HAL
open science

L'ancien gisement d'argent d'Imiter (Djebel Sarhro, Maroc)

Jacques Grappe

To cite this version:

Jacques Grappe. L'ancien gisement d'argent d'Imiter (Djebel Sarhro, Maroc). Géochimie. Université Claude Bernard - Lyon I, 1976. Français. NNT : . tel-01067205

HAL Id: tel-01067205

https://theses.hal.science/tel-01067205

Submitted on 23 Sep 2014

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.

N° D'ORDRE : 507 1976

THESE

PRESENTEE A

L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR INGENIEUR

PAR

JACQUES GRAPPE

Ingénieur civil des Mines

L'ANCIEN GISEMENT D'ARGENT D'IMITER (DJEBEL SARHRO, MAROC)

SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 11 MARS 1976

DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

MM.	M. CHENEVOY	PRESIDENT
	BOUCHTA	
	P. MICHEL	EXAMINATEURS
	H. PELISSONNIER	
	L. VIELLEDENT	

N° D'ORDRE : 507 1976

THESE

PRESENTEE A

L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR INGENIEUR

PAR

JACQUES GRAPPE

Ingénieur civil des Mines

L'ANCIEN GISEMENT D'ARGENT D'IMITER (DJEBEL SARHRO, MAROC)

SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 11 MARS 1976

DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

MM.	M. CHENEVOY	PRESIDENT
	BOUCHTA	
	P. MICHEL	EXAMINATEURS
	H. PELISSONNIER	
	L. VIELLEDENT	

LABORATOIRES DE GEOLOGIE

ECOLE DES MINES

SAINT-ETIENNE - PARIS

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse, tant au niveau du terrain que du laboratoire, de la rédaction et de l'impression.

Je pense en particulier :

à M. PELISSONNIER qui m'a fait bénéficier de ses conseils amicaux.

M. CHENEVOY qui a accepté de diriger cette étude.

M. VIELLEDENT qui a bien voulu aplanir des difficultés matérielles parfois considérables.

MM. BOUCHTA et MICHEL qui ont accepté de faire partie du jury.

Dans le cadre de l'école des Mines de Saint-Etienne :

à MM. FONTEILLES et DAVOINE

MM. BAUD, BRAYET et LOUBET

Mmes. COLLY et AVONDO

Dans le cadre du laboratoire de géologie des Mines de Paris :

à MM. BOULADON, PICOT, SERMENT, LAUZAC, PHAN

Mlles. FORETTE, KUMER et Mme DROUARD

Mes amis de 4ème année "SHIB" BLOUIN, A. LESAVRE et H. BRIL ainsi que tous les pensionnaires de l'Annexe, à temps plein ou à occupation accessoire.

Dans le cadre des études au Maroc :

au Personnel et à la Direction de l'OMNIUM NORD AFRICAIN et du BRPM.

à MM. CHERIF, BOUTELOUP, CHAMPALLE, SANCHEZ, MATHIRON.

et à tout le personnel de la mine d'IMITER, à MM. ARNAUDEAU, CUVELLIER, avec lesquels, j'ai pu partager les joies et les peines de la vie d'une "petite mine chaleureuse".

à M. LANTAHRI de la Direction des Mines.

RÉSUMÉ

. Des recherches d'extensions ont été entreprises sur les anciens travaux (10ème siècle) du gisement d'IMITER (DJEBEL SARHO - ANTI ATLAS - MAROC) - Les minéralisations s'inscrivent dans deux séries précambriennes.

- Une série du PII de type flysh à caractère de turbidites distales avec bancs de schistes pyriteux et coulées andésitiques interstratifiées, affectée d'un plissement isoclinal N 80° - 80°N, et légèrement métamorphisée par l'intrusion de deux massifs granodioritiques tardi P II.

- Une série du P II- III de type flysh grossier débutant par 15 mètres de tufs et reposant en discordance sur la série précédente (N 50° 30°N).

Des dykes de roches filoniennes (keratophyres et andésites) recoupent les séries P II et P II-III. Un complexe volcanique P III se trouve en contact faillé avec le P II et le P II -III au Nord du domaine minier.

. Les corps minéralisés à faciès en stockwerks, alignés sur des directions E-W montrent un contrôle structural net par deux directions EW et NS. Dans les schistes du P II, les bancs pyriteux exercent un contrôle chimique de type fahlbande sur l'enrichissement de colonnes minéralisées.

. Les principaux minéraux de la paragénèse sont : sidérite, quartz, dolomite, oxydes de fer, wads, galène, blende, pyrite, chalcopyrite, mispickel, argent natif amalgamé à du mercure, freibergite, tétraédrite, cérusite, argentite.
Les caractères d'oxydation et de cémentation ressortent.

. Une étude géochimique statistique montre l'existence d'une zonalité et d'associations entre éléments accompagnateurs relevant de processus hypogènes ou supergènes.

. Aucune hypothèse génétique (lien avec la granodiorite, avec les dykes, reconcentrations à partir des sédiments) ne s'applique au gisement que l'on rattachera au type 11 de Monsieur PELISSONNIER, avec éventuel passage à la Bi, Co, Ni, et au type 12.

- SOMMAIRE -

PARTIE 1 - IMITER ET SON CONTEXTE - p 1-56

- Ch.1 - PRESENTATION 1-16

I - Situation géographique 1-2

II - Aperçu historique 3-5

A. L'époque ancienne 3-4
B. L'époque actuelle 4-5

III - Aperçu économique sur l'argent 5-10

A. Production-cours-utilisations 5-7
B. Localisation gitologique 8-9
C. Principaux pays producteurs-réserves 9-10

IV - Situation d'IMITER 11-16

A. Tonnages comparés 11
B. L'usine de traitement par cyanuration 12-16

- Ch.2 - LE CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL 17-23

I - L'anti-Atlas 17-19

A. Présentation 17
B. Le Précambrien de l'Anti-Atlas 17-19

II - Le Djebel Sarho 19-23

A. Présentation 19-20
B. Stratigraphie 20-23
C. Tectonique du Sarho oriental 23

- Ch. 3 - LE CADRE GEOLOGIQUE LOCAL 24-38

I - Pétrographie et stratigraphie 25-37

A. La série du P II 25-37
B. La série du P II - III 27-30
C. Les formations du P III 30-32
D. Les formations postérieures au P III (Cambrien) 32
E. Les roches intrusives du TAOUSACHT et d'IGOUDRANE 32-36
F. Les roches filoniennes 36-37

II - Les filons 37-38

- Ch. 4 - METHODES ET MOYENS 39-47

I - Démarche de la recherche 39-44

A. Les méthodes de reconstitution 41-42
B. Les recherches d'extensions 42-44

II - Moyens utilisés 45-47

A. Analyses d'échantillons en masse 45-47
B. Etude de sections polies 47

- Ch. 5 - LES ANCIENNES METHODES D'EXPLOITATION - LES HALDES 48-56

I - Les méthodes d'extraction 48-50

II - Les méthodes de traitement 50-53

III - Les haldes anciennes 53-56

PARTIE 2 - LES CORPS MINÉRALISÉS - 57

- INTRODUCTION 57
- DEFINITIONS 58-61

- Ch. 6 - LES TRAVAUX DU P II - III 62-124

A - Les travaux de la borne 8 62-85

I - Présentation 62-65

A. Généralités 63
B. Morphologie des anciens travaux 63-65

II - Minéralogie 66-74

A. Minéraux non métalliques 66-67
B. Minéraux métalliques 67-73
C. Conclusions 74

III - Etude géochimique 75-85

A. Evolution des teneurs en éléments-trace dans les filons de direction Est-Ouest 75-76
B. Evolution des teneurs en éléments-trace dans les filons de direction Nord-Sud 77
C. Aspects statistiques des spectres géochimiques 78-85

B - Les anciens travaux de la borne 3 87-124

I - Présentation 87-90

A. Localisation 87
B. Dimensions et morphologie des anciens travaux 87-88
C. Les travaux récents effectués 89-90

II - Etude des anciens travaux - le contrôle tectonique 91-93

A. Les filons minéralisés 91
B. Les actions tectoniques affectant la minéralisation 92-93

III - Minéralogie 94-101

A. Les minéralisations dans les filons Est-Ouest 94-99
B. Les minéralisations dans les structures de direction sensiblementNord-Sud 99-101
C. Conclusions 101

IV - Géochimie 102

V - Les sondages percutants de la borne 3 Est 103-110

A. Corrélation des impacts 103-107
B. Interprétation des impacts 107-109
C. Conclusions 110

VI - Traitement statistique des données géochimiques 111-124

A. Les données numériques 112-113
B. Géochimie comparée dans les filons de la borne 3 Est entre filons de direction proche de Est-Ouest et de Nord-Sud respectivement 114-117
C. Géochimie comparée dans les travaux de direction Est Ouest de la Borne 3 Est et de la borne 3 Ouest 118-121
D. Conclusions 122-124

- Ch. 7 - LES TRAVAUX DU P II - LE TAS A. 125-188

I - Présentation 126-132

A. Localisation-dimensions 126
B. Morphologie des travaux 126-129
C. Les travaux de recherches actuels 130-132

II - Le cadre pétrographique et tectonique 133-136

A. Le cadre pétrographique 133-134
B. Le cadre tectonique 134-136

III - Minéralogie 137-159

A. La pyrite 137-138
B. Les leucoxènes 138
C. Les paragénèses sulfurées 138-159

IV - Etude des anciens travaux 160-164

A. Aspects du contrôle tectonique : morphologie des anciens travaux 160-163
B. Lien entre les cheminées et les teneurs en argent 163-164
C. Conclusions 164

V - Géochimie des sondages percutants 165-188

A. Anomalies géochimiques et facteurs structuraux 165-172
B. Traitement statistique des spectres géochimiques 173-188

- Ch. 8 - LE CHAMP D'IMITER - CONCLUSIONS. 189-204

I - Le contrôle structural 189-192

A. Le contrôle structural à l'échelle des travaux anciens 189-190
B. Le contrôle structural à l'échelle du champ filonien 190-191
C. Conclusions 192

II - Aspect minéralogique 192-196

A. Les minéralisations supergènes 193-194
B. Les paragénèses primaires 194-195
C. Conclusions 196

III - Aspects géochimiques 197-201

IV - Aspects économiques 202-204

- Ch. 9 - CONSIDERATIONS GENETIQUES - 205-223

I - Hypothèses génétiques sur le gisement d'IMITER. 205-218

A. Description de quelques gisements d'argent filoniens dans un encaissant sédimentaire 205-213
B. Principales caractéristiques et interprétations génétiques des gisements d'argent filoniens à encaissant sédimentaire 213-214

C. Imiter et les différentes hypothèses génétiques 215-218
D. Conclusions 218

II - Un gîte voisin d'IMITER : ZGOUNDER 219-223

A. Le cadre géologique 220-221
B. Les contrôles 221-222
C. La minéralogie 222
D. Conclusions 223

LISTE DES PLANCHES

CH. VI

Planche VI-1 - Les anciens travaux de la borne 8 62

Planche VI-2 - Echantillon MAD 816 - cristal d'argentite Subautomorphe et cérusite (100 x100 µ) 70

Planche VI-3 - Echantillon MAD 816 - Argentite en nuage autour d'une plage de galène et dans ses clivages (x520) 72

Planche VI-4 - Les anciens travaux de la borne 3 86

CH. VII

Planche VII-1 - Les anciens travaux du tas A 125

Planche VII-2 - Filonnet de pyrite et argent amalgamé de mercure (échantillon TB 81) (x350) 142

Planche VII-3 - Filonnet de pyrite et argent amalgamé de mercure (détails et traversée fer, argent, mercure) 144

Planche VII-4 - Association pyrite en filonnet et en cristal amalgame argent-mercure (x 200) 146

Planche VII-5 - Association cristal de pyrite - argentite - argent 148

Planche VII-6 - Association argent - argentite (100 x 100 µ) 150

Planche VII-7 - Plage de freibergite englobant un noyau de chalcopyrite (x 400) 154

- LISTE DES FIGURES -

CH. II

Figure II-1 Schéma géologique de l'Anti-Atlas d'après G.CHOUBERT (1963) - page 18

CH. III

Figure III-1 Croquis géologique des environs d'IMITER d'après E. AMADE (1958) 1/46.500 - page 24

CH. V

Figure V-1 Schéma d'un site d'enrichissement 1/5000 - page 51

Figure V-2 Croquis d'un "petit creuset" ancien - page 53

CH. VI

Figure VI-1 Schéma topographique et structural des anciens travaux de la borne 8 1/200ème - page 64

Figure VI-2 Schéma d'une caisse filonienne N 85-80S grades (x2) - page 68

Figure VI-3 Corrélations dans la population des échantillons prélevés sur des fractures Est-Ouest - page 83

Figure VI-4 Corrélations dans la population des échantillons prélevés sur des fractures Nord-Sud - page 84

Figure VI-5 Les anciens travaux de la borne 3 (1/400) - page 88

Figure VI-6 Coupe d'un plan minéralisé de direction Nord-Sud par un plan vertical de même direction - page 92

Figure VI-7 Schéma d'un plan minéralisé de direction proche de Nord-Sud - page 93

Figure VI-8 Coupe schématique du filon principal - page 95

Figure VI-9 Coupe schématique du filon principal exploité par une ancienne cheminée

Figure VI-10 Projection des sondages S.N. sur un plan horizontal passant par l'amorce des sondages (1/400) - page 104

Figure VI-11 Projection des sondages N 315 degrés sur un plan horizontal passant par l'amorce des sondages (1/400) - page 105

Figure VI-12 Construction du plan générateur des plans minéralisés de la borne 3 Est recoupés par sondages percutants - page 106

Figure VI-13 Plan de la borne 3 au niveau - 10 (1/400) - page 108

Figure VI-14 Plan interprété du niveau -40 (1/400) - page 109

CH. VII

Figure VII-1	Partie Ouest des anciens travaux du tas A Plan de situation fin 1975 (1/565)	- page 128
Figure VII-2	Principaux sondages implantés sur le parement Sud du tas A (1/565)	- page 129
Figure VII-3	Schéma tectonique du tas A	- page 135
Figure VII-4	Schéma d'une ancienne cheminée du tas A	- page 161
Figure VII-5	Travaux MAD M du tas A. Schéma du contrôle structural sur les cheminées anciennes (1/200)	- page 163
Figure VII-6	Essai de corrélation des anomalies géochimiques sur sondages percutants horizontaux selon la direction des couches	- page 166
Figure VII-7	Les abords du sondage IM6 (1/200)	- page 169
Figure VII-8	Interprétation des anomalies géochimiques aux abords du sondage IM4 (sondages horizontaux) (1/200)	- page 169
Figure VII-9	Teneurs en argent dans les sondages horizontaux et à 30 degrés aux abords de IM4	- page 170
Figure VII-10	Représentation graphique de l'évolution verticale du spectre géochimique	- page 174
Figure VII-11	Représentation graphique des corrélations communes aux populations B et C	- page 181
Figure VII-12	Représentation graphique de l'évolution horizontale du spectre géochimique	- page 183

CH. IX

Figure IX-1	Plan de situation d'IMITER et ZGOUNDER	- page 219

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Une ambiguïté subsiste à IMITER au sujet de l'attribution des formations rencontrées aux différents étages du Précambrien marocain.

Monsieur J. SKACEL, géologue du BRPM a effectué en 1973 une cartographie détaillée de ces terrains.

Nous avons pris parti de centrer nos intérêts sur des problèmes d'ordre essentiellement métallogénique et minier.

Aussi, nous avons adopté conventionnellement les dénominations de Monsieur J. SKACEL et avons nous rattaché :

- La série schisto-gréseuse au P II.
- Le bassin de conglomérats au P II - III.
- Les formations volcaniques au P III.

Il est toutefois possible selon Messieurs BOUCHTA et AGARD (communications orales) d'interpréter différemment ce cadre géologique et d'attribuer -

- La série schisto-gréseuse au P II - III.
- Le bassin de conglomérats et les formations volcaniques au P III.

Toutefois l'incertitude subsiste et devrait être levée par une étude à l'échelle régionale que nous n'avons pas eu les moyens d'entreprendre, et qui dépassait les limites de notre sujet.

D'autre part, les analogies observées avec le gîte argentifère de ZGOUNDER encaissé dans une série datée du P II- III posent le problème de l'existence dans l'Anti-Atlas d'une province métallogénique à argent datant du P II - III.

PARTIE 1 : IMITER ET SON CONTEXTE -

CHAPITRE I : PRÉSENTATION

I - SITUATION GÉOGRAPHIQUE -

.) Le gisement d'IMITER se situe sur le flanc Nord du DJEBEL SARHO d'orientation sensiblement Est-Ouest, qui forme avec le DJEBEL OUGNAT l'aile orientale de l'ANTI ATLAS.

L'exploitation peut être localisée sur la carte DADES 7-8 au 1/100.000 en x = 469 y = 84. On y accède par une piste de 8 kilomètres dont l'embranchement se situe sur la route principale OUARZAZATE - KSAR EL SOUK à mi-chemin entre les KSOURS d'IMITER et TIMADRIOUINE, soit à environ 146 kilomètres de OUARZAZATE.

.) Le champ filonien s'étend à 1500-1600 mètres d'altitude dans une dépression au relief assez mou, allongée d'Est en Ouest. Cette cuvette est bordée au Sud par le bombement granitique du TAOUSACHT, au Nord par des falaises acadiennes schisto-gréseuses et à l'Est par les escarpements rhyolitiques du DJEBEL ISK N'IRHANE.

.) Le climat se trouve conditionné par ces facteurs topographiques. L'absence de fermeture à l'Ouest permet aux vents de s'engouffrer dans la dépression. Cette configuration se conjugue à l'altitude pour tempérer la chaleur en été, mais provoque des hivers rigoureux.

.) Les précipitations annuelles sont faibles - On ne connait par ailleurs aucune source d'eau potable dans la cuvette, malgré l'existense d'une nappe sub. affleurante, vraisemblablement captive à l'aplomb des Anciens-Travaux.

Toutefois, parallèlement à l'axe routier OUARZAZATE - KSAR EL SOUK, on rencontre une nappe libre alimentée régulièrement et circulant dans les alluvions de l'ASSIF N'TARGUIT.

.) Les environs d'IMITER appartiennent au domaine berbère des AIT-ATTA, la végétation, et par là le peuplement se ressentent du manque d'irrigation.

Dans les vallées parcourues par des Oueds permanents tels le DADES ou le TODRA, ont pu se développer des agglomérations importantes (TINERHIR, BOUMALNE) qui regroupent la majorité de la population.

L'activité est essentiellement agricole (palmeraies, jardins).

Quelques familles vivent également en sédentaires dans les montagnes autour des rares points d'eau.

Les zones accidentées, caractérisées par une végétation de type steppe ne sont peuplées que par quelques tribus disséminées pratiquant le semi-nomadisme pastoral, et vivant de l'élevage du mouton.

.) Les industries de transformation sont inexistantes - On note cependant un artisanat assez actif - La région est réputée pour ses anciens bijoux en argent dont la matière première pouvait provenir des exploitations d'IMITER.

D'autre part, l'activité minière artisanale est relativement importante - Les substances exploitées sont principalement la galène et ses dérivés (Mines de MEROUANE, IGOUDRANE, indices de DJEBEL TAKLIMT).

L'usine de traitement des haldes argentifères d'IMITER, employant quelque cent ouvriers permanents est une des entreprises locales les plus considérables du point de vue du chiffre d'affaire et de l'emploi.

Le chômage est endémique malgré l'essor du tourisme qui crée un nombre non négligeable de postes temporaires, et donne lieu à un développement accéléré des "petits métiers" (guides, marchands de souvenirs...).

II - APERCU HISTORIQUE -

.) Le champ filonien d'IMITER a fait l'objet d'une exploitation intensive au cours des âges - Des travaux anciens d'ampleur considérable jalonnent l'ensemble du domaine. Leur exécution a dû s'étendre sur de nombreuses années voire des siècles, étant donné le volume des haldes rencontrées (environ 1 Mt), et eu égard aux moyens techniques dont disposaient les Anciens.

L'existence même de la mine est inscrite dans la toponymie locale, puisque l'oued principal du domaine minier porte le nom de AKKA EL MADEN - l'oued au Minerai...

A - *L'Epoque ancienne* -

.) Les autochtones attribuent les excavations auxPortugais, mais leur exécution remonte vraisemblablement à une époque encore plus lointaine. Une pièce de monnaie en cuivre, du 8ème siècle, attribuée par Monsieur D. EUSTACHE en 1970 aux dynasties IDRISSIDE ou ABBASSIDE constitue le plus ancien vestige trouvé à IMITER.

.) D'autre part, une certaine analogie exprimée dans les travaux les plus importants, avec ceux de la mine d'argent de ZGOUNDER dans le DJEBEL SIROUA, pourrait autoriser à faire coïncider l'apogée d'IMITER avec l'époque ALMOHADE (XIIème siècle) à laquelle est rattachée ZGOUNDER - Des trouvailles de tessons de poterie non vernis viendraient à l'appui de cette hypothèse.

.) Cependant, selon l'"Historique des recherches minières au Maroc" de P. DESPUJOLS, on ne trouve pas mention d'IMITER dans les anciennes chroniques arabes, alors qu'il y est souvent question des riches mines d'argent du SOUSS (TAZRAREST ou TAMEDELT).

