10
ER	0.20	0.10	0.20	0.30	0.50	0.00	\leq 0.06	\leq 0.01	0.10
TM	0.05	\leq 0.03	< 0.01	0.03	\leq 0.05	0.00	\leq 0.01	0.00	\leq 0.06
YB	\leq 0.10	0.00	< 0.04	0.50	\leq 0.30	0.00	0.00	0.00	\leq 0.14
LU	\leq 0.05	0.00	< 0.01	0.50	< 0.01	0.00	0.00	0.00	\leq 0.03
TOTAL	23.60	16.78	13.40	26.77	25.16	17.06	9.16	5.36	30.83

N.B:Les échantillons qui ne sont pas indiqués dans ces tableaux ont des teneurs en Terres rares inférieures à la limite de détection (l.d)
 - Les teneurs notées 0.00 indiquent que l'élément est $<$ à la l.d

Tableau 14 : Teneurs en Terres rares (en $\mu\text{g/g}$) dans les roches carbonatées de :

	Bou-Azzer			A.N'Azougar		Ambed I					Bou-Azzer Est	
	L2	L5	L11	B14	B16	3B39	3B37	46	48	47	L17	L16
LA	1.00	5.00	4.00	1.00	2.00	7.60	2.50	0.70	6.00	1.00	0.20	0.20
CE	3.40	15.00	13.00	2.50	5.00	19.50	6.00	1.30	17.00	4.00	0.80	1.00
PR	0.50	1.50	1.00	0.60	1.00	2.60	1.00	0.20	2.00	0.30	0.10	0.00
ND	2.50	5.50	5.00	1.60	4.00	13.00	4.00	1.00	5.00	1.00	0.40	0.00
SM	0.70	2.50	2.00	1.00	2.00	1.00	2.50	0.20	0.50	0.00	0.30	0.00
EU	0.30	0.40	0.20	0.20	0.50	0.50	1.00	0.06	0.10	0.00	0.10	0.00
GD	0.50	3.00	1.00	0.50	2.00	1.10	2.00	0.20	0.50	0.00	0.20	0.00
TR	0.05	0.20	0.10	0.07	0.20	0.20	0.20	0.01	0.10	0.00	0.03	0.00
DY	0.03	2.00	1.00	1.10	1.00	1.00	1.00	0.06	0.30	0.00	0.13	0.00
HO	0.01	0.20	0.10	0.07	0.20	0.20	0.20	0.30	0.10	0.00	0.03	0.00
ER	0.00	< 1.00	0.20	0.40	0.10	< 0.30	0.10	0.00	0.00	0.00	< 0.10	0.00
TM	0.00	< 0.04	< 0.03	< 0.04	< 0.06	< 0.02	< 0.06	0.00	0.00	0.00	< 0.02	0.00
YB	0.00	< 0.20	< 0.10	< 0.20	< 0.50	0.00	< 0.60	0.00	0.00	0.00	< 0.03	0.00
LU	0.00	< 0.02	< 0.04	< 0.04	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	8.99	36.56	27.77	9.32	18.58	47.82	21.18	4.03	31.60	6.30	2.44	1.20

Tableau 15 : Teneurs en Terres rares (en $\mu\text{g/g}$) dans:

	Les C2 de Bleida				et les carb. de Bouzben		
	E12	E18	D41	H3aN	FJLT	B28	3B10
LA	2.00	6.00	2.50	20.00	4.00	2.00	0.30
CE	6.00	15.00	5.40	40.00	8.00	3.00	1.00
FR	0.50	1.50	0.80	4.00	1.30	0.50	0.10
ND	5.00	7.50	3.40	8.00	5.50	3.00	0.80
SM	2.00	2.00	1.20	2.00	3.00	1.40	0.10
EU	1.00	0.50	0.40	1.00	1.00	1.00	0.10
GD	2.00	2.00	1.50	1.00	3.00	3.00	0.40
TB	0.30	0.40	0.20	0.20	0.50	1.00	0.10
DY	1.60	3.00	1.16	0.60	2.00	0.00	0.40
HQ	1.30	0.70	0.40	0.40	0.50	0.30	0.10
ER	3.00	2.60	0.70	1.80	1.00	3.00	0.40
TM	0.10	0.50	0.20	0.30	< 0.10	0.00	0.06
YP	1.20	4.00	0.70	0.60	< 0.20	2.00	0.50
LU	0.20	0.50	0.30	0.20	< 0.05	0.30	0.10
TOTAL	26.20	46.20	19.86	80.10	30.15	20.50	4.46

Tableau 16 : Teneurs en Terres rares (en $\mu\text{g/g}$) dans :

	Les C3 de Bleïda				et	les C4 de Bleïda		
	G41d	G64	KOUI	G46		3G100	3G1a	D28
LA	4.00	2.30	3.10	2.00	2.00	6.50	0.60	
CE	7.00	9.30	5.00	8.00	3.00	25.00	1.30	
PR	1.00	2.00	1.00	2.10	0.50	0.70	0.13	
ND	6.00	6.00	3.00	6.20	1.50	6.00	0.50	
SM	1.40	2.00	1.20	2.20	0.70	1.00	0.24	
EU	0.40	0.30	0.40	0.40	0.06	0.50	0.04	
GD	2.45	0.60	1.10	0.70	0.10	0.00	0.00	
TB	0.20	0.06	0.05	0.06	0.10	0.00	0.00	
DY	1.20	0.70	0.75	0.00	0.40	0.00	0.00	
HO	0.10	0.20	0.20	0.30	0.03	0.00	0.00	
ER	0.00	0.40	0.50	0.50	0.10	0.00	0.00	
TM	0.10	0.04	0.05	0.05	0.10	0.00	0.00	
YB	0.60	0.40	0.10	0.50	0.00	0.00	0.00	
LU	0.10	0.04	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	
TOTAL	25.35	23.34	16.49	23.86	8.59	39.70	2.81	

Tableau N°17: A.C.P.N.-les éléments majeurs

Facteurs- Variables	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SI	-0.9494	-0.2172	-0.1583	-0.1387	0.0369	0.0767
FE	0.0462	-0.5480	0.8144	0.1833	0.0190	0.0193
MB	0.6839	-0.6307	-0.4142	0.2092	-0.1477	0.0268
CA	0.4327	0.8479	0.2712	-0.0199	-0.1333	0.0471
MM	0.7616	-0.4170	0.1293	-0.4789	-0.0143	0.0032
PF	0.2450	0.1595	-0.1617	0.1133	0.2031	0.0349
%de variance	43.8083	27.7258	16.2668	5.6460	1.3793	0.1737

Tableau N°18 : Eléments en traces associés aux éléments majeurs (A.C.F.N.)

Facteur Variable	F1	F2	F3	F4	F5
SI	0.5116 I	0.4720 I	0.5210 I	-0.0357 I	0.2318 I
AL	0.3026 I	0.5027 I	0.2519 I	-0.3178 I	0.0607 I
FE	0.1219 I	0.6024 I	-0.6591 I	-0.1946 I	-0.1126 I
MG	-0.4643 I	0.4269 I	-0.0025 I	-0.0363 I	0.3594 I
CA	-0.3385 I	-0.0517 I	0.0592 I	0.1594 I	-0.2619 I
MN	0.0502 I	0.6353 I	-0.6567 I	0.2085 I	-0.3120 I
P2	0.1526 I	-0.7043 I	0.3406 I	0.3349 I	-0.1531 I
PF	-0.3713 I	-0.7100 I	-0.2262 I	0.2629 I	-0.1067 I
LI	0.5730 I	0.3101 I	0.3365 I	0.0520 I	0.2699 I
B	0.0693 I	0.0164 I	0.2252 I	0.2382 I	-0.2555 I
F	0.5093 I	0.4163 I	0.2415 I	0.2704 I	-0.0112 I
NA	0.2978 I	0.1286 I	-0.2965 I	0.2464 I	-0.3419 I
P	-0.0032 I	0.0050 I	0.3953 I	0.0715 I	0.1751 I
S	0.0972 I	0.1050 I	-0.0935 I	0.1326 I	-0.3096 I
CL	-0.1785 I	0.0059 I	-0.2053 I	0.7100 I	0.1232 I
K	0.6512 I	0.2383 I	-0.4173 I	0.1070 I	-0.5060 I
SC	0.7972 I	-0.0294 I	-0.1930 I	-0.3021 I	0.3496 I
TI	0.9030 I	-0.2336 I	0.1332 I	0.0750 I	-0.2030 I
V	0.9192 I	-0.2090 I	-0.1736 I	-0.0570 I	0.0007 I
CR	0.4024 I	-0.4534 I	-0.3001 I	-0.1796 I	0.5929 I
CG	0.9302 I	-0.2056 I	0.0474 I	-0.0715 I	-0.0376 I
NI	0.3989 I	-0.5343 I	-0.5297 I	-0.1643 I	0.4712 I
CU	0.1433 I	-0.2516 I	-0.9160 I	-0.1415 I	0.1024 I
ZN	0.4800 I	-0.4093 I	-0.2570 I	0.4263 I	0.0760 I
AS	0.0420 I	0.0660 I	0.1923 I	0.0036 I	-0.0619 I
SR	-0.1370 I	-0.5114 I	0.2710 I	-0.5357 I	-0.5450 I
Y	0.4163 I	-0.0117 I	0.2442 I	-0.0063 I	-0.5303 I
Zr	0.9405 I	-0.1495 I	-0.0023 I	-0.0104 I	0.2700 I
BA	0.0146 I	0.1146 I	0.1149 I	0.1734 I	-0.3042 I
% de variance	31.0007 I	16.5479 I	15.1047 I	10.2090 I	9.0290 I