+ Seule indication donnée par IBN N'ORBADBAH vers 840 à propos des états du prince AC COFRY qui s'étendaient du DRAA au TAFILALET "on y trouve une mine d'argent".

+ EL BEKRI vers 1050 signale une mine à TIHAMNAMIN à 2 journées de SIDJILMESSA sur la route de OUARZAZATE - Cet emplacement correspondrait à celui d'IMITER, mais le métal recherché aurait été le Cuivre. Ces mines auraient été très anciennement exploitées car vers l'an 800 le Seigneur de SIDJILMESSA prélevait déjà le quint de leur produit.

+ Il est possible que les Portugais aient atteint la région au XVIème siècle car il subsiste encore un lieu dit INHALATENE CASTELRIO à l'Est d'IMITER, ainsi que des vestiges d'un camp. Cette toponymie à tendance ibérique s'est conservée jusqu'à nous, et vient à l'appui d'une présence européenne dans le SARHO.

.) Ainsi, il semblerait que la vieille mine ait subi de nombreux passages. Des phases d'arrêt des travaux suivies de reprises à plus ou moins grande échelle ne sont pas à exclure.

La présence d'un nombre important de meules en granite, dont toutes ont été brisées, tendrait à impliquer une guerre ou une razzia ayant mis un terme à l'exploitation dans une phase de prospérité.

B - *Epoque actuelle* -

.) Le site d'IMITER fut redécouvert par la SMAM, une filiale de la PEN ARROYA - Au cours d'une prospection aérienne du SARHO oriental, l'attention fut attirée par les tas de haldes souvent importants qui jalonnent les travaux anciens - La compagnie effectua quelques travaux de recherche vers 1950 consistant essentiellement en puits et travers-bancs.

Les résultats furent, à ce qu'il semble négatifs - Toutefois, toutes les archives remontant à cette époque sont égarées.

.) Le Bureau de Recherche et de Participation Minière reprit les recherches sur le permis - Messieurs AMADE et SMEYKAL successivement s'intéressèrent à

deux problèmes distincts entre 1955 et 1966.

+ D'un côté l'étude des avals par sondages carottés relativement longs (80-180 m), qui ne put démontrer d'objectifs réels malgré quelques impacts intéressants.

+ De l'autre une étude détaillée portant sur les possibilités d'une récupération et d'un traitement des haldes par cyanuration. Après évaluation des réserves, le projet d'une usine de cyanuration fut retenu.

.) Une Société métallurgique - donc non minière - la Société métallurgique d'IMITER fut fondée en 1970 - Les deux partenaires de la SMI sont l'Omnium Nord-Africain (ONA) gestionnaire jusqu'en 1975 (31% des parts) et le BRPM (69% des parts) qui reprit la gestion en Juin 1975.

III - APERCU ÉCONOMIQUE SUR L'ARGENT -

A - *Production* - *Cours* - *Utilisations* -

Si les cours du Plomb et du Zinc sont relativement stables, ceux de l'Argent sont en constant déséquilibre depuis plusieurs années.

+ En effet, la demande surpasse très fortement l'offre.

+ A ce fait se superpose celui que l'argent relève d'une double utilisation :

D'un côté il possède une vocation industrielle : les industries photographiques et celles des conducteurs se taillent la part du lion dans le marché, cependant que les placages, les soudures, les batteries, la bijouterie, les catalyseurs, les miroirs, la dentisterie consomment des quantités importants d'argent.

De l'autre, ce métal précieux est l'objet d'une thésaurisation intensive, surtout dans les pays d'Extrême-Orient, ainsi que de spéculations, puisqu'il entre dans la fabrication de monnaies et de médailles commémoratives.

+ Enfin, dans les gisements, l'argent est souvent associé à d'autres substances utiles, où il constitue un sous produit de l'exploitation. De ce fait, la réponse à la demande manque de souplesse, et ne peut s'ajuster de manière simple.

Aussi assiste-t-on à une hausse constante des cours de l'Argent, qui se poursuit par saccades, répercutant à la fois les fluctuations des métaux à caractère spéculatif tels que l'or, et celles des métaux de l'industrie (cuivre, etc...).

Le tableau des productions, des utilisations et des cours des vingt cinq dernières années illustre pleinement ces faits.

Année	Production en tonnes métriques	Consommation en tonnes métriques	Part de l'Argent spéculatif Monnaies %	Prix de l'once en $ us. 31,1 g -
1950	6 315	6 267	21,9	0,74
51	6 194	7 947	35,4	0,89
52	6 687	7 971	44,6	0,85
53	6 892	8 054	35,0	0,85
54	6 711	7 595	43,2	0,85
1955	7 002	7 632	21,4	0,89
56	7 014	8 477	20,2	0,91
57	7 170	9 218	28,4	0,91
58	7 349	8 398	29,4	0,89
59	7 167	9 311	28,9	0,91
1960	7 315	10 219	31,6	0,91
61	7 370	11 713	36,4	0,92
62	7 644	12 007	33,0	1,09
63	7 775	13 280	39,0	1,28
64	7 575	17 612	47,2	1,29
1965	8 006	22 307	53,1	1,29
66	8 295	15 070	26,7	1,29
67	8 030	14 119	23,2	1,55
68	8 561	13 687	20,3	2,14
69	9 197	12 631	9,8	1,79
1970	9 361	12 150	8,6	1,77
71	8 984	12 045	7,0	1,54
72	9 062	13 140	9,6	1,69

B - *Localisation gîtologique* -

Les principaux groupes de gisements producteurs d'argent sont par ordre d'importance décroissante selon M. BOULADON.

1- Les Amas sulfurés à Cuivre - Plomb zinc liés au volcanisme synorogénique (types 1,2 de H. PELISSONNIER).

53 % des réserves mondiales en Pb et Zn
10 % " " " " Cu
>50 % " " " " Ag

les teneurs en argent, sont moyennes, de 80 à 250 g/t.

Exemples : Sullivan, Flin-Flon, Rammelsberg, Mount Isa, Broken Hill.

2- Les gîtes à Cuivre, Plomb, Zinc, Argent, liés au plutonisme tardi-orogénique et au volcanisme associé (groupes 5,6,7,8,9 de H. PELISSONNIER).

Cet ensemble regroupe des filons, des amas dans les calcaires, et pour le Cuivre, les porphyres cuprifères.

Il recèle 21% des réserves mondiales en Zn et Pb.

56% " " " " Cu
30% " " " " Ag

Les teneurs en argent sont très fortes dans la zone d'enrichissement supergène, pour décroître dans le protore et diminuer fortement avec la profondeur.

Exemple :	Coeur d'Alène et Atacocha	250 à 150 g/t Ag
	Cerro de Pasco	80 g/t Ag
	Leadville	50 g/t Ag/

3- Les filons cobalto argentifères liés aux roches basiques et ultrabasiques.

Exemple : Cobalt tout venant à 1400 g/t Ag.

4- Les Kupferschiefer.

Les gisements produisent 100 tonnes d'argent par an.

Exemple : Mansfeld :	100 - 180 g/t	Ag
	2 - 3%	Cu
	0,8%	Pl
	1%	Zn

5- Les placers aurifères et les conglomérats aurifères du Rand

L'argent est extrait comme sous produit et la production annuelle atteint 100 T.

6- Les gîtes de Plomb-Zinc de couverture.

Les gîtes ont une teneur en argent faible (50 - 60 g/t Ag) mais la production annuelle de l'argent récupéré comme sous produit atteint 120 tonnes.

C - *Principaux pays producteurs - réservés* -

Unité : Tonne m.	Réserves 1966	Production 1966		Production 1971		Production 1972	
U. S. A.	7 - 8000	1354	(1)	1293	(2)	1158	(5)
Mexique	> 5000	1301	(2)	1140	(5)	1166	(4)
Canada	> 26000	1032	(3)	1431	(1)	1462	(1)
Pérou	> 5000	1017	(4)	1195	(4)	1250	(2)
U. R. S. S.		837	(5)	1213	(3)	1244	(3)
Australie	8000	567	(6)	675	(6)	709	(6)
Bolivie		159	(7)	167		176	
Allemagne Orientale		149		155,5		155,5	
Suède		140		121		121	
Honduras		116		113		112	
France		43		66		58	
Japon				343	(7)	312	(7)

(Le rang des pays figure entre parenthèses)

Les réserves mondiales étaient en 1966 estimées à 80.000 T argent métal.

IV - SITUATION D'IMITER -

Du fait des faibles dimensions du gisement, la Société Métallurgique d'IMITER ne constitue pas une entreprise colossale sur le plan mondial. Toutefois, la récupération des haldes et le traitement par cyanuration permettent des coûts de production peu élevés, et compétitifs sur le marché.

A - *Tonnages comparés* -

Les haldes reconnues représentent 525.000 tonnes de tout venant à une teneur moyenne de 350 grammes d'Argent par tonne. La quantité d'Argent métal contenue est évaluée à 185 tonnes.

Toutefois, les espoirs de trouver du minerai en place ne sont pas abandonnés.

A titre de comparaison, nous donnerons les réserves de quelques gisements d'Argent :

. Champ de Pachuca - Réal del Monte	Mexique	: 46.700 T Ag
. District de Coeur d'Alène	U.S.A	: 45.000 T "
. Champ de Butte	U.S.A.	: 44.120 T "
. Champ de Cerro de Pasco	Pérou	: 38.300 T "
. Champ de Potosi	Bolivie	: 36.000 T "
. Champ de Zacatecas	Mexique	: 27.000 T "
. Champ de Freiberg	RDA	: 6.000 T "
. Champ de Rammelsberg	RDA	: 3.700 T "

B - *Usine de Traitement par cyanuration* -

L'usine de traitement des haldes argentifères d'IMITER, unique au Maroc est fondée sur le principe de la cyanuration.

1 - Le principe :

a) Introduite dès 1890 pour le traitement de l'Or en Afrique du Sud, la cyanuration n'a pas cessé de s'étendre dans le cadre des exploitations de métaux précieux.

Ce procédé permet une récupération élevée du métal, meilleure que celle de l'amalgamation ou de la flottation.

De plus, le produit issue de l'enrichissement se présente sous forme d'un concentré à haute teneur en métal (80%) ce qui, pour des régions isolées, permet de notablement diminuer les coûts d'acheminement.

A titre d'exemple, la production mensuelle d'IMITER représente 2 tonnes de concentré Argent à 85%, issues de 6 000 tonnes de haldes; le facteur de réduction en tonnage est donc de 3 000.

b) Des solutions diluées d'un cyanure alcalin(sodium ou potassium) ont une action lixiviante préférentielle sur les particules de métaux précieux tels que l'Or ou l'Argent, plutôt que sur les autres constituants du minerai. La réaction générale de mise en solution proposée par ELSNER est la suivante : $4\ Ag + 8\ NaCN + O_2 + 2\ H_2O \longrightarrow 4\ Na\ Ag\ (CN)_2 + 4\ Na\ OH$.

Ainsi, des surfaces fraiches d'Argent, exposées à l'action du cyanure alcalin en solution aqueuse riche en oxygène libre, se voient attaquées. Il se forme un composé cyanuré d'Argent et un hydroxyde alcalin. Néanmoins, on penche plutôt à l'heure actuelle pour l'équation traduisant la réaction suivante :

$$2\ Ag + 4\ NaCN + H_2\ O_2 \longrightarrow 2\ Na\ Ag\ (CN)_2 + 2\ Na\ OH$$

. Le mécanisme de la dissolution est encore mal connu du point de vue théorique.

Les observations montrent que la vitesse de dissolution est fonction

- de la surface spécifique du métal.
- de l'agitation et de la température.

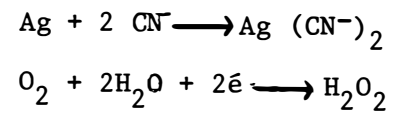
Il semblerait donc que le processus de dissolution soit hétérogène, et fondé sur un phénomène physique de diffusion.

KAKOVSKY (1963) pense que le métal se couvre d'un cyanure simple de métal précieux qui constitue un obstacle à une attaque ultérieure immédiate. Le cyanure doit alors diffuser à travers le film de cyanure métallique formant écran.

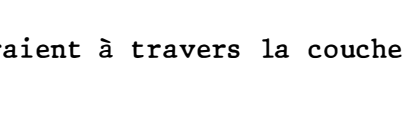
Au-dessus d'une concentration critique en cyanure, pour une pression donnée, en oxygène, la vitesse de dissolution montre une tendance à décroître. On aurait un excès d'oxygène sur la surface du métal, et la vitesse de dissolution serait déterminée par la diffusion du cyanure.

Au-dessous de la valeur critique pour la concentration en cyanure, le processus serait réglé par la diffusion de l'oxygène.

HABACHI (1966) propose un mécanisme électrochimique sur une partie de la surface métallique appelée zone cathodique. L'oxygène capterait les électrons issus d'une autre partie de cette surface, appelée zone anodique.



$$Ag + 2\ CN^- \longrightarrow Ag\ (CN^-)_2 + é$$



$$O_2 + 2H_2O + 2é \longrightarrow H_2O_2 + 2\ OH^-$$

Les réactifs diffuseraient à travers la couche de NERNST qui entoure la surface métallique.

Dans la pratique, les solutions de cyanure utilisées sont à 0,1% CN^- pour l'argent (0,05% CN^- pour l'or).

. Les sels solubles de potassium ont un effet bénéfique sur la vitesse de réaction et sur la récupération.

D'autre part, des substances consommatrices d'oxygène tels que les matières organiques diminuent la vitesse de dissolution.

Etant donné que l'oxygénation de la pulpe est fondamentale, et que le coût de l'oxygène pur est prohibitif, l'aération de la pulpe par air comprimé dans des agitateurs, devient un impératif majeur.

c) Décomposition des solutions cyanurées -

Les solutions aqueuses de cyanure alcalin peuvent s'hydroliser suivant la réaction

$$NaCN + H_2O \rightleftarrows HCN + Na\ OH$$

Pour éviter un déplacement vers la droite de l'équilibre, il convient d'opérer en présence de chaux dans les pulpes cyanurées.

De plus, la chaux neutralise les composants acides et cyanicides du minerai tels que la pyrite et la silice, générateurs de HCN.

Enfin, la chaux permet de neutraliser le gaz carbonique de l'air, qui pourrait réagir sur le cyanure selon la réaction.

$Na\ CN + H_2CO_3 \longrightarrow HCN + NaHCO_3$, en formant des composants inoffensifs -

Ainsi l'adjonction de chaux est-elle générale dans les usines de traitement par cyanuration.

d) Précipitation -

En vue de faire précipiter l'Argent de son sel soluble double $Na\ Ag\ (CN)_2$ on déplace l'argent par un métal d'électropositivité plus grande.

Le Zinc est le plus approprié, et la réaction de substitution se fait selon l'équation de CLENNEL

$$Na\ Ag\ (CN)_2 + Zn + 2\ Na\ CN + H_2O \longrightarrow Na_2\ Zn\ (CN)_4 + Ag + 1/2\ H_2 + Na\ OH$$

Il y a simultanément précipitation du métal précieux, dégagement d'hydrogène et absorbtion de deux moles de cyanure alcalin.

La précipitation doit donc s'effectuer en présence de cyanure libre en excès, faute de quoi elle serait incomplète.

D'autre part, la réaction est une réduction, donc il convient de désaérer la solution en vue d'en éliminer l'oxygène.

L'équation proposée par S.B. CHRISTY permet de prendre en compte les réactions accessoires de la précipitation, dûes à la présence de cyanure et de Zinc en excès :

$$2\left[Ag\left[CN_2\right]Na + 4\ Zn + 4\ CN^- + 2\ H_2O \longrightarrow 2\ Ag + 2\left[Zn\ (CN)_4\right] + Na_2\ Zn_2\ O_2 + 2\ H_2\right.$$

Les quantités de Zinc requises pour précipiter 1 kilogramme d'Argent sont de 600 grammes.

2 - Réalisation et mise en oeuvre :

a) Le minerai, récupéré sur les tas de haldes par une pelle CATERPILLAR de type 955 K sur chaînes, est acheminé par deux camions GMC de 10 tonnes de charge utile, du chantier jusqu'en tête de l'usine.

Le tonnage journalièr traité est de 200 tonnes en moyenne, à une teneur de 300 grammes d'Argent par tonne. De ce fait, la production mensuelle se monte à 2 tonnes de concentré à 85% Argent métal contenu.

b) Les produits entrants passent un circuit de concassage classique permettant de réduire leur granulométrie à une maille inférieure à 10 millimètres. Une adjonction de chaux a lieu à ce niveau.

Toutes les opérations ultérieures s'effectuent en parallèle sur deux lignes identiques qui ne se rejoignent qu'à l'unité de précipitation.

c) Le broyage se fait en présence de cyanure contenu dans l'eau de recyclage du bassin d'accumulation, en vue d'économiser l'eau au maximum.

d) Puis on passe à un circuit d'agitation en 4 bacs de 60 m3, avec adjonction d'air comprimé insufflé à la base des bacs.

Ce procédé permet l'alimentation en oxygène nécessaire à la mise en solution de l'argent.

On ajoute dans le 1er bac du cyanure de sodium, et dans le dernier du floculant qui aidera la décantation des boues dans les relaveurs.

e) La pulpe du dernier agitateur s'écoule dans le premier relaveur - Le relavage s'opère dans une ligne de 4 épaississeurs à doubles compartiments. Les solutions cyanurées chargées d'Argent sont évacuées par colonnes soufflantes (Air Lift).

Les boues épaissies du dernier relaveur sont refoulées sur la digue à stériles après passage dans un bac conique. L'eau obtenue par la décantation est récupérée et acheminée au bassin de l'alimentation de l'usine.

Les solutions riches sont recueillies en 2 bacs tampon de 70 m3, clarifiées par filtres et désaérées dans un réservoir à vide DENVER -

f) Elles passent ensuite dans un bac à précipitation alimenté en Zinc et éventuellement en cyanure de sodium - La solution est filtrée à travers deux filtres-presses à cache qui retiennent les particules d'argent.

L'argent sous forme pulvérulente est alors récupéré, séché et mis en fûts.

Les eaux usées sont refoulées au bassin d'alimentation.

La durée totale d'un cycle, déterminée par la capacité des presses varie entre 6 et 8 jours.

CHAPITRE II : LE CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

I - L'ANTI ATLAS -

A - *Présentation* -

. L'Anti Atlas est une zone de reliefs se poursuivant sur 600 kilomètres selon un axe WSW - ENE entre le sillon préafricain au Nord et les grandes hammadas sahariennes au Sud - (cf. CARTE II 1).

La chaîne axiale du système date du précambrien ainsi que du géorgien.

Elle se trouve bordée au Nord par les terrains récents du sillon préafricain et au Sud par des plaines à rattacher aux séries schisteuses de l'Acadien et du Carbonifère.

On distingue :

- L'Anti Atlas occidental formé par le SOUSS de la côte Atlantique au SIROUA.
- L'Anti Atlas central formé par le SIROUA et la région de OUARZAZATE.
- L'Anti Atlas oriental qui regroupe le SARHO et l'OUGNAT.

. Selon G. CHOUBERT, l'Anti Atlas représenterait une ancienne chaîne précambrienne érodée à la fin du précambrien et ennoyée d'Ouest en Est par des sédiments déposés entre l'Infracambrien et la fin du Carbonifère.

La chaîne aurait été postérieurement soulevée en pli de fond au cours des orogénèses hercyniennes et alpines.

B - *Le précambrien de l'Anti Atlas* -

- Selon G CHOUBERT, (1954), le précambrien anti-atlasique se décomposerait en trois systèmes séparés par des discordances =

- Le Précambrien I, moyennement à très métamorphisé.
- Le Précambrien II, consistant en schistes et quartzites faiblement métamorphisés.

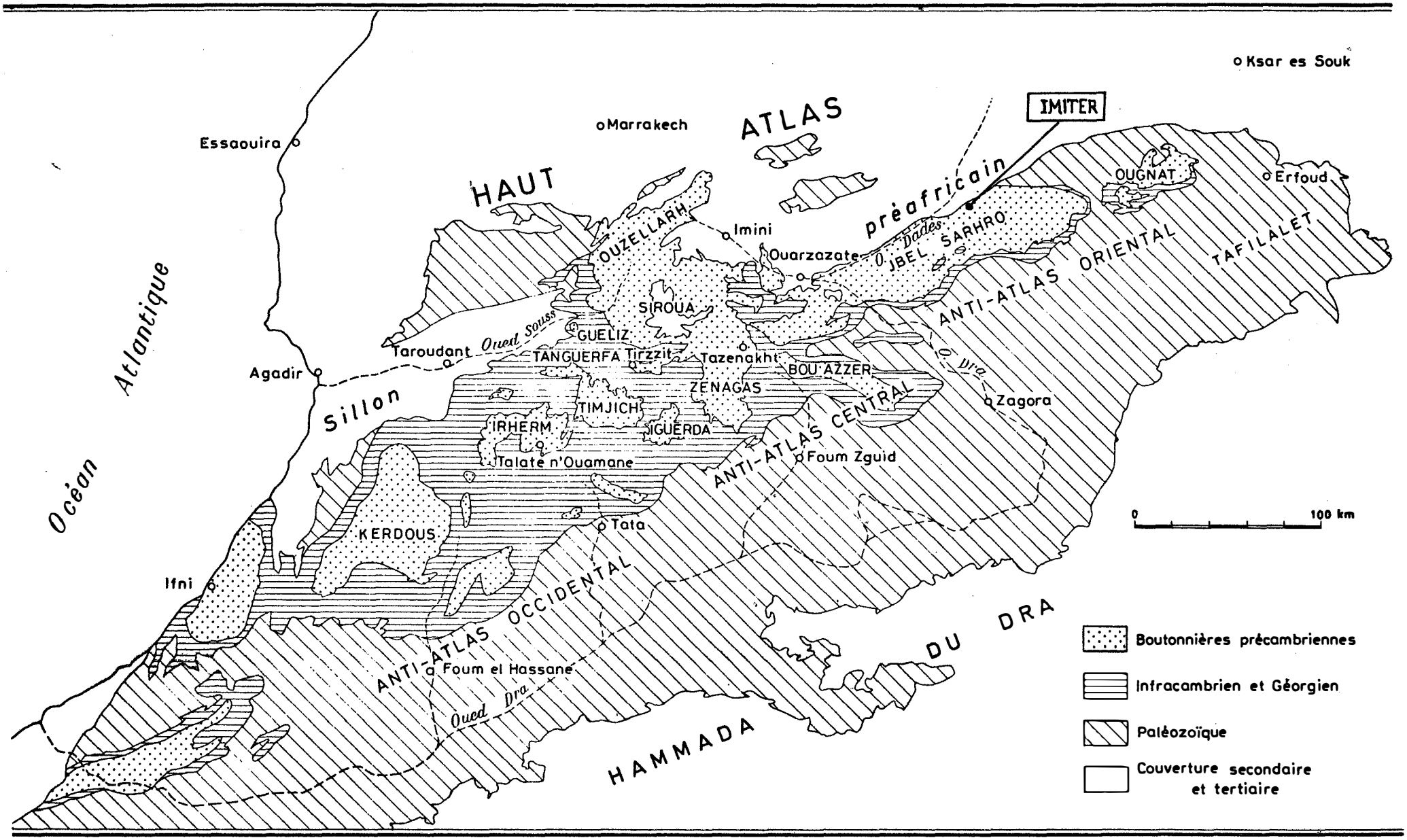


Fig II 1 : SCHÉMA GÉOLOGIQUE DE L'ANTI-ATLAS
d'après G. CHOUBERT - 1963 -

- Le Précambrien III, essentiellement détritique et volcanique.

- Cependant, la découverte d'une discordance au milien de l'ancien P III, séparant les complexes volcaniques du P III inférieur, plissées et granitisés,du complexe volcano-détritique P III supérieur peu tectonisé amena une diversification plus poussée des étages définis.

On distingue actuellement les systèmes suivantes =

P I
P I, II
P II
P II III (ex P III inférieur)
P III supérieur reposant, en discordance majeure sur le socle, précambrien plissé et granitisé.

- Le Précambrien supérieur comprend le P III ou série volcano-détritique de OUARZAZATE et la couverture sédimentaire discordante sur le P III.

La partie précambrienne de cette couverture porte le nom d'ADOUDOUNIEN (CHOUBERT) dans l'Anti Atlas occidental où elle est très développée, la limite entre l'Adoudounien et le géorgien est d'ordre paléontologique (Trilobites).

II - DJEBEL SARHO -

A - *Présentation* -

- La chaîne du Sarho, orientée sensiblement en Est Ouest, consiste en une zone axiale, formée à la fin du P II, III par un bombement de fond accompagné d'une granitisation, entourée d'une enveloppe adoudounienne et paléozoïque.

Ces formations plus récentes sont développées de manière préférentielle au Sud - Leur importance est très réduite au Nord, qui s'est trouvé fortement exhaussé lors de l'orogénèse P II, III.

L'érosion permet ainsi l'apparition dans la partie septentrionale de la chaîne, de terrains anciens datant du P II (CHOUBERT 1963).

Cette configuration introduit une dissymétrie importante qui conditionnera tant l'histoire de la chaîne que son aspect actuel.

- Au cours du P II, III et du P III se déposent des formations volcaniques et détritiques beaucoup plus développées au Sud de la chaîne quàu Nord où elles sont très discrètes.

Vers la fin du P III, une phase de tectonique cassante amène la formation de grabens (tels celui de TAGMOUT (ELSASS 1974),ainsi que l'apparition de granites tardifs à pyroxènes dans la région de BOU-GAFER (Sarho oriental) (CHOUBERT, FAURE-MURET 1970).

- A l'Infracambrien, se place une phase d'érosion à laquelle succèdent des dépôts détritiques sur les flancs Sud et Est de la chaîne, reposant en discordance sur le P III.

- Au Cambrien moyen, la transgression marine acadienne envahit le Sarho et donne naissance aux schistes verts à paradoxides ainsi qu'à des formations gréseuses supérieures.

B - *Stratigraphie* -

1 - Les terrains du Précambrien II (P II) :

Les formations du P II consistent en schistes faiblement métamorphiques, de couleur gris verdâtre à violet, ainsi qu'en granites intrusifs à patine verte ou noirâtre (SEBBAG 1968).

- Les schistes se rattachent à l'épizone. Ils peuvent localement passer à des schistes gréseux, voire à des grès.

Ces formations sont redressées à la verticale, dirigées Nord-Est ou Est Nord Est et injectées de dykes dans la schistosité.

En lame mince,on peut observer quelques plagioclases détritiques rares.

Le quartz est dominant en grains mal classés. Il représente 30 à 40% de la roche.

La muscovite est abondante en aiguilles ou lamelles déchiquetées, isolées, entre les grains de quartz.

La biotite est très rare sans doute en raison de sa décomposition en chlorites et en produits ferreux d'oxydation.

Les produits phylliteux peuvent constituer jusqu'à 70% de la roche.

On observe des granulations ferreuses abondantes.

- Les granites du P II se manifestent sous forme de lames ou de bandes intrusives, de dimensions variables encore que réduites.

Leur composition minéralogique admet des variations larges. On rencontre une association quartz, biotite, plagioclases, amphiboles, ainsi que des minéraux accessoires : le zircon et l'apatite.

Le contact avec les schistes qu'ils pénètrent suscite un métamorphisme de contact intense en extension dans la plupart des cas, qui se traduit par un apport de silice et la formation de cordiérite-Hindermeyer attribue ces granites à une phase post-tectonique P II -

2 - Le Précambrien II - III (P II III)

Les terrains se rattachant à cette époque sont le granite tardif de Bou Gafer et des complexes acides.

- Le granite de Bou Gafer se présente sous la forme d'un grand massif au relief jeune.

Les roches qui le composent varient entre un granite à tendance monzonitique et une syénite calcoalcaline (Sebbag) mais sont toujours très hématitisées.

En lame mince, on observe (Hindermeyer) l'andésine ou l'oligoclase. L'orthose est abondante, le quartz revêt un faciès interstitiel. Le pyroxène, souvent ouralitisé s'accompagne d'oxydes de fer et de chlorites.

Les minéraux accessoires consistent essentiellement en magnétite et en apatite.

Dans la région de Bou Gafer, ce granite semble lié par continuité minéralogique et chimique aux rhyolites qui l'entourent.

- Selon Hindermeyer, on peut distinguer au cours du P II III deux complexes acides :

+ Le complexe acide inférieur composé de brèches à éléments rhyolitiques, de coulées de laves (rhyolites porphyriques rougeâtres, rhyolites bulleuses, rhyolites vitreuses fluidales, rhyolites felsitiques et dacites) intercalées avec des roches pyroclastiques (tufs plus ou moins bien consolidés, ignimbrites, pseudo-brèches rhyolitiques).

+ Le complexe acide supérieur supérieur que l'on rencontre surtout au Nord et à l'Est de la chaîne et dans la région de l'Oued IKKIS formé de rhyolites porphyriques ou vitreuses traversées par des dykes de microgabbros.

3 - Le Précambrien III (P III) -

Les terrains du Précambrien III reposent en discordance sur le socle P II III. Ils débutent par des formations détritiques et volcaniques continentales (conglomérats très mal classés,grés à chenaux, tufs volcaniques, coulées andésitiques).

Cependant la majeure partie du P III est formée surtout à l'Ouest du Sarho par des complexes volcaniques rhyolitiques ou andésitiques. Les complexes passent parfois latéralement à des tufs pyroclastiques stratifiés, voire même à des sédiments détritiques remaniant des matériaux volcaniques.

4 - L'Infracambrien et le Géorgien -

Les reliefs du Sarho, accentués par la phase tectonique P III sont fortement érodés aux temps infracambriens jusqu'au Cambrien moyen.

La couverture ante-acadienne reposant sur cette surface de discontinuité est particulièrement développée au Sud de la chaîne.

Selon Sebbag (1968) on peut distinguer deux termes principaux :

- Base de la couverture formée de poudingues et de grès rose fluviatiles, avec chenaux gréseux et lentilles de pelites rouges.

- Formations marines et continentales transgressives et sujettes à des variations d'épaisseur importantes.

5 - L'Acadien -

Sur le sommet des formations géorgiennes s'épanche une coulée basaltique que l'on retrouve dans le Sarho central sous forme de lambeaux. Les schistes verts acadiens (lutites et grès verts fossilifères surmontés de grès blancs massifs) se déposent ensuite. Cette formation, est assez réduite en puissance (300 à 400 mètres) par rapport aux autres régions de l'Atlas.

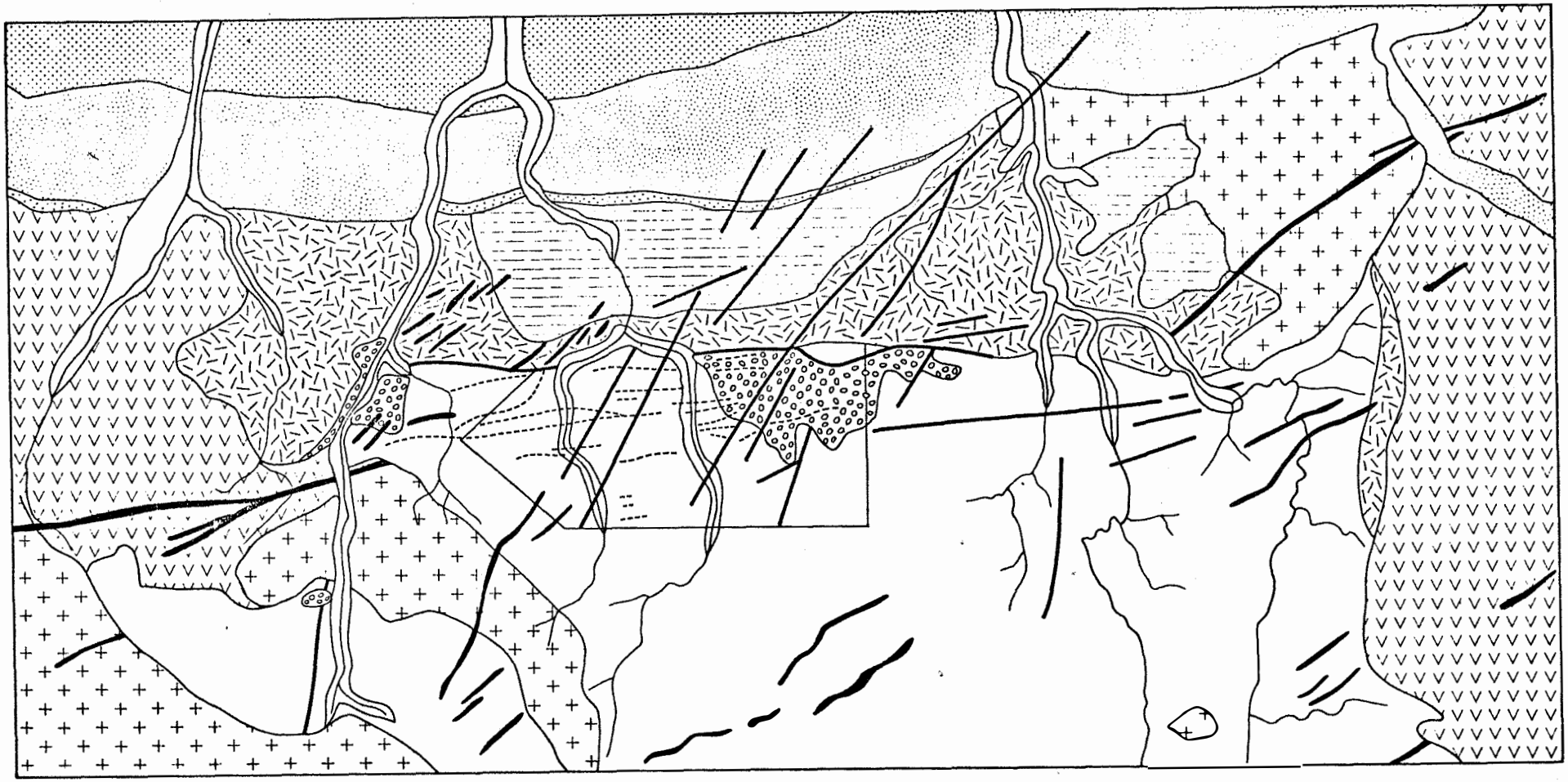
C - *Tectonique du Sarho oriental* -

Selon SEBBAG (1968) la partie orientale du Sarho serait caractérisé par deux ensembles de directions tectoniques.

- Un ensemble ENE - WSW et NE - SW atlasique.
- Un ensemble WNW - ESE et NW - SE ougartien.

Après l'orogénie P II, un certain nombre de phases tectoniques se sont succédées : au P III (formation du graben de TAGMOUT - TINE - OUAYOUR (Elsass 1974) et durant la période hercynienne.

Figure III-1 - Croquis géologique des environs d'IMITER d'après E.AMADE (1958) Echelle : 1/46500.



Eléments structuraux

------ Alignements d'anciens travaux

Fractures et failles

Filons de quartz carbonates

Dykes de roches filoniennes

Diorites à grains fins P II

Série du P II

Série du P II-III

Coulées rhyolitiques P III

Andésites, tufs andésitiques

Coulées rhyolitiques claires P III

Géorgien

Acadien

Ordovicien

Alluvions des oueds.

CHAPITRE III : LE CADRE GÉOLOGIQUE LOCAL -

I - PÉTROGRAPHIE ET STRATIGRAPHIE -

Le contexte dans lequel s'inscrivent les minéralisations d'IMITER se rattache au précambrien. La cartographie de la zone minière a été réalisée par E. AMADE (1959) et reprise en 1974 de manière plus détaillée (plan au 1/2000 ème) par J.SKACEL du B.R.P.M. Les formations rencontrées aux abords d'IMITER comprennent :

. Au Sud et à l'Est : les massifs intrusifs du TAOUSACHT et d'IGOUDRANE rattachés au P II tardif (granodiorite).

. Une série de type flysch rattachée au P II.

. Une série rattachée au P II - III comportant à la base des tufs, suivis de séquences conglomératiques en alternance avec des grès et des pelites (flysch grossier).

. Un complexe volcanique supposé P III se développant au Nord de la faille principale d'IMITER, de direction Est-Ouest.

. Des roches filoniennes qui recoupent toutes ou certaines des formations précédentes.

A- *La série du précambrien II* -

1) Cette série, à caractère flysch dominant, rattachée au précambrien II par J. SKACEL se développe entre le massif granodioritique du TAOUSACHT au Sud, et la faille principale d'IMITER, de direction Est Ouest, au Nord.

Les terrains sont affectés d'un léger métamorphisme de contact.

La direction et le pendage général de la série sont respectivement Nord 80 degrés et 80 degrés Nord. Les formations sont caractérisées par un plissement isoclinal difficile à distinguer. La succession de séquences à caractère flysch permet de mettre en évidence des anticlinaux déversés vers le Sud, avec ennoyage progressif des têtes de plis du Sud vers le Nord.

Les sédiments les plus grossiers se rencontrent au Sud, les plus fins au Nord; on observera du Sud au Nord par ordre d'ancienneté décroissante.

- au coeur des anticlinaux du Sud, des grès quartzitiques anciens accompagnés d'un flysch à puissants bancs gréseux.

- un flysch moyen à bancs gréseux décimétriques et intercalaires schisteux- J. SKACEL mentionne au mur de ce rythme quelques bombes volcaniques dans les grès, où elles perturbent la sédimentation.

- Un flysch fin, à dominante noire, au Nord (donc au toit de la série) riche en pyrite et en matière organique par places. Les figures de sédimentation sont rares à l'exception de microbrèches synsédimentaires. A l'Est se développent de petites coulées andésitiques interstratifiées.

2) Les manifestations volcaniques (tuffites, minces coulées andésitiques) sont peu fréquentes.

On remarque en général un parallélisme des bancs par rapport à la stratification générale, que l'on retrouve au niveau des séquences et des lits.

Les figures sédimentaires sont rares (microbrèches, stratifications entrecroisées). D'autre part, on ne peut mettre en évidence de chenaux ou de ravinements.

Les grains, de faible taille (0,01 à 1 mm) sont plutôt arondis, avec une tendance au granoclassement.

Il semblerait donc que la série puisse être reliée aux turbidites distales (WALKER 67) (roches formées par des courants de turbidité loin de leur source.

3)

a) Les constituants minéralogiques des schistes sont assez simples. Le quartz est abondant en grains, assez bien roulés, de faible taille (0,01 à 1mm).

Les feldspaths brisés - plagioclases surtout, mais également feldspaths potassiques - se rencontrent fréquemment.

Les produits phylliteux excessivement fins (chlorites et muscovite) séparent les éléments entre-eux; des micas plus gros, se disposent parfois à plat dans la stratification.

Les minéraux accessoires consistent essentiellement en zircon alluvionnaire et en pyrite, concentrée dans les schistes noirs essentiellement, mais également présente dans les autres formations.

Les caractéristiques des roches de la série P II sont celles de grauwakes surtout au Sud. Vers le Nord, ce caractère semble s'estomper et les roches sembleraient plus pélitiques.

b) Des minéraux de métamorphisme se rencontrent occasionnellement. J.SKACEL mentionne l'andalousite autour du TAOUSACHT.

Nous avons pu observer, dans certains échantillons des fantômes d'un minéral silicaté de métamorphisme, altéré en chlorite et en muscovite. La nature du minéral primaire n'a pu être établie avec certitude, toutefois, la forme des sections, toujours subhexagonales et jamais allongées, laisse à penser qu'il pouvait s'agir de cordiérite.

D'autre part, on rencontre également un grenat subautomorphe, très altéré en chlorite, en association avec le minéral précédent. Des chlorites porphyroblastiques sont fréquentes mais ne présentent pas en général d'orientation bien définie.

Une zonalité à l'échelle du champ ne ressort pas.

Le métamorphisme de contact suivi d'actions de type hydrothermal ayant favorisé une chloritisation intense, semblent être à l'origine des faciès rencontrés.

c) Certaines zones de schistes ou grès sont sillonnées de veinules de quartz ou de carbonates en microstockwerk discordant sur la stratification, et vraisemblablement liées aux minéralisations.

B - *La série du P II - III* -

Au Nord Est du domaine minier repose en discordance sur les schistes redressés (Direction Nord 80°, pendage 80° Nord) un bassin de conglomérats à caractère post-orogénique.

La discordance entre les deux séries est très nette puisque la série rattachée au précambrien II - III présente des pendages faibles dépassant rarement 30 degrés Nord.

Les formations du P II - III sont affectées d'un plissement léger au centre du bassin que traduit une évolution de la direction des couches de Nord 80 à Nord 50 degrés selon l'axe Ouest-Est. Les pendages, toujours dirigés vers le Nord évoluent peu.

Toutefois, au Nord, à proximité de la faille principale les pendages se redressent jusqu'à Nord 60 degrés et les directions se stabilisent autour de Nord 50 à Nord 60 degrés.

On peut distinguer deux épisodes principaux dans la sédimentation.

- une phase représentée essentiellement au Sud, près de la borne 8 de puissance réduite (15 mètres) constituée de tufs et d'agglomérats.

- une phase surmontant la précédente et la ravinant localement, beaucoup plus importante en puissance, à caractère détritique, composée de conglomérats, de grès fins et de pelites.

1 - La série de base :

a) Cette formation se caractérise par une alternance de niveaux fins indurés et de niveaux plus grossiers, trés altérés à apparence feuilletée. Les niveaux les plus grossiers contiennent des éléments anguleux pouvant atteindre 0,5 cm de diamètre, le ciment, peu abondant semble riche en feldspath.

b) En lame mince, ces roches présentent une assez grande variété d'éléments plus ou moins lités - Le classement est mauvais, le ciment très fin.

Le quartz, en grains brisés est assez rare. On retrouve des esquilles de schistes à chlorites, des fragments de grès ainsi que des morceaux de laves.

De grands feldspaths brisés, idiomorphes, mâclés albite et provenant vraisemblablement de roches volcaniques sont fréquents. Des produits phylliteux détritiques s'orientent selon la stratification.Des poches d'argile, liées à des aggrégats de séricite et de chlorite parfois fibroradiée traduisent l'existence de circulations.

c) Le caractère de tuf semble dominant sur l'ensemble de ces formations, bien que l'extrême finesse de certains termes rende l'interprétation difficile

2) La série détritique :

a) Cette série se caractérise par des alternances de passées conglomératiques et de niveaux plus fins. La base de la formation repose en conformité sur les tufs qu'elle ravine fortement - Elle débute par un niveau de conglomérats, de 30 à 35 mètres de puissance, mal classés, polygéniques, à éléments arondis et à ciment peu abondant. Les dimensions des galets varient de quelques centimètres à 50 centimètres de diamètre. On observe des blocs arrachés à la série P II - III de base, ainsi que des galets très altérés de granodiorite que l'on pourrait rattacher aux massifs du TAOUSACHT ou d'IGOUDRANE.