A N N E X E S II:

Planches photos

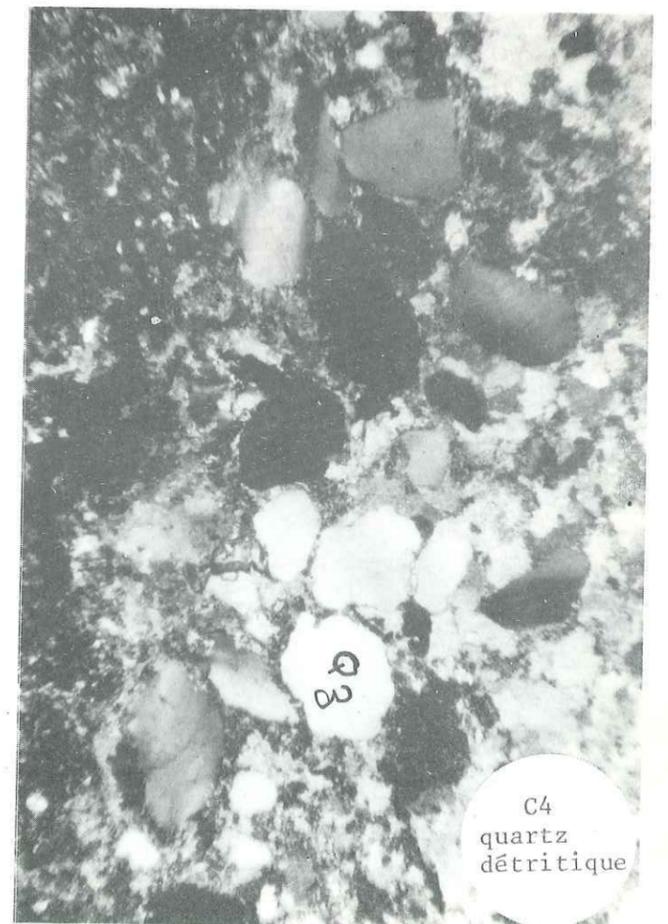
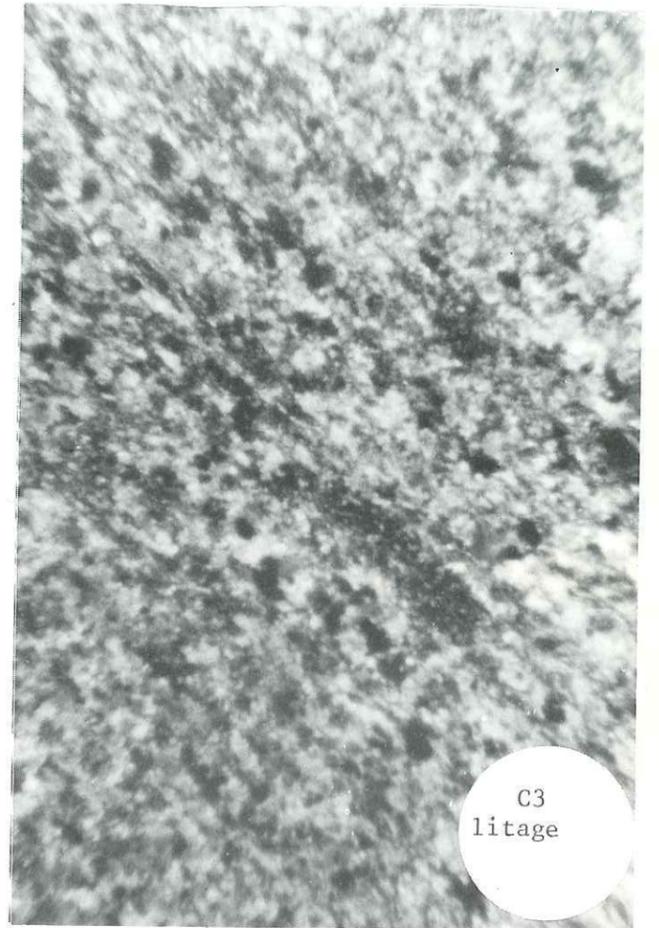
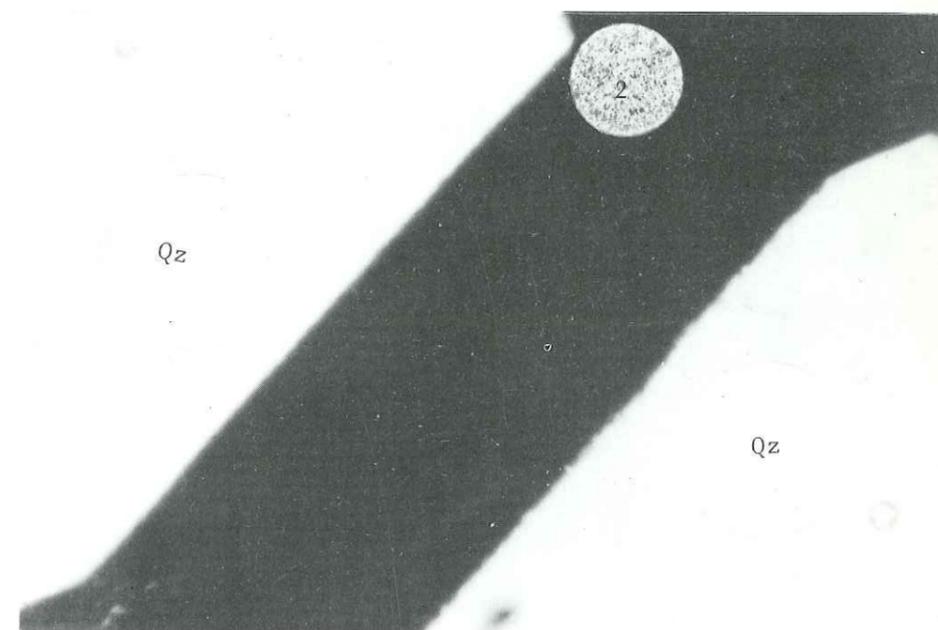


Planche 2:
Variation microscopique
des carbonates C2 de la
périphérie vers le coeur
d'un filon

1= Filon de type C2



2= Carbonates brun foncé
du bord du filon
(Qz=Cristal de quartz)