Ces deux types d'éléments ne se retrouvent pas dans les conglomérats qui apparaissent plus haut dans la série - On peut en outre déterminer des galets d'andésite, de grès quartzitique, de schistes verts, de schistes gris, de schistes métamorphisés contenant des taches d'andalousite ainsi que quelques fragments de quartz à éclat gras que l'on rencontre sous forme de filons très discontinus dans la série du P II.

b) La présence de ces éléments permet d'ébaucher une chronologie. Les conglomérats de la base du P II - III sont avec une certitude raisonnable postérieurs au métamorphisme des schistes du P II, à la surrection des massifs du TAOUSACHT et d'IGOUDRANE, à des manifestations filoniennes de quartz à éclat gras dans le P II.

c) Les conglomérats de base passent à des roches à sédimentation beaucoup plus fine et à stratification nettement visible. On peut y observer quelques figures de chenaux.

La puissance de cette formation fine est de 7 mètres environ. Une nouvelle passée de conglomérats très grossiers surmonte cet ensemble - Des éléments de la formation fine en galets anguleux semblent indiquer un nouveau ravinement.

Toutefois, la nature des éléments inclus dans les conglomérats varie peu.

d) De telles séquences se répétent avec une tendance nette à la diminution des termes les plus grossiers. Les éléments des conglomérats diminuent de taille pour atteindre 5 centimètres au toit de la série. La puissance des bancs conglomératiques diminue, tandis que les formations intermédiaires ou fines gagnent corrélativement en importance.

e) Des matériaux volcaniques n'ont pas été observés- L'influence d'un métamorphisme n'a pu être mise en évidence.

Certaines caractéristiques de la sédimentation conglomératique rappellent les tillites. Une origine glaciaire de ces formations n'est pas à exclure. Toutefois les formations grossières n'ont livré aucun galet de type dreikanter, de telle sorte que les preuves manquent totalement pour étayer cette hypothèse.

C - *Les formations du précambrien III* -

Au Nord de la faille principale d'IMITER se développe un complexe volcanique rattaché au précambrien III.

Le contact a ec les formations du P II et du P II - III est de style tectonique. Toutefois, les directions et les pendages des formations du P III ne diffèrent que peu de celles observées dans les terrains du P II - III (direction moyenne Nord 60 degrés à Est-Ouest, pendage moyen 30 à 35 degrés Nord).

1. La série débute par une microdiorite quartzique porphyrique ou un microgranite porphyrique qui affleure dans la zone centrale du domaine.

Les phénocristaux de quartz automorphe sont assez abondants.

Les feldspaths, assez trapus, atteints d'une altération progressant uniformément dans l'ensemble du cristal sont des microclines. Leur forme est automorphe.

La biotite, fortement chloritisée est rare.

Le fond est à dominante quartzique avec des lamelles de muscovite, de biotite et de chlorite.

Quelques minéraux opaques, vraisemblablement des oxydes de fer se rencontrent épisodiquement.

2. Cette formation est surmontée par une série andésitique composée de laves en alternance avec des tufs.

a) Les laves présentent une altération irrégulière de la partie vitreuse. Le quartz est très rare. Les plagioclases sont nombreux mais altérés. On peut observer des minéraux serpentinisés, vraisemblablement d'anciens orthopyroxènes au vu des sections octogonales.
D'anciennes amphiboles, présentant des clivages résiduels sur une section losangique fantôme pourraient dériver d'une hornblende brune.
Les feldspaths sont albitisés, les laves ont été soumises à une spilitisation à partir d'une roche de départ de type andésite.

b) Les tufs sont également spilitisés. Des fragments de lave peuvent y être discernés.

3. Le complexe andésitique est surmonté par un complexe à tendance rhyolitique, concordant, regroupant des laves et des tufs.

a) Les laves présentent des structures porphyriques.
Les phénocristaux sont du quartz corrodé, et des feldspaths calcitisés. Le fond felsitique ou vitreux comprend essentiellement quartz et feldspath.

b) Les tufs rhyolitiques ont une apparence plus ou moins litée. Des grains homogranulaires dessinent une stratification malgré la présence de fragments bréchiques de grande taille (laves). La muscovite, le quartz plus ou moins corrodé et les feldspaths sont les minéraux principaux de cette roche.

D - *Les formations postérieures au P III (CAMBRIEN)* -

Ces formations, stériles du point de vue des minéralisations reposent en discordance sur les terrains du P III. Toutefois, direction et pendage de ces séries concordent avec celles observées dans le P III.

1) Le géorgien débute par des conglomérats à gros éléments de roches éruptives et se poursuit par une barre de calcaire à patine fauve de 0,20 à 2 mètres de puissance.

2) L'acadien, assez puissant (200 à 300 mètres) consiste essentiellement en schistes verts finement lités, alternant avec des bancs gréseux.

E - *Les roches intrusives du DJEBEL TAOUSACHT et du DJEBEL IGOUDRANE* -

Le domaine minier d'IMITER est bordé au Sud et à l'Est par deux intrusions granodioritiques : le DJEBEL TAOUSACHT et le DJEBEL IGOUDRANE respectivement. Si le massif d'IGOUDRANE affleure sur une grande surface, le DJEBEL TAOUSACHT consiste plutôt en une lame granodioritique intrusive dans la série du P II.

Les deux massifs, dont la formation s'est accompagnée d'un métamorphisme de contact, peuvent être datés avec quelque vraisemblance de la fin du P II.

En effet, la discordance du P II - III sur le P II démontre l'existence d'une phase de surrection entre ces deux étages.

De plus, le métamorphisme des schistes du P II peut être daté anté P II - III puisqu'on retrouve des galets de schistes métamorphisés dans le conglomérat de base du P II - III.

Enfin, dans ce même conglomérat, on peut observer des galets de granodiorite qui semblent provenir soit du TAOUSACHT, soit du DJEBEL IGOUDRANE

1 - LE DJEBEL TAOUSACHT :

Les roches rencontrées sur le TAOUSACHT sont microgrenues, relativement claires.

Les analyses de trois échantillons ont donné les résultats suivants :

SiO_2	58,87	59,52	58,76
Al_2O_3	16,63	17,29	16,50
Fe_2O_3 + FeO	6,45	6,10	5,70
MnO	0,16	0,16	0,15
MgO	4,19	3,48	4,31
CaO	4,43	3,88	5,97
Na_2O	2,80	3,10	3,10
K_2O	2,95	2,80	2,40
TiO_2	1,22	1,08	1,07
P_2O_5	0,08	0,18	0,14
CO_2	-	-	-
H_2O^+	1,83	1,97	1,58
H_2O^-	0,18	0,24	0,16
TOTAL...	99,79	99,80	99,84

En lame mince, on peut observer une tendance doléritique.

- Le quartz se présente, en assez grandes plages. Il englobe tous les autres minéraux et revêt des faciès nettement xénomorphes. Son caractère tardif dans la paragénèse ressort.

- La biotite brune est abondante. On peut noter sa richesse en titane qui s'exprime sous forme de baguettes de rutile de destabilisation dans les chlorites secondaires.

- Une chlorite, parfois fibroradiée envahit les fissures de la biotite en altération.
  Une chlorite en lamelle coexiste avec la chlorite d'altération.

- Les plagioclases sont automorphes, en lattes, souvent saussuritisés au coeur. Ces plagioclases - Oligoclases ou andésines - enserrent rarement un feldspath potassique (orthose ?).

- Les amphiboles sont une hornblende verte, probablement précoce, renfermant de la magnétite en inclusions et une amphibole peu colorée souvent mâclée pouvant dériver d'une ouralitisation de pyroxènes.

- Les minéraux accessoires sont le zircon (dont quelques grains idiomorphes sont inclus dans le quartz) et l'apatite.
  La roche semble avoir subi une cristallisation rapide, pouvant correspondre à des conditions sub-apicales.
  Sa composition chimique et minéralogique tend à la rattacher à la famille des diorites.
  Les valeurs observées atteintes par les teneurs en H_2O + correspondent aux phénomènes d'ouralitisation et de saussuritisation (qui pourraient résulter d'effets hydrothermaux).

2 - LE DJEBEL IGOUDRANE :

Les roches du DJEBEL IGOUDRANE ressemblent à celles rencontrées dans le DJEBEL TAOUSACHT.

a) Les compositions chimiques différent peu : une analyse donne les résultats suivants :

SiO_2	56,76	CaO	5,41
Al_2O_3	17,16	Na_2O	2,60
Fe_2O_3 + FeO	7,34	K_2O	2,70
MnO	0,11	TiO_2	0,95
MgO	4,88	P_2O_5	0,14

H_2O^+	2,07
H_2O^-	0,13
Total	100,25

b) Du point de vue de l'observation en lame mince :

+ le quartz est peu abondant,
+ les plagioclases (oligoclase et andésine) sont idiomorphes, courts et saussuritisés. L'orthose est exceptionnelle.
+ la biotite se rencontre en grandes plages très idiomorphes.
  Elle est vraisemblablement primaire et précoce dans la paragénèse.
  Cette biotite englobe localement des zircons.
  On peut également observer une biotite de plus petite taille, altérée en chlorite et renfermant des baguettes de rutile et d'épidote, alignés sur le réseau de la biotite.
+ l'amphibole est une hornblende verte, dérivant probablement d'une ouralitisation de pyroxènes.
+ le zircon et l'apatite se rencontrent épisodiquement.

c) Ainsi, les roches du DJEBEL IGOUDRANE ressemblent elles fortement à celles du TAOUSACHT. Toutefois, le faciès sub-apical est moins net.

Ces roches se caractérisent également par des valeurs élevées de la teneur en H_2O^+.

Elles se rattachent à la famille des diorites.

F - *Les roches filoniennes* -

1). Les formations du P II et du P II - III sont traversées par de nombreux dykes de roches filoniennes de puissance variable (entre 0,5 et 5 mètres). Si certains de ces dykes traversent la faille principale d'IMITER, et se poursuivent dans le P III, d'autres butent sur cette structure et leur extension ne peut être retrouvée.

Il semblerait donc qu'il existe au moins deux générations de roches filoniennes, séparées dans l'échelle des temps par le jeu de la faille principale d'IMITER.

. Au voisinage de la zone minière, les dykes de roches filoniennes se caractérisent par des directions NNE et EW.

Le tracé en échelon de ces filons tendrait à indiquer qu'ils ont emprunté une direction NNE et se sont parfois infléchis vers l'Est à la jonction de fractures Est Ouest qui pouvaient préexister.

Malgré ces ruptures de direction importantes, on observe une continuité des filons au cours de l'inflexion.

. Certains grattages ou travaux anciens s'alignent sur ces structures.

. Enfin, les rares filons passant des terrains du P II à ceux du P II - III ne présentent pas de décalage notable. On peut donc fixer leur formation à un âge post ou syn P II - III.

2 a) Les roches filoniennes rencontrées à proximité d'anciens travaux ou sur des alignements minéralisés présentent en lame mince une structure doléritique.

Le quartz est peu abondant. L'altération est très intense. On peut pourtant observer de gros feldspaths albitisés mâclés en échiquier. Les mesures d'angle d'extinction donnent une teneur de 7 à 8% en anorthite. La calcite est fréquente. Il semble donc que ces roches soient des kératophyres (dérivant d'anciens trachytes).

b) On rencontre également des termes légèrement plus basiques que la présence possible d'ortho-pyroxènes serpentinisés et la rareté du quartz, xénomorphe et corrodé tendraient à rattacher au groupe des andésites.

Ces roches contiennent des feldspaths séricitisés en bordure et paraissent avoir subi une altération hydrothermale.

II - LES FILONS -

. Les alignements d'anciens travaux, de direction voisine d'Est-Ouest recoupent légèrement la direction des schistes (Nord 80 degrés) et se poursuivent dans le P II - III sans grande discontinuité. Les pendages, généralement dirigés vers le Nord sont redressés.

Les excavations jalonnent le tracé de structures, peu visibles au demeurant, caractérisées par des fragments de chapeau de fer ou des affleurements réduits d'un quartz à aspect gras.

Les minéralisations sont toutefois plus nettement exprimées dans le P II - III que dans le P II où leurs manifestations en surface sont très discrètes. En effet, on rencontre dans le P II - III des filons francs de quartz carbonates, liés à une minéralisation argentifère.

. Le quartz à éclat gras est très ancien. En effet, il est parfois repris dans des minéralisations à quartz carbonates que l'on trouve à la fois dans le P II et dans le P II - III. Il reproduit de plus, toutes les directions de fracturation observées sur le domaine d'IMITER. Enfin on en retrouve des fragments dans les conglomérats de base de la série P II - III.

Il semble donc que ce quartz puisse être daté du P II, ce qui implique l'existence précoce d'une fracturation de direction Est Ouest sur le champ d'IMITER.

Les minéralisations argentifères semblent liées à de telles structures à l'échelle du champ - Leur postériorité de dépôt par rapport au quartz laisse supposer que les fractures préexistantes ont pu servir de piège pour la minéralisation économique et conditionner des concentrations.

CHAPITRE IV : MÉTHODES ET MOYENS

I - DÉMARCHE DE LA RECHERCHE -

Le problème de l'étude des minéralisations d'IMITER présente un certain nombre de difficultés :

+ Le gisement a été exploité dans l'Antiquité, et il ne reste actuellement que peu de vestiges des formations rencontrées par les Anciens.

+ D'autre part, les minéralisations en place se trouvent particulièrement mal exprimées du point de vue macroscopique.

.) Les Anciens se sont attaqués à des zones riches qu'ils ont dépilées jusqu'à la limite des moyens techniques à leur disposition. Or à l'heure actuelle, la majorité de ces travaux sont remblayés.

.) D'autre part, les tas de haldes qui pourraient donner des informations sur le minerai des Anciens, ne renferment que peu d'indices d'une minéralisation argentifère.

On peut supposer que les fragments minéralisés étaient triés à vue, et que seules sont parvenus à nous des roches considérées comme stériles par les Anciens. Ce phénomène atteint une telle extension que, lors de la redécouverte de la mine, on crut un certain temps que le métal recherché à IMITER avait été le plomb.

Seules des observations réalisées par E. AMADE sur batées permirent de découvrir des paillettes d'Argent Natif, orientant de ce fait les recherches sur une récupération des haldes par cyanuration.

.) Enfin, on ne trouve pas trace dans les haldes de formations à allure filonienne nette.

Quelques fragments permettent de penser que les zones exploitées étaient surmontées par un chapeau de fer; toutefois, ces renseignements sont nettement insuffisants.

Ainsi, en vue d'une approche géologique et minière du problème posé par les minéralisations d'IMITER, était-il nécessaire de retrouver les guides des anciens, grâce à des méthodes de reconstitution, cependant que des recherches d'extensions étaient également poursuivies. D'autre part, le caractère épisodique des minéralisations nettement exprimées, ainsi que la présence de minéraux oxydés imposait un très large recours à la géochimie et aux observations microscopiques.

A - *Les méthodes de reconstitution* -

1 - Etude des haldes -

Les haldes, présentes sur tout le domaine en quantités importantes constituent des témoins utiles tant de la nature du minerai extrait par les anciens, que de leurs méthodes d'exploitation et de traitement.

Des études entreprises par le BRPM vers 1965 sur la granulométrie et les teneurs en Argent des déblais ont permis l'adaptation d'un procédé de traitement au problème de la récupération des haldes. D'autre part, la répartition des teneurs en Argent en fonction de la granulométrie, ainsi que l'analyse granulométrique elle même permettent une meilleure compréhension des rapports entre l'encaissant et la minéralisation.

Enfin, une certaine concentration de l'Argent, enregistrée dans les fines des tas de haldes permettait d'envisager l'hypothèse d'un enrichissement par voie alluvionnaire, et amenait à la découverte de nouvelles réserves transportées et redéposées par le réseau hydrographique (1974).

2 - LES ANCIENS TRAVAUX -

a) Les méthodes d'exploitation actuellement pratiquées dans les mines artisanales du Sud marocain montrent que les mineurs ont tendance à suivre le minerai à vue et à dépiler les zones riches selon leur exacte géométrie :

On peut donc imaginer que les vides décapés constituaient "une empreinte en creux" des minéralisations visibles pour les Anciens,et en déduire des régles morphologiques permettant de reconstituer certains guides structuraux.

A cet effet, des opérations de dégagement des Anciens Travaux ont été entreprises avec l'aide d'équipes temporaires.

Par ailleurs, une telle entreprise, indépendamment des renseignements qu'elle peut apporter est économiquement rentable, car les déblais souvent riches en Argent sont passés en usine et permettent de couvrir largement les

frais de la recherche.

Après dégagement, des cartes des Anciens Travaux ont été dressées en vue de faire ressortir les régles conditionnant la répartition spatiale du minerai.

b) De plus, un échantillonnage des excavations aussi systématique que possible a été réalisé, par rainurage, à la masse ou au marteau - Les quantités prélevées en chaque point portent sur une cinquantaine de kilogrammes de roches, qui après quartage sont analysées.

Les observations indirectes permettent de confirmer certaines déductions sur la configuration des zones riches, et d'établir des associations géochimiques ainsi que de déterminer des éléments-trace accompagnateurs de l'Argent.

c) Enfin, des minéralisations macroscopiques ont pu être observées dans les Anciens Travaux. Elles ont fait l'objet de prélèvements et d'études en laboratoire au microscope à réflection voire à la microsonde de Castaing, et ont permis de tirer un certain nombre de conclusions quant à la métallogénie du gisement.

B - *Les recherches d'Extensions* -

Conjointement à cette approche, une recherche des extensions du gisement était abordée.

A la suite des hausses survenues dans les cours de l'Argent en 1973-1974 un excédent imprévu des bénéfices d'exploitation, permettait de dégager des crédits importants en vue de mettre à jour du minerai neuf.

En raison de la faible taille et de la répartition mal connue des zones riches, il semblait préférable de procéder à des recherches d'extensions latérales, plutôt que d'explorer des avals problèmatiques. Ces opérations se sont déroulées sur deux plans :

- Augmentation des réserves par découverte de zones alluvionnées

à partir des tas de haldes.

- Campagnes de géochimie et de sondages sur anciens travaux déjà reconnus ou sur alignements filoniens.

1 Tests de géochimie à maille systématique

.) Des essais de géochimie de surface ont été effectués sur sols et sur roches en vue de tester la validité de la méthode dans le cas d'IMITER où la pollution à partir des tas de haldes, ainsi que le recouvrement sont importants. Une maille de 20 x 10 m ou 20 x 20 m a été implantée sur des secteurs limités (300 x 300 m).

2- Campagnes de sondages .

A la suite des résultats de l'étude des Anciens Travaux et des renseignements fournis par la géochimie, des campagnes de sondages ont pu être décidées.

.) Le BRPM avait déjà effectué des sondages carottés inclinés longs (80 à 180 m) en vue de déterminer la nature des minéralisations à l'aval des excavations anciennes les plus importantes. Les résultats n'avaient pas été particulièrement encourageants; un certain nombre de passées, reconnues à l'oeil comme minéralisées avaient fait l'objet d'analyses et une teneur maximale de 5,600 Kg Ag/Tonne sur 0,5 mètre avait été enregistrée, attestant la richesse et l'exiguité des filons argentifères.(E. AMADE).

.) Cependant les études menées dans les Anciens Travaux montrent de manière flagrante que des zones apparamment stériles sur observation visuelle peuvent être fortement minéralisées en Argent. Cette constatation décida M. SKACEL (1974) à faire réaliser des analyses systématiques sur les carottes entreposées, et permit la découverte de quelques passées riches (teneurs supérieures à 1 kg Ag/Tonne) qui avaient échappé à M. AMADE lors des premières recherches.

.) D'autre part, les cibles se présentent le plus généralement sous forme de colonnes de faible taille (6 à 8 m2) réparties de manière assez capricieuse.

Aussi était-il nécessaire de multiplier les sondages en vue d'obtenir le maximum d'impacts.

.) Enfin, d'un point de vue strictement économique, les dimensions restreintes des zones riches conditionnent une exploitation très précise à faible profondeur.

Les résultats obtenus par travaux miniers superficiels permettraient une meilleure compréhension des guides, nécessaire à une approche du problèmes des avals ainsi que des observations d'ordre plus général portant sur les relations du minerai et de son encaissant.

Il ressort de ces considérations que la méthode la mieux adaptée au problème particulier d'IMITER consiste en sondages percutants assez courts (entre 10 et 60 mètres), dont les sédiments sont analysés mètre par mètre pour 17 éléments au spectographe de BOU AZZER.

Le prix de revient au mètre est assez bas (entre 20 et 30 FF) ce qui autorise un métrage important, et par là augmente les chances d'impacts.

De plus, les analyses géochimiques permettent de compléter l'étude des accompagnateurs de l'Argent.

Enfin, si la précision des sondages percutants n'est que très relative, et la pollution des sédiments importante, il n'en reste pas moins que les indications fournies, autorisent un passage direct aux travaux miniers, en raison des cours élevés atteints par l'Argent. En effet, un tonnage même faible, extrait à partir des Travaux Anciens, couvrirait en grande partie les frais des Travaux d'approche et donnerait le maximum d'informations sur la minéralisation.

II - MOYENS UTILISÉS -

Les moyens utilisés tant dans la phase de reconstitution que dans celle de recherche à proprement parler sont conditionnés par les caractères particuliers d'une minéralisation peu visible et fortement oxydée.

A - *Analyse d'échantillons en masse* -

1 - Le spectrographe d'émission .

Les sédiments des sondages percutants, les échantillons de géochimie ainsi que les prélèvements en masse ont fait l'objet d'un broyage puis d'un quartage approprié avant d'être analysés au spectrographe d'émission de BOU AZZER.

Cet appareil de fabrication soviétique permet de doser rapidement de manière semi quantitative un grand nombre d'échantillons pour 17 éléments.

L'intensité des raies émises par une poudre excitée par arc est enregistrée sur une plaque photographique, puis comparée à des étalons connus.

La concentration en un élément est ainsi déduite par interpolation d'une couche d'étalonnage.

Les limites de sensibilité de l'appareil varient selon les éléments =

Co Ni Cu Pb Mo Cr Bi Mn As B Zn :	1 - 1000 ppm
Sn	3 - 1000 ppm
Au	4 - 300 ppm
V	1 - 100 ppm
Ag	0,1 - 20 ppm
Ti	0,001% - 1%

2 - Le spectrographe d'absorbtion, la fusion coupellation .

Les éléments dont la teneur dépasse le seuil de sensibilité du spectrographe d'émission sont analysés postérieurement soit par voie chimique, soit sur un spectrographe d'absorbtion à flamme de type PERKINS, soit pour l'argent, par fusion coupellation.

3 - Les méthodes d'interprétation .

Etant donné le nombre important des données fournies par les analyses chimiques et l'intérêt d'une étude aussi systématique que possible des spectres géochimiques; des traitements statistiques ont été effectués soit par la méthode Claude Lepeltier (Econ. géol. 1969), soit sur ordinateur.

Le programme CORREL, permettant d'obtenir pour 11 éléments les principales caractéristiques des distributions, ainsi que de calculer leurs matrices de covariance et de corrélation a été appliqué systématiquement sur l'ordinateur PHILIPS P 1175 du centre de calcul de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne.

.) Les échantillons ont été regroupés tout d'abord par provenance, afin de caractériser le spectre géochimique de chaque zone de travaux étudiée, et de mettre à jour d'éventuelles évolutions.

.) D'autre part, en vue de constituer des populations homogènes, il a été tenu compte dans la mesure du possible, du mode de prélèvement.

En effet, lors d'un échantillonnage effectué sur sédiments de sondage percutant, certains éléments peuvent être déprimés en raison de leur densité, ou de leur fragilité; d'autres peuvent être artificiellement enrichis en raison de leur faciès pulvérulent.

Or ces phénomènes perdent de leur importance dans les prélèvements en masse.

Ainsi, la coexistence au sein d'une même population d'échantillons obtenus par ces deux modes opératoires pourrait introduire des biais fâcheux, masquer des relations, ou au contraire, en susciter d'inexistantes lors d'un traitement statistique.

.) De plus, afin de diminuer au maximum les biais dûs à la méthode d'analyse, nous nous sommes efforcés de regrouper des analyses ayant été effectuées quasi simultanément sur un même appareil, et interprétées par le même technicien.

.) Enfin, nous nous sommes limités à l'étude des échantillons possédant une teneur anormale en Argent (supérieure à 20 grammes/tonnes).

En effet, ces échantillons représentent une population facilement individualisable et assez homogène, à l'intérieur de laquelle des corrélations statistiques sont possibles.

Cette démarche permet d'aborder le problème des spectres géochimiques à deux échelles :

- à l'intérieur d'un même secteur de travaux :
  relations entre éléments accompagnateurs à proximité immédiate des concentrations argentifères.

- à l'intérieur du domaine minier :
  comparaison des spectres enregistrés au voisinage des concentrations argentifères entre eux, et étude de leur évolution spatiale.

Toutefois, l'hypothèse discriminatoire d'une teneur en Argent supérieure à 20 grammes/tonne, si elle rend possible des comparaisons à l'échelle du domaine, interdit de prendre en compte les résultats de corrélations se rapportant à l'Argent. En effet, les teneurs en Argent seront déterminées au PERKINS et non au spectrographe comme celles des accompagnateurs. Aussi, l'Argent intervient-il plus dans cette étude comme un dénominateur commun, que comme un membre à part entière de la population.

B - *Etudes de sections polies* -

Des échantillons minéralisés, récoltés essentiellement sur des fronts d'attaque dans les Anciens Travaux ont fait l'objet d'études au microscope métallographique. Toutefois, en vue d'affiner certaines observations il a été fait largement usage de la microsonde de Castaing du centre de minéralogie industrielle de Fontainebleau - Corbeil -

Cette méthode a permis de visualiser sur photographies certaines relations complexes entre minéraux argentifères et minéraux accompagnateurs -

De plus, grâce à la possibilité d'analyses ponctuelles quantitatives, certains minéraux ont pu être déterminés, sur le plan de leur composition.

CHAPITRE V

V - LES ANCIENNES METHODES D'EXPLOITATION - LES HALDES -

I - LES METHODES d'EXTRACTION -

1 - Envergure des travaux :

Les anciens travaux se présentent sous forme d'excavations alignées qui vont du grattage jusqu'à la carrière de 150.000 m3 pour le tas A.

L'importance moyenne de ces ouvrages avoisine 20.000 m3. (Tas B, borne 8, borne 3 etc...).

2 - Morphologie des travaux :

Le style des travaux varie selon la nature des terrains rencontrés :

a) Les parois des excavations creusées dans les schistes suivent les surfaces de discontinuité structurale. On rencontre sur les flancs et aux extrémités des carrières des cheminées de section faible (de 1 à 8 m2).

On peut penser que l'exploitation dans une phase initiale s'effectuait par des cheminées, dont les stots se sont effondrés à la suite de fauchages - En effet, on rencontre dans les déblais des blocs énormes au milieu de sédiments fins.

Toutefois, l'hypothèse d'un abattage des stots dans les parties riches et profondes n'est pas à exclure. Les travaux souterrains - soit dépilages, soit galeries, sont rares dans ce type de terrains en raison de la mauvaise tenue des schistes.

b) dans les formations grossières, les travaux se présentent comme un chapelet de cheminées individualisées ou comme des tranchées franches.

Des dépilages secondaires orientés Nord-Sud sont fréquents, quoique de faible taille (1 à 2 mètres de large, 5 à 15 mètres de long, 1 à 5 mètres de haut).

Cette configuration se rencontre dans les travaux de la borne 3 Est, et de la borne 8, encaissés dans des conglomérats.

c) Enfin, dans la partie Ouest de la borne 3, on trouve une mine avec un puits d'accès de 12 mètres et des étages d'exploitation reliés entre eux par des descenderies irrégulières.

3 - Méthodes et techniques :

Certaines caractéristiques ressortent de l'inventaire des anciens travaux.

a) Les mineurs suivaient le minerai sous forme de plaquettes d'argent natif visibles en surface dans un chapeau de fer, avant de recourir, au fur et à mesure de l'approfondissement à des guides plus élaborés.

L'extrême irrégularité des dépilages donne à penser que les anciens n'abattaient que le strict nécessaire à leur passage, sans considération de sécurité et de confort - Les dimensions des cheminées ou de certaines galeries sont réduites à tel point qu'un adulte éprouve des difficultés à s'y mouvoir - à plus forte raison à y travailler.

Les méthodes prévisionnelles semblaient inconnues ainsi que les recherches par galeries au stérile.

b) L'exploitation s'effectuait en descendant - Les mineurs accédaient au fond des cheminées grâce à des entailles pratiquées dans les parements.

c) Les anciens pratiquaient localement un soutènement rudimentaire par étais.

Le bois de mine employé était le tuya, abondant dans le Sud, au Moyen Age, selon les légendes.

Toutefois, les vestiges très abimés qui nous sont parvenus sont difficilement interprétables et ne peuvent permettre de conclure quant à la méthode de boisage utilisée.

d) certaines excavations ont été poussées à des profondeurs importantes, à tel point que les anciens se sont vus confrontés à des problèmes d'exhaure.

Des systémes d'évacuation des eaux ont été mis au point. Une rhettara débouchant au jour par un grand nombre de petits puits, et aboutissant à un oued situé en contre bas des travaux servait à rabattre la nappe à l'intérieur de la carrière principale du tas A.

Ce réseau d'une longueur supérieure à 100 mètres a été dégagé. La sole de la galerie, localement dallée, était recouverte d'une couche argileuse fine, litée, témoin d'un écoulement calme.

e) Enfin, l'outillage utilisé par les anciens était rudimentaire. On a pu retrouver des maillets en pierre (granite ou andésite) présentant des encoches - Si ces instruments étaient suffisants pour abattre des schistes fracturés, on peut se demander s'ils étaient assez performants pour s'attaquer aux conglomérats de la borne 3 - Pourtant, les parois de ces travaux sont constellées d'impacts.

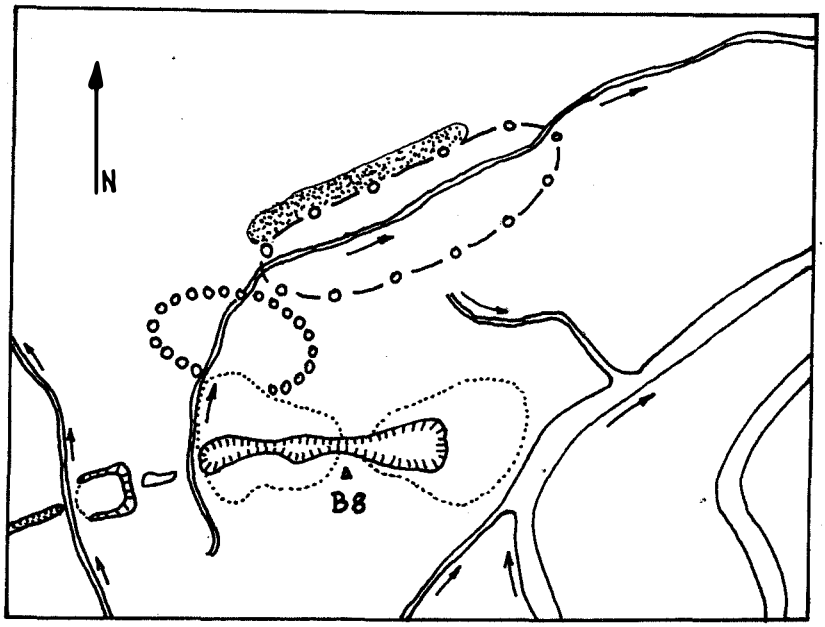
Des outils en fer n'ont jamais été exhumés, en raison, sans doute, d'une corrosion importante. Des clous à tête ronde ont toutefois pu être retrouvés dans un tas de haldes de la borne 8.

II - LES METHODES DE TRAITEMENT -

Après la phase d'extraction, les anciens pratiquaient un traitement efficace si on songe que les haldes actuellement traitées titrent 300 grammes/tonne, et que le minerai riche reconnu atteint des teneurs dépassant 1 kg/tonne.

Des vestiges d'un site d'enrichissement ont été découverts et permettent de se faire une idée des procédés utilisés par les anciens.

1 - Sur le flanc Nord d'une colline dénommée borne 8, bordée à l'Est et à l'Ouest par un oued, traversée d'Est en Ouest par une exploitation importante, puisque l'ensemble de la zone représentait un potentiel de 40.000 tonnes de haldes, on rencontre dans le sens de la pente divers ateliers.



..... Haldes

o o o o o Zone à broyeurs

o — o Zone à cuves (traitement hydraulique)

Haldes scoriacées

Figure V-1. Schéma d'un site d'enrichissement (Ech. 1/5000)

a) une zone de broyage qui a livré de nombreuses meules en granite, circulaires, parfois usées par le frottement - Ces meules d'un diamètre variant de 0,5 à 1 mètre sont souvent percées d'un trou d'axe central à encoches cruciformes, permettant de les mettre en rotation à l'aide d'un bras de levier. D'autre part, on trouve également à proximité, des mortiers en pierre dure (granite, laves vertes) présentant des entailles pour les doigts.

b) Une zone d'enrichissement au fond de la vallée.

Ce complexe fut découvert lors de la reprise de haldes entrainées par l'oued et alluvionnées au fond de la vallée. Après le passage du trax, on remarquait des zones circulaires sombres, de couleur plus grise que celle du sol alentour.

Le déblaiement à la pelle d'un de ces points permit de mettre à jour une cuvette taillée dans le sol et maçonnée, dont le contenu, excessivement fin, atteignait une teneur en argent supérieure à 1 kilogramme/tonne.

Les recherches furent dès lors systématiques et ont amené le déblaiement d'environ 100 excavations d'un diamètre de 1 à 2 mètres pour une profondeur de 0,5 à 1 mètre.

Les cuves communiquent entre elles par des réseaux complexes de séguias, souvent détruites.

On peut penser que le minerai, broyé, était déposé dans les cuves, lavé par l'oued coulant à débit modéré, et enrichi de ce fait par gravité - La succession des cuvettes sur une "ligne" devait permettre une récupération meilleure par sédimentations successives.

Un tel procédé nécessitait un écoulement continu de l'oued, mais la région d'IMITER était jadis plus humide qu'actuellement. On retrouve en effet des noyaux de pêches dans le fond de certains travaux, indices certains d'une agriculture prospère.

c) un centre de fusion : à proximité immédiate du complexe d'enrichissement, on rencontre une zone de haldes scoriacées riches en charbon de bois - Aucun autre vestige n'a pu être retrouvé.

2 - Un autre sîte archéologique, situé plus à l'Ouest permet de mieux appréhender les techniques de fusion du minerai.

Sur une butte (proche de la borne 3) on peut trouver des restes de fours archaïques ainsi que des débris de creusets en terre qui ont servi à la fusion de petits lingots d'argent.

En effet, ces creusets ont accusé à l'analyse des teneurs en argent de 120 grammes/tonne (AMADE confirmé en 1974) - Ils se présentent comme des plaques de 25 x 25 centimètres, d'une épaisseur de 1 centimètre, entourées par une rigole.

Les anciens y versaient une poudre enrichie et récupéraient l'argent sous forme de perles. Un tel procédé est compatible avec la fusion au charbon de bois, abondant dans le sol de certaines zones de traitement.

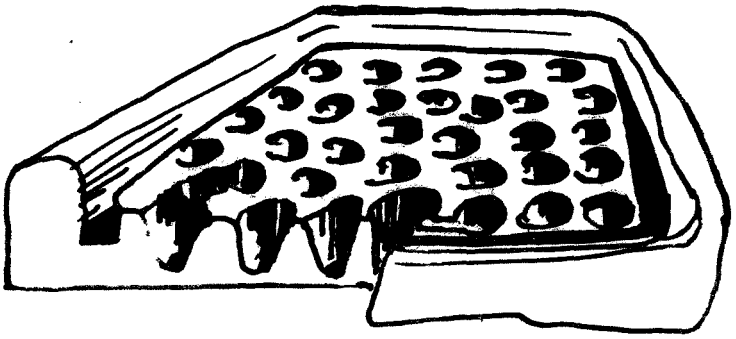


Figure V-2. Croquis d'un "petit creuset" ancien.

3 - Enfin, Monsieur Amade décrit des vestiges d'un village ancien, qui n'a encore fait l'objet d'aucune investigation.

III - LES HALDES ANCIENNES -

1- Description :

. Les Haldes se présentent sous forme de tas proches des anciennes exploitations, souvent remblayées. On distingue des niveaux plus ou moins stratifiés, des alternances de matériaux fins ou grossiers. Des minéraux exprimés sont difficilement observables. Toutefois, des batées permettent de découvrir de fines paillettes d'argent natif.

. Monsieur SMEYKAL sur concentrés de table a déterminé dans une zone des haldes les minéraux suivants :

pyrite - blende - boulangérite - galène - marcasite - covelline - argent natif - hématite - limonite - cérusite - wad.

. Une indication sur la richesse en argent des haldes est donnée par la couleur gris-foncé, et par la présence sur les doigts, lorsqu'on effrite des fines agglomérées, de particules brillantes.

2 - Relations entre teneur en argent et nature du matériau :

. Il ne semble pas que la nature du matériau composant les haldes permette de conclure à une éventuelle richesse en argent; tant des déblais terreux en apparence, que composés de blocs de schistes peuvent être fortement minéralisés.

. Toutefois, la position de certains tas permet des discriminations. En bordure de l'excavation principale dite du tas A, on rencontre au Sud des haldes pauvres (100 - 150 g Ag/T) et au Nord des haldes riches (> 400 g/t argent). Les haldes pauvres, essentiellement composées de schistes verts, semblent provenir d'une sélection en cours d'exploitation entre minerai et stérile.

Le minerai encaissé dans des schistes plus ou moins noirs aurait été regroupé en vue d'un traitement à proximité d'un oued (au Nord de la carrière) tandis que le stérile aurait été rejeté au Sud.

3 - Granulométrie des haldes :

Des analyses granulométriques partielles des haldes d'IMITER ont été effectuées sur les différentes zones de travaux.

Les résultats de cette étude sont consignés dans les tableaux ci-dessous.

a) Formations du PII (schistes) :

	> 50mm	35-50mm	10-35mm	< 10mm
TAS B RICHE	1 %	3,6 %	16 %	79,4 %
TAS A Nord RICHE	15 %	9 %	16 %	60 %
TAS A Sud PAUVRE	19 %	12 %	37 %	32 %

b) Formations du P III (conglomérats) :

	> 50mm	35-50mm	10-35mm	< 10mm
B 8 W RICHE	3 %	6 %	28,5 %	62,5 %
B 8 E PAUVRE	9 %	11 %	56 %	24 %

c) On peut donc penser que les haldes riches se caractérisent par une forte proportion d'éléments de granulométrie inférieure à 10 mm - Le fait peut s'expliquer par un traitement manuel (prébroyage et schéidage) du minerai supposé riche.

En effet, les tas pauvres présentent une granulométrie beaucoup plus régulière, alors que les matériaux qui les composent ne semblent pas différer fondamentalement de ceux que l'on retrouve dans les haldes riches.

d) D'autre part, Monsieur BOUTELOUP (1970) note sur une analyse statistique de l'ensemble des haldes du tas A la présence en superposition de deux populations de teneurs (tas A Nord et tas A Sud), ainsi qu'un enrichissement des deuxièmes et troisièmes metres des haldes par lessivage de fines.

Ces constations, étayées sur une étude du BRPM (Mars 1967) (section de la valorisation des minerais) permettent de penser à un enrichissement des teneurs en argent dans la fraction fine. Toutefois, des blocs prélevés dans les haldes ont parfois accusé des teneurs en argent économiques, ce qui interdit au niveau de l'alimentation de l'usine un scalpage trop sévère.

4 - Analyse chimique d'un échantillon stantard des haldes :

Le tableau suivant, extrait d'une étude du BRPM donne la composition chimique moyenne du minerai récupéré à IMITER (FV. 11510 - IMITER).

Ag	394 g/t	S	1 700
Cu	30 g/t	Mn	1 700
As	350 g/t	SiO_2	62,8%
Pb	3 700 g/t	Fe	4,8%
Zn	1 100 g/t	CaO	1,6%
Sb	170 g/t	MgO	1,1%

Toutefois cette analyse est indicative et ne saurait représenter le cas particulier de chaque tas de haldes.

PARTIE 2 : LES CORPS MINERALISES -

- INTRODUCTION -

Le gisement d'argent d'IMITER présente une grande variété de corps minéralisés, distinguables tant par des différences d'encaissant que de structure, de paragénèse et de spectres géochimiques.

Nous allons envisager séparément les principaux corps minéralisés du Précambrien II - III et du Précambrien II sous ces divers aspects.

La difficulté à obtenir des observations directes sur le protore conditionne une telle démarche.

Nous avons tenté par une accumulation de preuves indirectes se recoupant avec plus ou moinsde bonheur, de pallier à une carence due à la nature même du problème posé. Ainsi, la répétition de certaines hypothèses traitées sous des points de vue complémentaires s'avère t-elle inévitable.

Toutefois, cette démarche quelque peu pesante permet de relier entre elles des interprétations formulées sur chaque corps individualisé, et conduit à une vue plus synthétique du champ minéralisé d'IMITER.

DEFINITIONS :

L'interprétation minéralogique d'IMITER fait appel aux phénomènes de remaniement supergène (oxydation et cémentation). Afin d'éviter des ambiguïtés terminologiques, nous allons tenter de rappeller les principaux termes utilisés ainsi que les facteurs qui conditionnent à la fois le lessivage et le dépôt supergène de l'argent.

Les gîtes d'argent présentent souvent des enrichissements notables dus à des phénomènes de remaniement supergène par circulation d'eaux météoriques.

La terminologie classique distingue dans le sens de la circulation des solutions :

- le chapeau de fer (zone sur-oxydée)
- la zone oxydée
- la zone de cémentation

Les deux dernières zones sont séparées plus ou moins rigoureusement par la surface hydrostatique locale.