3= carbonates brun clair
vers le coeur du filon

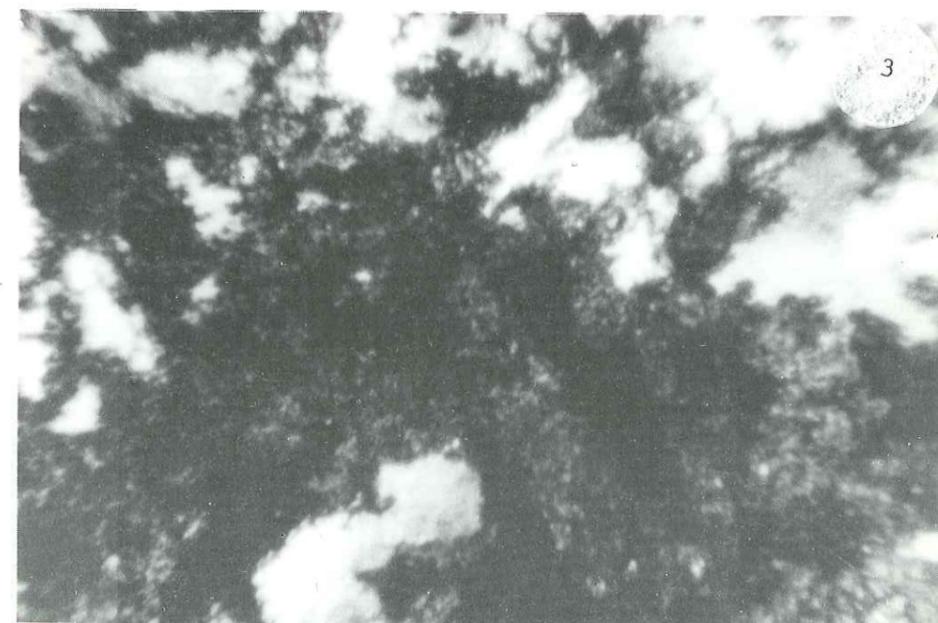


Planche 3:
Vue générale des roches
carbonatées de Bleïda

1= Les carbonates C1



2= Les carbonates C3

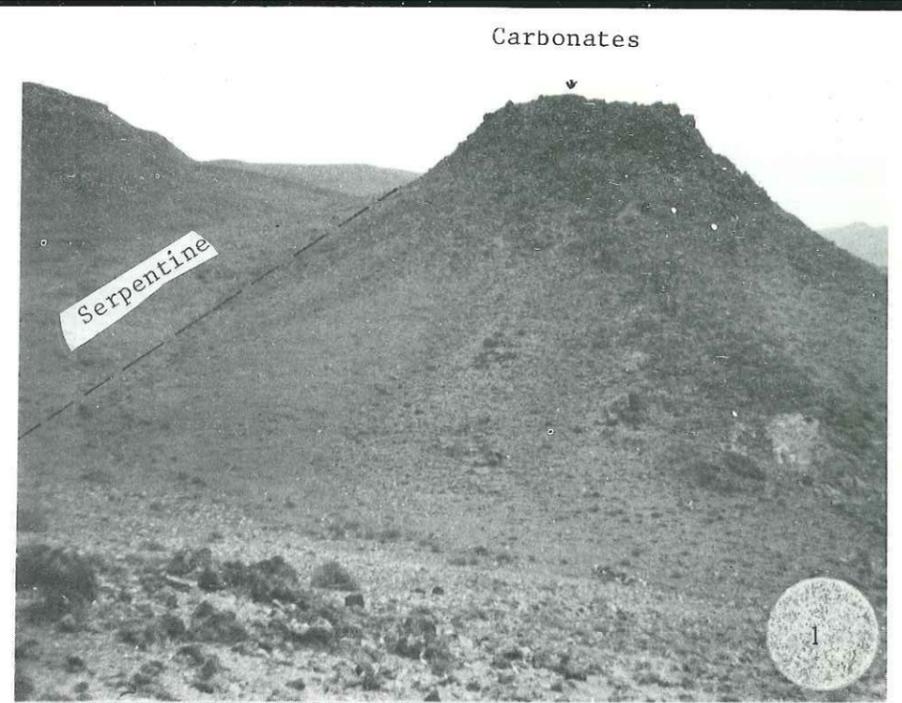