Les conditions physico-chimiques de Eh et pH varient largement entre les zones précédemment définiees et conditionnent le remaniement des paragénèses primaires. Ainsi, les distinctions établies reflètent-elles plus ou moins imparfaitement l'évolution des conditions physico-chimiques du milieu.

a) La zone d'oxydation :

Les eaux météoriques riches en oxygène attaquent dans la zone d'oxydation proche de la surface topographique les sulfures ou les sulfosels d'argent primaires (galènes argentifère, argentite, freibergite, proustite, pyrargyrite, polybasite, matildite, etc...), en formant un sulfate soluble, ou si les eaux contiennent du gaz carbonique un hydrogénocarbonate également soluble.

ex : $Ag_2S + 2\,O_2 \rightleftharpoons Ag_2\,SO_4$

$Ag_2S + 2\,CO_2 + 2\,H_2O \rightleftharpoons Ag\,H\,CO_3 + H_2S$

. Dans certaines conditions, l'argent peut se combiner avec des éléments de la série alcaline (chlore, brome ou iode) et former des ions complexes, donnant naissance à des minéraux tels que la chlorargyrite, la bromargyrite et l'iodargyrite.

. L'action des ions ferreux ou ferriques est importante, ainsi que la présence de pyrite, encore que les effets dus à ce minéral soient moins marqués que dans le cas du cuivre.

En effet, l'attaque des pyrites par des eaux riches en oxygène libère de l'acide sulfurique qui réagit sur les minéraux argentifères :

$2\,Ag + H_2\,SO_4 \rightleftharpoons Ag_2\,SO_4 + 2\,H_2O + SO_2$

D'autre part, les réactions de l'argent avec le sulfate ferreux ou ferrique conditionnent la mise en solution ou la précipitation selon une équation réversible dépendant du rapport Fe^{3+}/Fe^{2+}

$2\,Ag + Fe_2\,(SO_4)_3 \rightleftharpoons Ag_2\,S\,O_4 + 2\,Fe\,S\,O_4$

En effet, le sulfate ferreux agit comme un précipitant pour le sulfate d'argent.

Ainsi, dans la zone proche de la surface, où l'oxygène libre est abondant, la prédominance des ions ferriques facilite la mise en solution de l'argent.

Par contre, en profondeur, avec la décroissance du potentiel d'oxydo-réduction, se manifeste une croissance de la concentration en ions Fe^{++} qui conduit à une précipitation de l'argent,

mobile en solution sous forme de sulfate, au sein même de la zone oxydée telle qu'elle est définie par les auteurs.

. La présence de sidérite manganésifère libère des ions Mn^{++} lors de l'oxydation - Les ions facilitent la précipitation de l'argent au voisinage d'un pH neutre selon la réaction suivante qui peut s'apparenter à une cémentation au sens large :

$$Mn^{++} + 2\ Ag^{+} + 4O\ H^{-} \rightleftharpoons 2\ Ag + Mn\ O_2\ H_2O + H_2O^{-}$$

. Enfin, les interactions entre les solutions enrichies en argent par lessivage et les gangues sont importantes, encore que mal connues, ainsi que le comportement d'ions complexes dont on commence à soupsonner l'existence.

Ainsi, la zone d'oxydation est elle le siège de deux phénomènes distincts

- dans la partie supérieure essentiellement, les sulfures sont lessivés et les constituants métalliques mis en solution.
- dans une partie plus profonde, les phénomènes de lessivage se poursuivent quoique avec une intensité moindre. Des actions de précipitation d'ion métal en solution se développent, pouvant amener un enrichissement considérable des teneurs. Certaines de ces réactions s'apparentent à des phénomènes de cémentation au sens large dans la mesure où la présence d'un minéral conditionne le dépôt d'un métal. Toutefois, le terme de cémentation, traditionnellement appliqué à la précipitation par un sulfure, ne sera pas employé pour définir de tels phénomènes.

Pour l'argent, les minéraux secondaires rencontrés dans les zones d'oxydation sont essentiellement l'argent natif, l'argentite (ou acanthite) et les argents rouges, que l'on regroupera sous le terme de minéraux supergènes de la zone d'oxydation.

b) *La zone de cémentation* :

Cette zone se situe en dessous de la surface hydrostatique. Les métaux en solution qui s'échappent de la zone oxydée atteignent la surface hydrostatique où les conditions sont plus réductrices, et se déposent sous forme de sulfures secondaires, en remplacement de sulfures primaires. Au cours de ce remplacement, le rapport métal/soufre augmente. L'ordre de remplacement des sulfures est conditionné par la série de SCHURMANN des solubilités croissantes.

Hg - Ag - Cu - Bi - Pb - Zn - Ni - Co - Fe - Mn

n'importe quel élément sous forme ionique sera précipité par le sulfure d'un élément situé à sa droite dans la série.

A l'échelle microscopique, les phénomènes de cémentation se traduisent par un fin revêtement de sulfures supergènes à la surface de grains hypogènes, pouvant se poursuivre jusqu'au remplacement total.

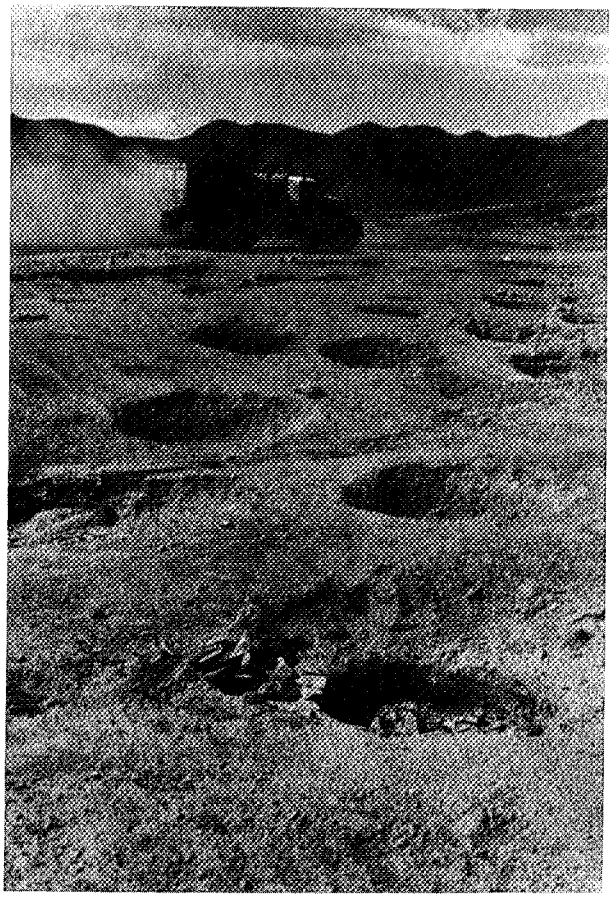
On parlera dans ce cas de minéraux supergènes de cémentation.

c) *La zonalité* :

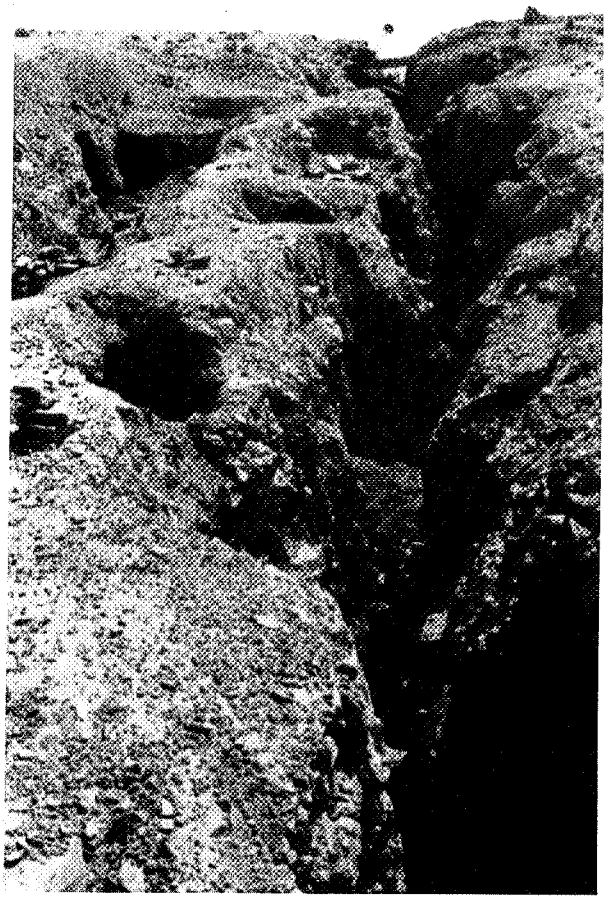
Bien qu'une séparation théorique tranchée, ne puisse traduire l'évolution dynamique d'un phénomène régi par les variations continues des conditions physico-chimiques (Eh et pH), nous nous en tiendrons à la terminologie classique.

Toutefois, en utilisant de telles définitions, la zonalité des parties enrichies des gisements d'argent et la distinction entre zone oxydée et zone cémentée deviennent des vues de l'esprit; dans la réalité, les limites entre ces deux zones sont floues, à tel point que zone d'oxydation et zone de cémentation peuvent localement coexister.

Planche VI-1 : LES ANCIENS TRAVAUX DE LA BORNE 8 -



L'ancienne "laverie"
Site d'enrichissement par voie aqueuse



Vue des travaux prise de l'Ouest vers l'Est.

Zone broyée exploitée par les Anciens

Conglomérats de l'encaissant

CH.VI A : LES TRAVAUX DE LA BORNE 8 -

I - PRÉSENTATION -

A - *Généralités* -

Les anciens travaux de la borne 8 sont situés en bordure de l'Oued TACHRAKATCH, dans la partie Sud Est de la zone cartographiée par J. SKACEL.

Les excavations se présentent comme un ensemble d'orientation sensiblement Est-Ouest, exploitant un alignement qui traverse des conglomérats et des schistes.

Cependant, l'ampleur des travaux est très inégale; seule la partie la plus orientale présente un intérêt :

- A l'Ouest, on ne rencontre que des grattages légers, dont les déblais, peu volumineux au demeurant, ont des teneurs en argent ne dépassant pas 100 g/t.
- La partie Est des travaux, beaucoup plus développée, a livré un tonnage de haldes en place de 14 000 tonnes à une teneur en argent de 310 g/t soit 4 500 kg d'argent métal, réparti en deux zones :
  + une zone riche à l'Ouest.
  + une zone plus pauvre en bordure de l'Oued à l'Est.

D'autre part, 11 000 tonnes de haldes alluvionnées ont été reprisés à proximité immédiate du centre de gravité des travaux dont ont été extraits moyennant une teneur en argent de 450 g/t 5 000 kilogrammes d'argent métal.

B - *Morphologie des travaux anciens* - (cf.carte VI-1)

Les excavations de la borne 8 se prolongent sur une longueur de 450 mètres. L'alignement filonien suivi est orienté Nord 90 grades dans la partie orientale, pour obliquer après 100 mètres vers Nord 70 grades.D'Ouest en Est on distingue :

- Des grattages dans les schistes et les conglomérats sans extension, ni en largeur, ni en profondeur.

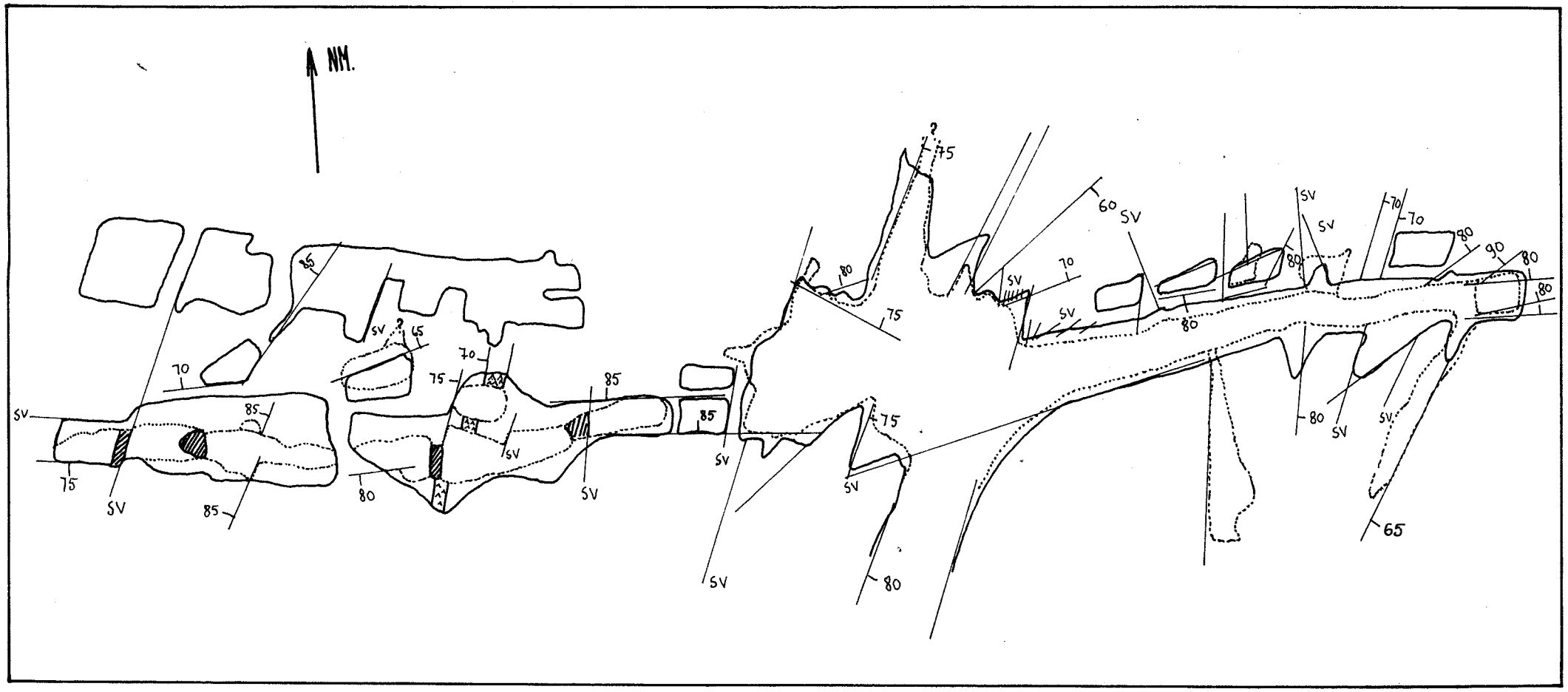


Figure VI-1 : Schéma topographique et tectonique des anciens travaux de la borne 8 - Echelle 1/200ème.

- Une zone assez peu développée, orientée Nord 70 grades, composée d'un chapelet de cheminées de faible taille mal explorées dans l'état actuel des travaux - La profondeur reconnue ne dépasse pas en effet, deux mètres. L'alignement se poursuit sur 40 mètres de longueur Les dimensions moyennes des cheminées sont de deux mètres sur un mètre de largeur.

- Une zone de travaux en cheminée, profonds, débutant à l'infléchissement du filon vers Nord 80 grades.
  Deux réseaux plus ou moins parallèles de cheminées exploitent une surface de 25 mètres de long sur 10 mètres de large. On distingue 2 axes nettement distincts, avec épisodiquement des cheminées isolées implantées dans l'intervalle les séparant - Toutefois les cheminées situées au Nord sont peu dégagées.

- Une zone en excavation assez ramifiée de 10 m x 10 m.

- Une zone enfoncée en couloir dans les conglomérats, avec stots très rares sur une longueur de 20 mètres et une largeur de 3 mètres. Cette partie est riche en accidents et grattages sur le parement Sud, implantés sur des fractures d'orientation Nord Sud.

Les dépilages secondaires s'enfoncent de 8 mètres environ dans les conglomérats sur des largeurs extrêmement faibles de l'ordre du mètre dans les meilleurs cas.

On rencontre de plus, quelques cheminées à l'éponte Nord, de faible dimensions : 2 à 3 mètres carrés de section.

L'excavation principale s'enfonce à 10 mètres sous la surface topographique. Un puits foré dans les déblais a été abandonné à la côte - 21 mètres _

- Une ouverture en amphithéâtre dans les niveaux fins que surplombent les conglomérats. Les travaux, non déblayés, affectent la forme d'une cuvette largement ouverte vers l'Oued, d'un diamètre de 30 mètres.

II - MINÉRALOGIE -

A - *Minéraux non métalliques* -

- Les filonnets qui parcourent les fronts reproduisent assez fidèlement sur un ou deux centimètres dans les cas les plus favorables, les éléments d'une gangue quartzo-carbonatée.

1+ Le Quartz, souvent oxydé, affecte un faciès en peigne à remplissage de limonite pulvérulente ou de calcite sombre. On rencontre également des imprégnations siliceuses très anastomosées au voisinage des filonnets.

2+ De la dolomite jaune, rarement cristallisée, parfois mouchetée de minéraux manganésifères en surface, accompagne le quartz dans la plupart des microfilons.

3+ La limonite est présente avec une très grande constance - Elle se rencontre sous forme pulvérulente en remplissage de joints, de cassures et se concentre dans certaines zones - écran par perméabilité différentielle. Dans les microfilons, elle se trouve étroitement liée au quartz qu'elle envahit le long de ses fractures, et elle souligne les contacts avec les épontes - En régle générale, toutes les zones de circulation des eaux sont minéralisées en une limonite brunâtre, très fine en granulométrie.

. L'origine de cette limonite est douteuse - On peut penser la faire dériver d'une ancienne ankérite ou sidérite, dont on retrouve quelques rares vestiges, sans toutefois que cette hypothèse puisse être démontrée.

. Des analyses effectuées sur la limonite montrent des teneurs élevées en éléments-trace. Soit la limonite s'est imprégnée d'éléments mobibiles en solution qui se sont piégés chimiquement à son contact, soit ces teneurs sont résiduelles et correspondraient à d'anciens minéraux sulfurés. L'absence de structures reliques et le faciès pulvérulent tendraient à prouver que dans cette hypothèse, les réactions d'oxydation auraient été totales.

Enfin les valeurs observées concordent avec celles enregistrées dans le filon pour la plupart des éléments, et les phénomènes de concentration jouent surtout pour des éléments mobiles tels que le manganèse, le zinc, l'arsenic et le cuivre, dans une moindre mesure pour l'argent, l'étain et l'antimoine.
La fraction fine, inférieure à 0,59 mm est nettement plus riche en éléments-trace que le refus à cette maille (rapport des teneurs >2).
Cette observation étaye l'hypothèse d'un caractère transporté du cortège géochimique rencontré - En effet, si les éléments-trace étaient initialement liés à la limonite, les différences de granulométrie n'influenceraient que faiblement les teneurs. Dans le cas d'un piégeage d'éléments en solution, la fraction offrant la plus grande surface spécifique présentera une concentration nette des éléments.

B - *Minéraux métalliques* -

- Les minéraux métalliques sont rares.

L'altération est très importante, à tel point que des éléments comme le zinc, localement présents à des teneurs de l'ordre du pourcent n'ont pu être macroscopiquement, ni même microscopiquement mis en évidence, sous forme minéralogiquement exprimée.

Ainsi, un seul échantillon minéralisé a pu être découvert à l'extrémité Est du dépilage principal sur un front abandonné par les anciens :

à une profondeur de 18 mètres environ, on trouve les traces d'une caisse filonienne de faible ampleur (quelques centimètres) présentant une succession marquée, et que l'on peut suivre sur 1 mètre de relevée.

Du Nord au Sud on observe :

+ un filonnet de dolomite à galène (0,5 cm).
+ un filonnet de quartz 1 cm
+ une zone très limoniteuse (0,5 cm)
+ une zone intensivement broyée.

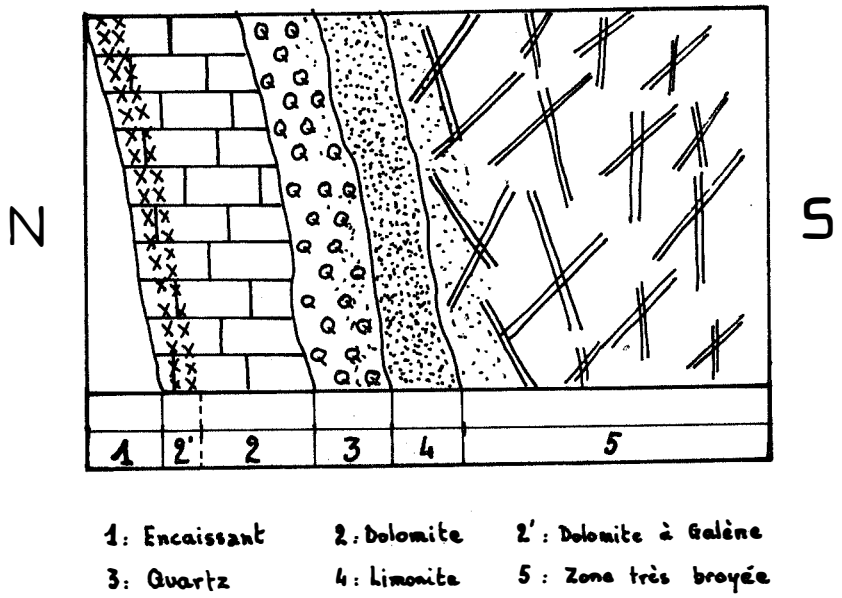


Figure VI-2 : schéma d'une caisse filonienne de direction Nord 85 grades - pendage 80 grades Sud.(Echelle : x2)

Un échantillon prélevé sur une puissance de 5 centimètres a accusé des teneurs en plomb et en argent élevées, ainsi qu'un riche cortège d'éléments traces

argent : 1520 g/t
plomb : 9,80%
fer : 6,10%

Elément ppm	Co	Ni	Cu	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb
816	500	500	300	150	>1%	>1%	>1%	300	1500

Une étude en section polie permet l'observation des minéraux suivants :

1 + Pyrite : on rencontre quelques cristaux de pyrite très altérés, disséminés automorphes, rares.

2 + Galène-Cérusite : la galène se présente sous forme de petites masses millimétriques englobées dans la dolomite, montrant une continuité plus ou moins marquée le long du microfilon.

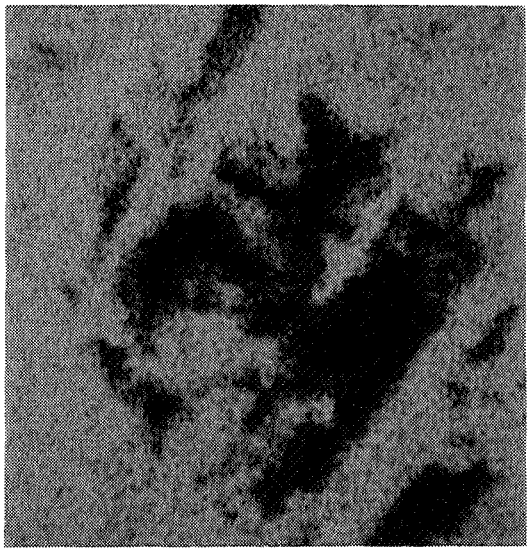
Son étude au microscope met en évidence l'absence totale d'inclusions argentifères dans la masse du minéral, tout au moins à un grossissement de 400 x.

La microsonde ne détecte aucun élément-trace dans la galène en tenant compte d'un seuil de sensibilité de l'ordre de 0,1% (1 kg/tonne).
Or, les analyses donnent sur un échantillon similaire à la section observée : Pb = 9,80% Ag = 1520 g/t. En admettant que tout l'argent soit lié à la galène, cette dernière titrerait 14 kg Ag/tonne, teneur dépassant largement le seuil de détection de la microsonde.

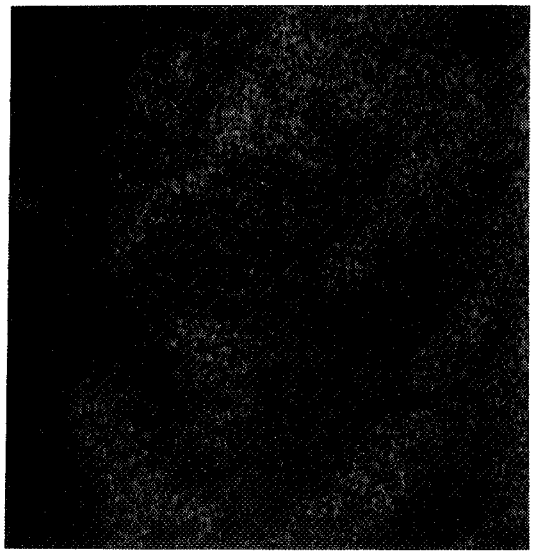
Le caractère oxydé de la minéralisation ressort nettement.La galène s'entoure d'une zone à cérusite qui pénètre le long des clivages. Cette cérusite revêt un aspect zoné provenant sans doute d'une altération plus ou moins poussée de la galène.

3+ Argentite : on remarque dans la zone oxydée des galènes, des minéraux d'argent identifiés comme de l'argentite. Cette argentite présente un pouvoir réflecteur élevé et se ternit rapidement par corrosion à la lampe à arc. On peut distinguer deux faciès distincts :

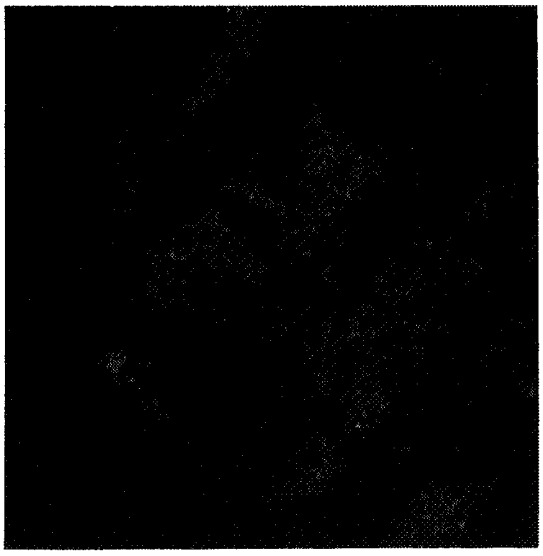
- Image électronique -



- Image du plomb -



- Image du soufre -



- Image de l'Argent -

Planche VI-2 : Echantillon MAD 816 - cristal d'argentite sub-automorphe et cérusite (100 x 100 μ)

a) argentite subautomorphe :

- D'un côté une argentite de forme losangique fantôme, dont un seul cristal, de faible dimension (100 x 100µ) a pu être mis en évidence (Planche VI -2).

La section, nettement individualisée peut être rattachée à un cristal du système orthorhombique auquel appartient l'argentite à des températures inférieures à 179°C. (ACANTHITE).

Elle est entourée de minéraux de plomb, à teneur en soufre inférieure à celle de la galène et dont les caractères optiques sont ceux de la cérusite - Ces minéraux d'altération du plomb passent à la galène franche (à droite de la photographie) et à de la cérusite blanche (à gauche de la photographie) par évolution de la teneur en soufre.

- Le cristal d'argentite est entièrement localisé dans la zone encore riche en soufre.

L'argentite est largement pénétrée par la cérusite selon des axes parallèles à ses côtés.

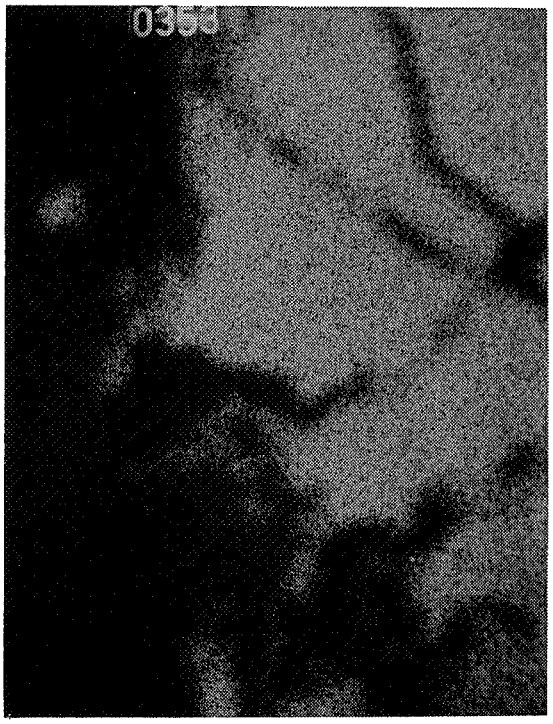
Une étude à la microsonde de Castaing montre que l'argentite ne contient aucun élément-trace dont la teneur dépasse le seuil de sensibilité de l'appareil (0,1%).

Sur le plan des rapports entre éléments, les bordures sont nettes à de rares exceptions près, et les zones à plomb et à argent distinctes -

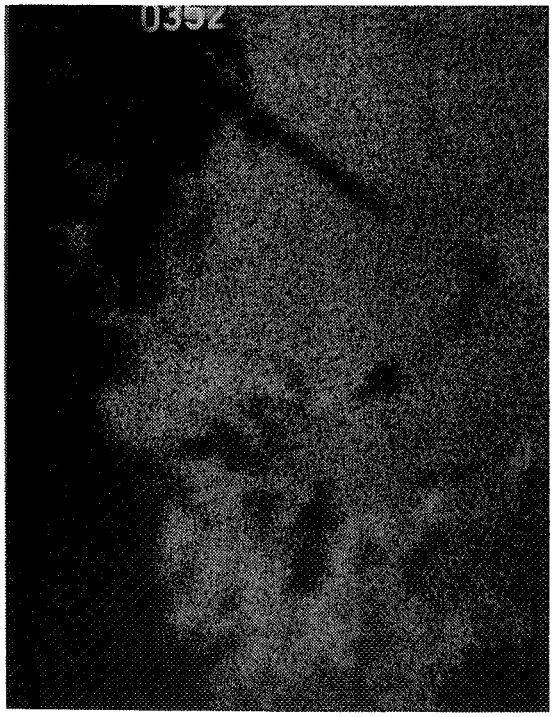
On peut cependant observer localement des interpénétrations où le plomb, en faible quantité, se superpose à l'argent en bordure de cristal, ainsi qu'une légère dissémination de l'argent autour de l'argentite.

Il semble donc que cette argentite se soit déposée sous forme cristalline automorphe, à proximité de la galène avant l'oxydation de cette dernière.

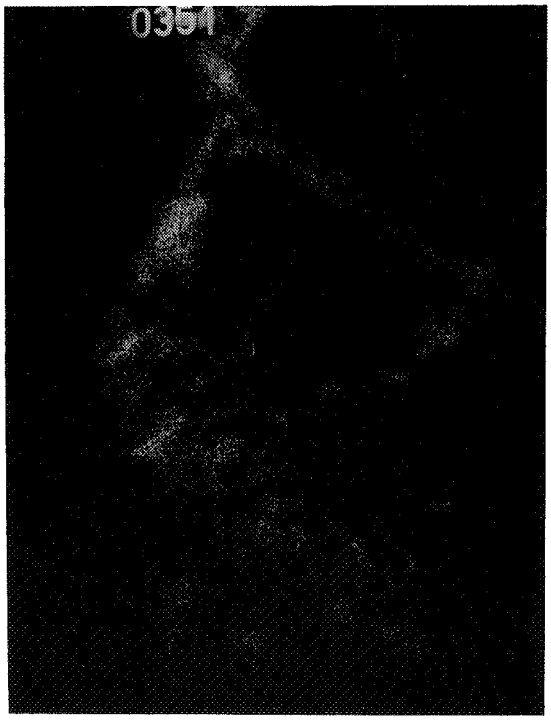
- Image Electron absorbé -



- Image du plomb (Mα) -



- Image du soufre ($K\alpha_1$)



- Image de l'argent ($L\alpha_1$)

Planche VI-3 : Echantillon MAD 816 - Argentite en nuage autour d'une plage de galène, et dans ses clivages (x 520).

b) argentite en nuage :

- D'autre part, on trouve également une argentite sans forme propre répartie en aggrégats nébuleux, largement associés aux minéraux secondaires du plomb, et que seule la corrosion à la lampe à arc permet de déceler. (Planche VI -3). Cette forme semble très nettement résulter d'actions supergènes -

Une étude à la microsonde de Castaing montre que l'argentite se localise à proximité de la galène, dont elle épouse les contours, dans la zone à cérusite riche en soufre.

Elle envahit aussi des clivages même peu marqués de la galène et se concentre dans des golfes au contact cérusite-galène - Par endroits, cette argentite passe à de l'argent natif -

La concentration en argent dans les clivages croît vers l'extérieur de la plage. Cette configuration semble peu compatible avec une remobilisation de ce métal dans le halo d'oxydation de la galène à partir des microinclusions argentifères contenus dans cette même galène.

On peut donc penser que l'argent déposé à proximité de la galène, provient d'actions supergènes sur des minéraux argentifères distincts des galènes et vraisemblablement primaires. Sa concentration ferait alors suite à une phase d'altération puis de transport en solution.

C - *Conclusions* -

- La minéralogie observée revêt un caractère nettement oxydé, et ne peut donner qu'une idée fragmentaire de la minéralisation primaire étant donné le stade avancé des processus d'altération.

- On peut cependant remarquer l'existence d'une paragénèse simple quoique probablement incomplète, à galène et argentite.

La minéralisation argentifère semble relever de deux origines :

- Une minéralisation exprimée indépendamment de la galène et postérieurement à cette dernière sous forme d'argentite paraît probable.
  D'autre part, les fortes teneurs géochimiques en antimoine (1500 ppm) et en arsenic (> 1%) tendraient à impliquer la présence de sulfoantimoniures et de sulfoarséniures qui pourraient être argentifères.

- Cette paragénèse a subi des remaniements supergènes, et une argentite secondaire s'est concentrée, en halo dans la zone à cérusite, à proximité immédiate de la galène en voie d'oxydation, après une phase de transport.

- Ainsi, cette étude minéralogique, qui met en évidence le caractère oxydé des minéralisations, ne permet pas d'appréhender les paragénèses primaires. Nous allons donc aborder le problème des accompagnateurs de l'argent sous un angle complémentaire la géochimie.

III - ÉTUDE GÉOCHIMIQUE -

En vue de préciser les rares données de l'étude minéralogique, nous avons effectué un échantillonnage aussi complet que possible des Anciens Travaux.

Les résultats de l'analyse des prélèvements effectués ont été interprétés selon deux optiques complémentaires :

- D'un côté, nous avons tenté de définir des associations sur la base du comportement et de la répartition à l'intérieur des filons de direction Est Ouest et des filons de direction Nord Sud envisagés séparément.

- De l'autre, nous avons tenté de comparer grâce à des méthodes statistiques les spectres géochimiques obtenus dans les filons de direction Est Ouest et dans les filons de direction Nord Sud.

A - *Evolution des teneurs en éléments-trace dans les filons de direction Est-Ouest* -

1) - Les fractures de direction Est Ouest semblent minéralisées en Argent de manière relativement continue, et présentent localement des teneurs intéressantes en ce métal. La minéralisation principale se caractérise toutefois par une nette prédominance du plomb et du zinc ainsi que du manganèse et de l'arsenic.

2) - Les évolutions du spectre géochimique selon l'axe Est Ouest portent essentiellement sur des éléments tels que le plomb, le zinc, le molybdène et le cuivre.

- Au niveau des variations de teneurs en éléments-trace perpendiculairement à l'axe des filons, on peut constater le plus souvent une prépondérence des teneurs géochimiques dans la caisse filonienne. Une asymétrie se manifeste cependant dans la répartition des éléments entre les épontes :

  - L'éponte Sud accuse des teneurs préférentielles en Etain (éventuellement aussi cobalt et nickel).
  - L'éponte Nord est enrichie en antimoine, argent, arsenic et plomb par rapport à l'éponte Sud.

- Les associations fondées sur des analogies de comportement semblent mettre en relation :

Etain - manganèse (?)---------- Cobalt - nickel - manganèse (?)
Cuivre - plomb - zinc - molybdène (?)--------- Arsenic - antimoine - argent - molybdène (?)

3) Toutefois, nous avons eu tout loisir d'observer le caractère très oxydé des minéralisations.

Aussi peut-on légitimement penser que les caractères géochimiques observés ne reflétent que le résultat d'actions supergènes.

Or nous avons pu constater des associations de comportement entre des espèces telles que le plomb et le zinc qui possédent des propriétés physico-chimiques essentiellement différentes en ce qui concerne la mise en solution et le transport à basse température et pression.

D'autre part, certains éléments tels que l'étain sont concentrés à l'éponte Sud, donc au toit des filons. Cette configuration est vraisemblablement résiduelle puisque les évolutions dûes aux circulations d'eau s'effectuent dans le sens de cette circulation, et que les enrichissements supergènes auraient, de ce fait, tendance à se produire au mur des filons.

Il semblerait donc que les actions de remaniement supergène n'aient que partiellement oblitéré les paragénèses primaires et leur disposition initiale.

Elles permettent d'expliquer des anomalies de comportement relevées pour certains éléments mais interdisent cependant d'attacher un caractère de certitude à nos hypothèses.

Nous pouvons donc penser, par ordre de fiabilité décroissante que :

- La minéralisation observée dans les filons de direction Est-Ouest est caractérisée par une dominante plomb-zinc, Manganèse, arsenic - On rencontre cependant des éléments comme le cobalt, le nickel et l'étain d'une part, l'antimoine et l'argent de l'autre, à des teneurs très anomales par rapport au clarke régional.

- Les évolutions du spectre géochimique selon l'axe du filon principal sont capricieuses.

- Il semble exister une zonalité intrafilonienne, exprimée perpendiculairement à l'axe, pouvant refléter une zonalité de dépôt primaire entre l'étain (le cobalt et le nickel) au Sud (donc au toit) et une association antimoine, arsenic, argent (éventuellement plomb) au Nord (donc au mur).

B - *Evolution des teneurs en éléments-trace dans les fractures de direction Nord-Sud* -

1) On peut noter dans l'ensemble des fractures de direction Nord-Sud étudiées, l'absence fréquente de l'antimoine et les teneurs élevées rencontrées pour l'étain.

Toutefois, malgré ces différences, les spectres géochimiques ressemblent beaucoup à ceux que nous avons pu observer dans les fractures de direction Est-Ouest.

L'argent est présent de manière assez continue avec des teneurs souvent élevées.

La minéralisation prédominante se compose de plomb, zinc, manganèse et arsenic.

2) Les évolutions du spectre géochimique selon l'axe Sud-Nord semblent contradictoires et peu marquées. On peut toutefois considérer comme assez générale une concentration préférentielle de l'argent à proximité de l'intersection des fractures de direction Nord-Sud avec le filon principal orienté Est-Ouest.

L'étain est concentré tantôt au Sud, tantôt au Nord des filonnets, les autres éléments ont un comportement capricieux.

Au niveau des variations des teneurs en éléments-trace perpendiculairement à l'axe des filons de direction Nord-Sud, les observations que nous avons pu faire montrent une concentration de l'argent, de l'arsenic et éventuellement de l'antimoine à une éponte, toit ou mur.

Les autres éléments se répartissent dans le filon et ses épontes de manière assez arbitraire. L'étain semble parfois concentré à l'éponte Est.

Les associations fondées sur des analogies de comportement semblent mettre en rapport :

étain - manganèse
cobalt, nickel, cuivre, molybdène, plomb-zinc
argent, arsenic, antimoine.

C - *Aspects statistiques des spectres géochimiques* -

Si les études pontuelles des filons de direction respectivement Est-Ouest et Nord-Sud permettent de tirer quelques conclusions, le caractère douteux, voire contradictoire de certaines observations appelle des confirmations à une échelle plus synthétique.

Nous avons donc tenté à l'aide d'un outil statistique de caractériser les spectres géochimiques dans les fractures de direction Est-Ouest, et Nord-Sud, par leur distribution et par les corrélations qui peuvent apparaître entre éléments à l'intérieur d'une même population.

1 - Données statistiques :

Nous avons regroupé en vue de les soumettre à un traitement statistique les échantillons géochimiques selon deux populations :

- échantillons provenant de filonnets de direction Est-Ouest (20 échantillons)
- échantillons provenant de filonnets de direction Nord-Sud (33 échantillons)

Les résultats de cette étude sont consignés dans le tableau ci-après :

unité : ppm		Moyenne M	Ecart type σ	Coéfficient de variation σ/M	Minimum	Maximum
Mn	EW	4 970	3 675	0,74	400	10 000
	NS	4 394	2 963	0,7	1 000	10 000
Pb	EW	4 125	3 523	0,85	200	10 000
	NS	2 645	2 350	0,89	100	10 000
Zn	EW	4 105	3 512	0,86	200	10 000
	NS	2 300	2 082	0,90	300	10 000
As	EW	1 065	1 346	1,3	1	4 000
	NS	717	1 760	2,4	1	10 000
Ni	EW	260,5	181	0,69	40	800
	NS	243	159	0,65	30	600
Co	EW	113	84	0,75	20	400
	NS	88	71	0,81	10	300
Cu	EW	200	266	1,33	1	1000
	NS	100	60	0,6	10	200
Mo	EW	61	82	1,34	1	300
	NS	29	41	1,42	2	200
Sb	EW	124	228	1,84	0,1	700
	NS	1	5,2	5,2	0,1	30
Sn	EW	47	29	0,6	10	100
	NS	245	359	1,46	10	1 500

2 - Comparaison des paramètres statistiques -

a) La moyenne :

.) La paragénèse tant dans les filonnets de direction Est-Ouest que dans les filonnets de direction Nord-Sud est largement dominée par quatre éléments :

- *le manganèse*
- *le plomb*
- *le zinc*
- *l'arsenic*

On peut noter cependant, que si l'ordre de ces quatre éléments rangés par teneurs décroissantes ne varie pas entre les filonnets de direction Est-Ouest et leurs homologues orientés Nord-Sud, les teneurs sont plus élevées dans les filonnets de direction Est-Ouest que dans les filonnets orientés Nord-Sud.

Il en est d'ailleurs de même pour la plupart des éléments.

.) Sur le plan des rapports entre éléments,

+ Cobalt/nickel avoisine 0,5 dans les deux populations.
+ Plomb/zinc est strictement égal à l'unité dans les échantillons provenant de fractures orientées Est-Ouest.
  Dans les fractures de direction Nord-Sud, ce rapport décroît légèrement.

.) Des différences de teneurs nettes apparaissent pour l'étain et l'antimoine dont les comportements varient énormément en fonction des directions des filons.

.) Un tableau comparatif dans lequel sont reportés des teneurs en éléments-trace dans les fractures de direction Est-Ouest sur celles enregistrées dans les fractures de direction Nord-Sud permet de préciser ces constatations.

nité : ppm	Sb	Mo	Cu	Zn	Pb	As	Co	Ni	Mn	Sn
B 8 = EW	124	61	200	4 105	4 125	1 065	112	260	4 970	47
B 8 = NS	1	29	100	2 300	2 645	717	88	243	4 394	245
EW/NS	124	2,1	2	1,8	1,6	1,4	1,4	1,1	1,1	1/5,2

b) Le coefficient de variation ($\frac{\sigma}{M}$) :

.) En régle générale, les éléments analysés présentent des coéfficients de variation assez élevés, ce qui traduit une irrégularité marquée dans les teneurs, et une dispersion dans la distribution.