3= Les carbonates C4

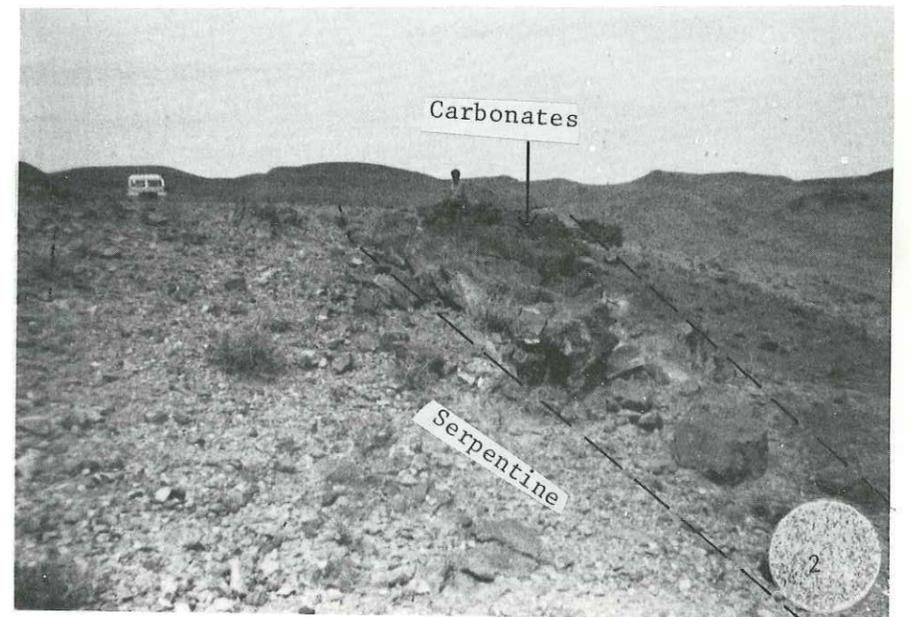


Planche 4:
Roches carbonatées de:

Mokhazni



Mechoui



Bouzben

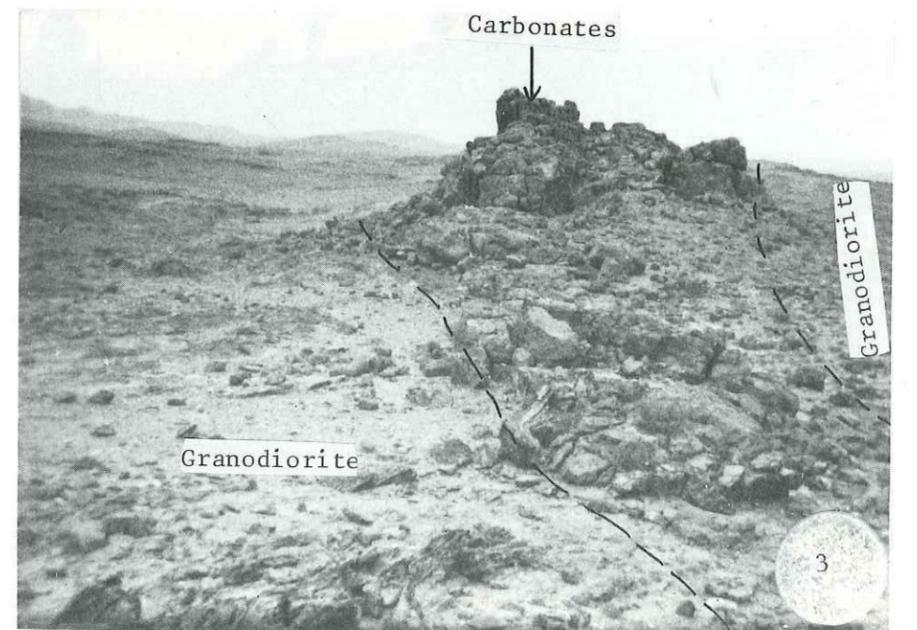
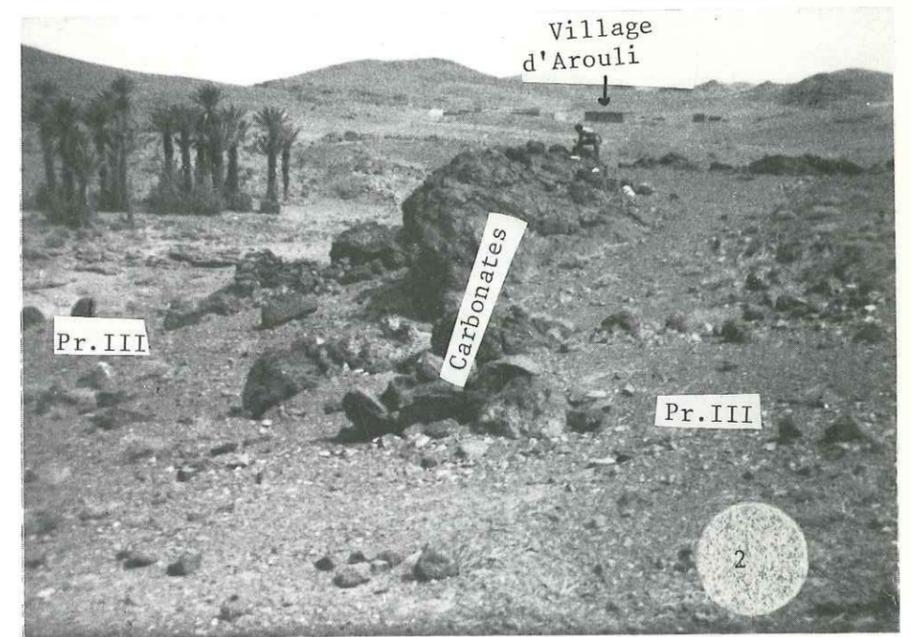


Planche 5:
Roches carbonatées de:

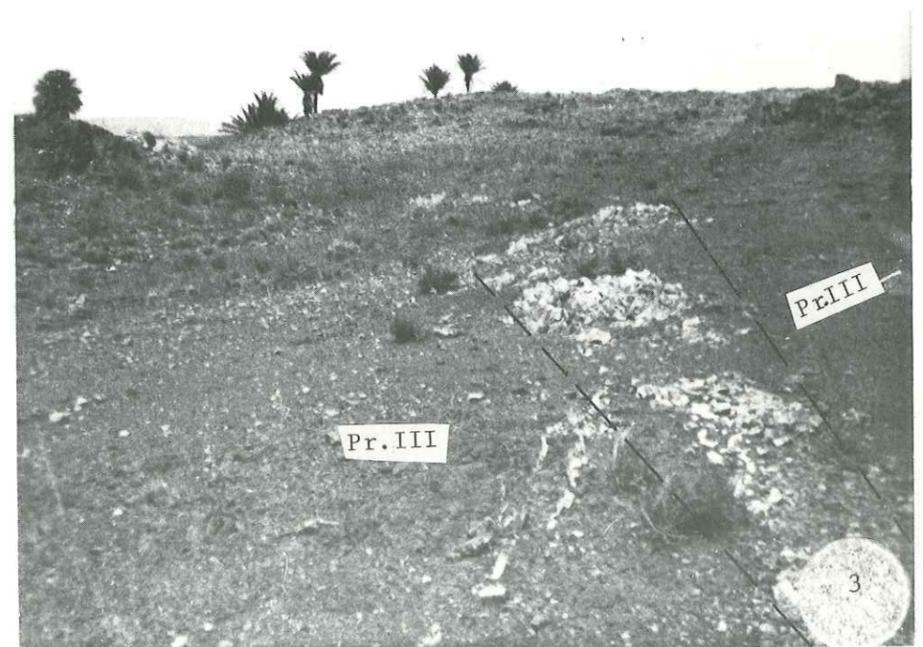
Bou-Azzer Est



Arouli N'Azougar



Arouli N'Azougar



23 JUIN 1986

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
1 RUE MAURICE GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

RÉSUMÉ

Différents types de roches carbonatées se trouvent dans les formations géologiques précambriennes du district minier de Bou-Azzer-Bleïda. Il s'agit de filons hydrothermaux ou de niveaux sédimentaires.

L'utilisation de différentes méthodes d'analyses (dont la Spectrométrie de Masse à étincelles) permet de dresser l'inventaire des éléments majeurs et en traces y compris les Terres Rares dans ces différentes roches carbonatées. L'étude particulière de la répartition des Terres Rares dans ces matériaux a permis de caractériser les différents processus hydrothermaux et leur variation, en particulier la genèse des listvénites par carbonisation hydrothermale des serpentines; elle a permis également de proposer une origine sédimentaire pour le niveau "repère" carbonaté situé au mur du niveau porteur de la minéralisation cuprifère de Bleïda.

L'identité des listvénites de la région de Bleïda et leur similitude avec celles de Bou-Azzer ont été confirmées par leurs caractères géochimiques.

Les teneurs en quelques éléments (Terres Rares en particulier) semblent évoluer à l'approche des zones minéralisées en cuivre dans la région de Bleïda et en cobalt dans la région de Bou-Azzer et nous proposons d'utiliser cet outil pour mieux comprendre les processus de formation de ces minéralisations.

MOTS CLEFS

Géochimie, élément en traces, Terres Rares, filon hydrothermale, carbonates, listvénites, serpentines, minéralisations, cobalt, cuivre, Bleïda, Bou-Azzer, Anti-Atlas, Maroc.