.) Sur la base des critères pris en compte pour ce paramètre, on peut distinguer un certain nombre de groupements.

+ Les éléments dont le coefficient de variation est inférieur à 1 et ne subit pas de variation significative entre les populations Est-Ouest et les populations Nord-Sud.

Nous avons classé ces éléments par ordre de régularité décroissante

	σ/M en Est-Ouest	σ/M en Nord-Sud
Nickel	0,69	0,65
Manganèse	0,74	0,70
Cobalt	0,75	0,81
Plomb	0,85	0,89
Zinc	0,86	0,90

+ Un élément à coefficient de variation assez grand, comparable en Est-Ouest et en Nord-Sud.

	σ/M en Est-Ouest	σ/M en Nord-Sud
Molybdène	1,34	1,42

+ Des éléments à coefficient de variation supérieur en Nord-Sud.

	σ/M en Est-Ouest	σ/M en Nord-Sud
Etain	0,6	1,46
Arsenic	1,3	2,4
Antimoine	1,84	5,2

+ Un élément unique, plus régulier en Nord-Sud qu'en Est-Ouest.

	σ/M en Est-Ouest	σ/M en Nord-Sud
Cuivre	1,33	0,6

3 - Etude des coefficients de corrélation -

Si nous envisageons les matrices de corrélation des deux populations, nous constatons pour deux seuils de probabilité à 1% (0,74 pour 20 éléments en Est-Ouest), (0,52 pour 33 éléments en Nord-Sud cf.annexe) des associations nettes, différentes selon les filons.

a)Population Est-Ouest (seuil à 1% : 0,74)

Par ordre de coefficients de corrélation décroissants, nous pouvons mettre en évidence les liaisons suivantes :

Molybdène	- *Antimoine*	0,95
Cobalt	- *Nickel*	0,82
Plomb	- *Zinc*	0,81
Nickel	- *Zinc*	0,80

Cuivre	-	*Zinc*	0,78
Molybdène	-	*Zinc*	0,78
Plomb	-	*Molybdène*	0,77
Cuivre	-	*Molybdène*	0,77
Arsenic	-	*Molybdène*	0,74
Plomb	-	*Antimoine*	0,74

Ces résultats peuvent être schématisés dans la représentation graphique suivante

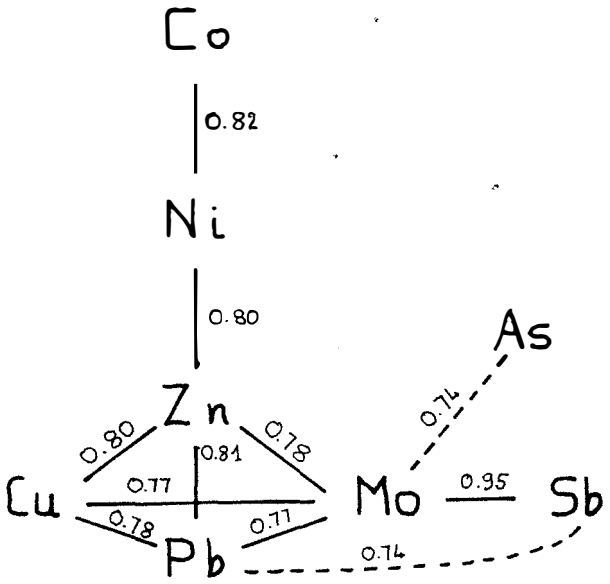


Figure VI-3 : Corrélations dans la population des échantillons prélevés sur des fractures de direction Est-Ouest.

b) Population Nord-Sud. (seuil à 1% : 0,52)

Les corrélations sont moins nombreuses à l'intérieur de la population formée par les teneurs en éléments-trace des filons de direction Nord-Sud. On remarquera par ordre de valeurs décroissantes du coefficient de corrélation, les liaisons suivantes :

Nickel	-	*Zinc*	0,70
Plomb	-	*Cuivre*	0,66
Plomb	-	*Zinc*	0,64
Cobalt	-	*Nickel*	0,62

Cobalt	-	*Plomb*	0,61
Etain	-	*Manganèse*	0,55
Plomb	-	*Nickel*	0,53

Nous pouvons schématiser ces résultats dans le graphe suivant :

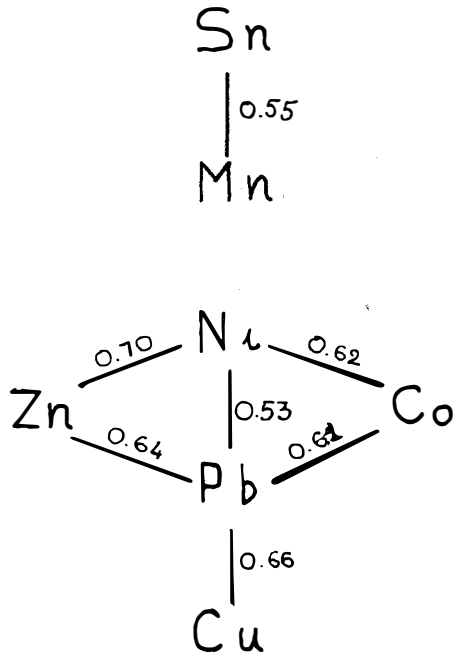


Figure VI-4 : corrélations dans la population des échantillons prélevés sur des fractures de direction Nord-Sud.

4 - Conclusion

a) La paragénèse géochimique observée dans son ensemble est dominée très nettement par le plomb, le zinc, le manganèse et l'arsenic.

Au niveau des éléments accessoires, l'étain est beaucoup plus abondant dans les fractures de direction Nord-Sud que dans leurs homologues de direction Est-Ouest, l'antimoine se caractérisant par un comportement inverse.

b) Les corrélations à l'intérieur des deux populations semblent différentes :

α) Dans les filons de direction Est-Ouest, la minéralisation est marquée par une lien renforcé entre cuivre, plomb, zinc et molybdène.

Cet ensemble est rattaché au groupement cobalt-nickel par l'intermédiaire d'une corrélation nickel-zinc, à l'arsenic, mais surtout à l'antimoine grâce au molybdène et au plomb.

Les liaisons qui mettent en cause le molybdène et l'antimoine pourraient s'expliquer par l'existence de molybdates et de minéraux sulfo-antimoniés soit primaires, soit plus vraisemblablement supergènes.

β) Dans les fractures de direction Nord-Sud, apparait un lien étain-manganèse.

Les associations zinc-nickel d'une part, nickel-cobalt de l'autre se rattachent au plomb sans lien cobalt-zinc. Le cuivre est uniquement corrélé avec le plomb.

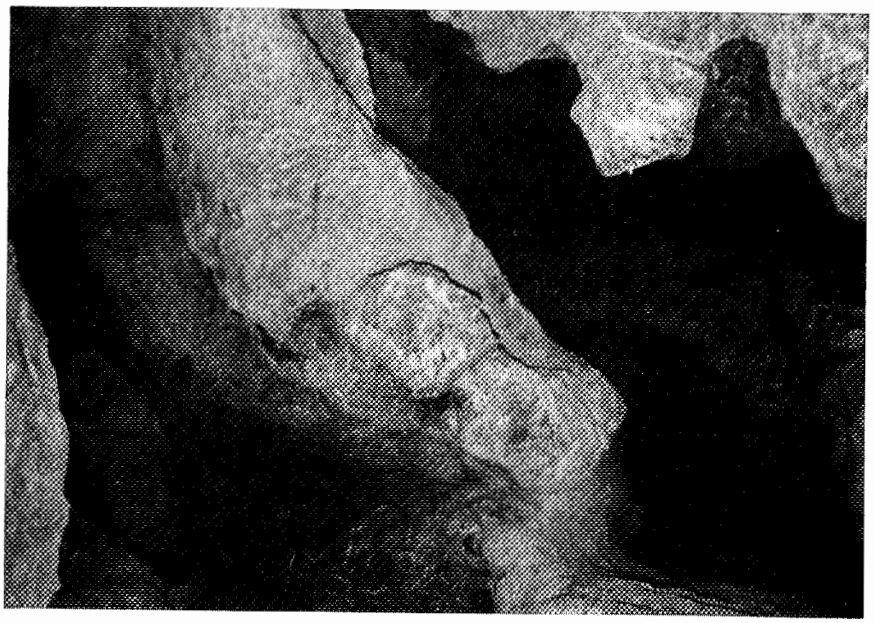
γ) Malgré des différences marquées, on peut penser que les corrélations observées dans les deux populations sont plus semblables qu'il ne parait.

En effet, le système de corrélations démontré dans la population Nord-Sud semble être une version avortée de celui que nous avons mis en évidence dans la population Est-Ouest.

Dans la population Nord-Sud, les liens faisant intervenir l'antimoine, le molybdène et l'arsenic font totalement défaut; les corrélations internes au groupement cuivre, zinc, plomb ne sont qu'ébauchées.

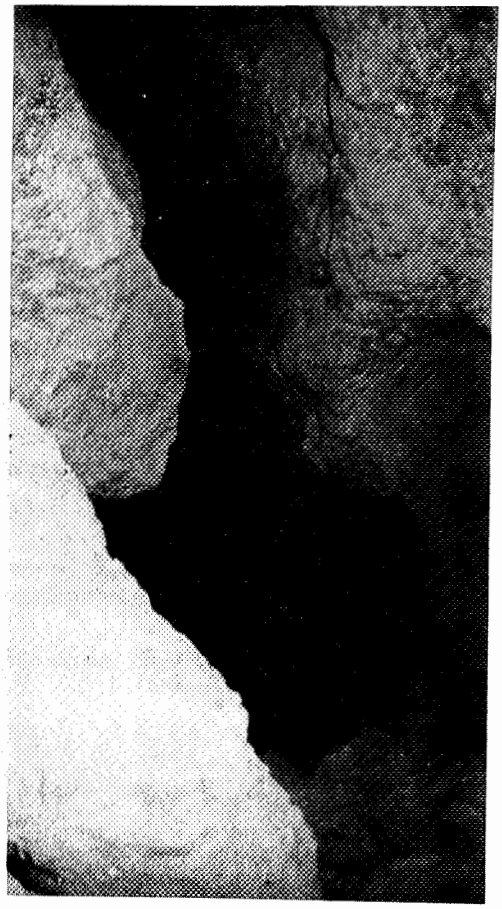
Par contre, on peut observer les liens étain-manganèse et plomb-cobalt inexistants dans la population Est-Ouest.

Planche VI-4 : LES ANCIENS TRAVAUX DE LA BORNE 3

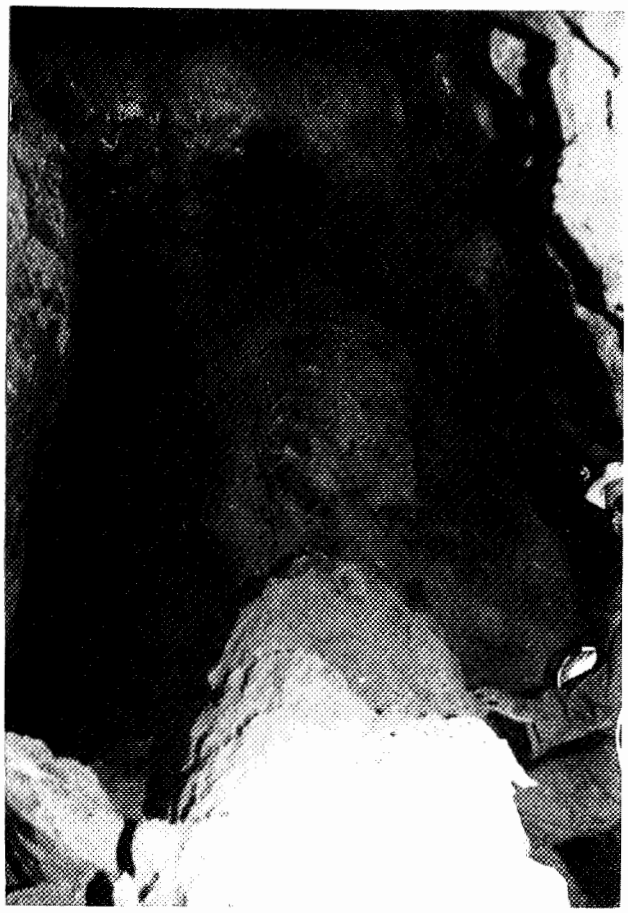


Stots et dépilages dans les Anciens travaux de la borne 3 Est.

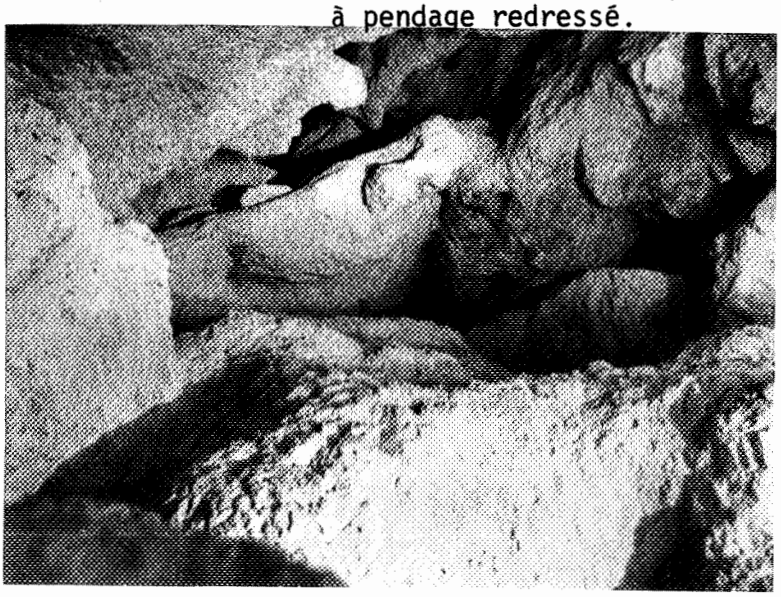
(direction NS à pendage 45 degrés Est)



Borne 3 Est : zone dépilée à pendage redressé.



Borne 3 Ouest = Pendage Nord et contre pendage Sud dans un dépilage vu d'Est en Ouest.



Borne 3 Est : Plans dépilés de direction Nord-Sud à pendage faible vers l'Est.

Vue prise du Nord vers le Sud.

- LES ANCIENS TRAVAUX DE LA BORNE 3 -

I - PRÉSENTATION -

A - *Localisation* -

Les anciens travaux dits de "la borne 3" se situent dans la partie Nord Est de la zone exploitée du domaine d'IMITER, à proximité immédiate d'une grande faille séparant les andésites et tufs du PIII, des formations gréso-conglomératiques rattachées au PII, III (cf. CARTE III-1).

Les travaux sont entièrement encaissés dans les terrains du PII, III et exploitent un alignement filonien nettement affleurant.

B - *Dimensions et morphologie des anciens travaux* -

L'exploitation ancienne de la borne 3 se caractérise par une structure relativement complexe - (cf. CARTE VI-5).

On peut distinguer deux zones dépilées, nettement distinctes, situées sur un filon vraisemblablement continu, de direction sensiblement Est Ouest à pendage Nord redressé (entre 60° et 80°degrés).

On rencontre d'Est en Ouest :

- Une zone en tranchée, fortement remblayée, de direction oscillant entre Nord 70 et Nord 80 degrés, se poursuivant sur 40 mètres de longueur avec une largeur moyenne de 8 mètres.

Il est impossible de se faire une idée de l'importance de ces travaux, toutefois, il semble que celle-ci ne soit guère considérable.

On peut observer dans cette partie de l'exploitation des stots et des vestiges de filons à quartz-carbonates (dolomite et ankérite).

- Une zone profondément excavée s'enfonçant à 20 mètres sous la surface topographique, de direction NOrd 80 degrés à pendage 70 degrés Nord. Les dimensions de cette tranchée sont assez réduites (12 mètres en longueur, 3 mètres en largeur).

Des travaux souterrains de structure excessivement complexe débouchent dans l'excavation principale.

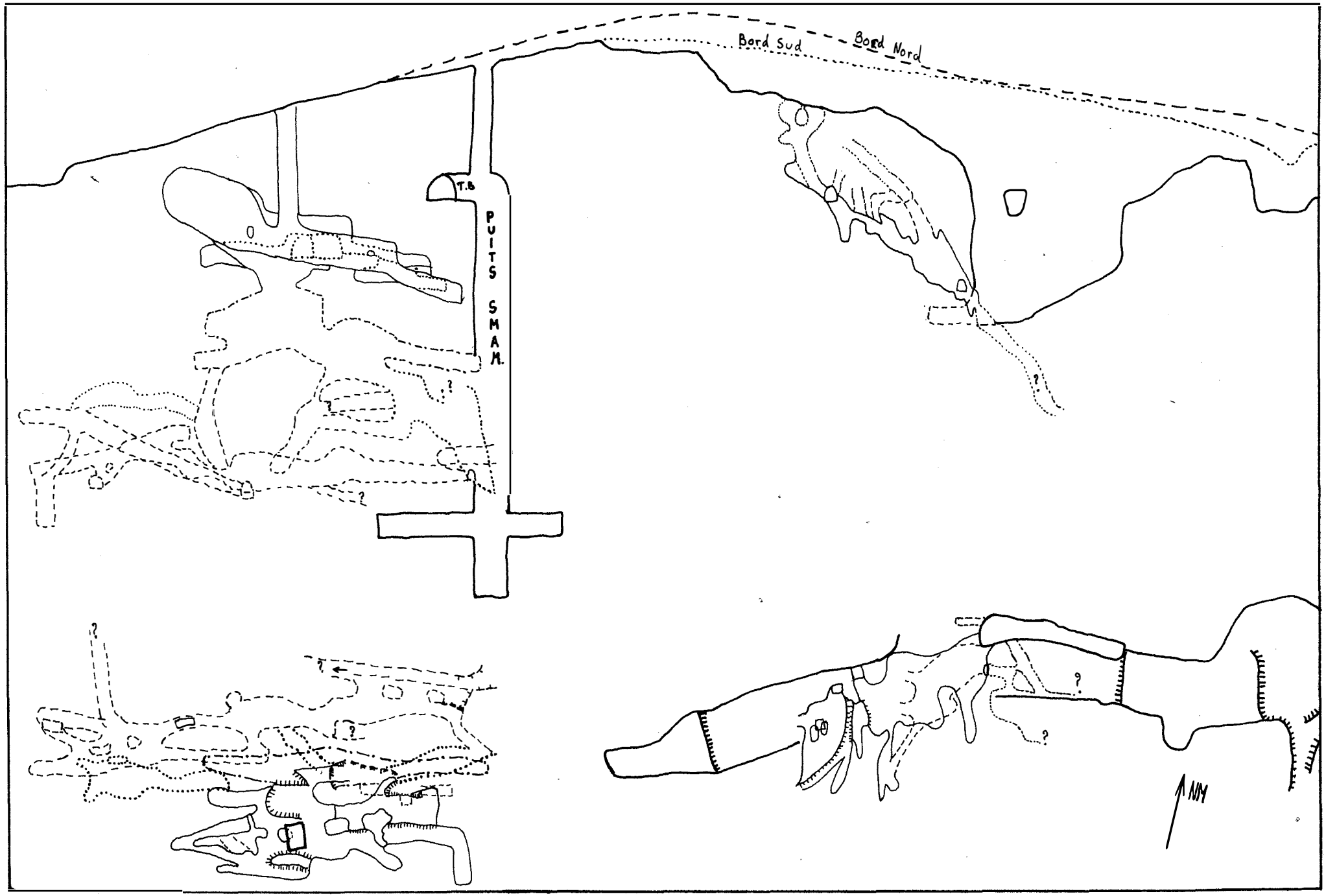


Figure VI-5 - LES ANCIENS TRAVAUX de la BORNE 3 - En bas : plan, En haut : coupe selon un plan Est-Ouest vertical
Echelle: 1/400ème

Les dépilages forment un réseau d'assez grande ampleur, qui semble guidé par un ensemble de fractures secondaires de direction Nord à Nord 45 degrés, à pendage Est oscillant entre 45 et 70 degrés. Les plans exploités n'affectent que l'éponte Sud du filon principal.

Nous conviendrons de désigner ces ouvrages par le terme de B 3 Est.

- A l'Ouest, le filon s'infléchit vers une direction Nord 60 à 65 degrés sur 30 mètres, sans variation notable des valeurs du pendage.

L'exploitation est très réduite et se limite à quelques grattages sporadiques. Toutefois, les travaux souterrains de la B 3 Est affectent l'éponte Sud du filon également dans cette zone.

- Sur 10 mètres, le filon est partiellement oblitéré par des déblais, et n'a été l'objet d'aucun travail.

- Sur 40 mètres, une mine communiquant avec le jour par un puits de 12 mètres a exploité des alignements filoniens de direction Nord 80 degrés, à pendage redressé variable Nord ou Sud, en plusieurs niveaux reliés entre eux par des descenderies.

L'ensemble de cette exploitation, probablement assez récente sera désignée par le terme de B 3 Ouest.

Les tonnages extraits dans les différentes parties de l'exploitation sont difficilement chiffrables. En effet, les haldes, réparties sur les flancs d'une colline ont été l'objet d'une érosion superficielle, et ne peuvent donner qu'une estimamation pessimiste de l'ampleur des travaux.

Toutefois, la richesse du minerai anciennement recherché ne fait aucun doute.

C - *Les travaux récents effectués* :

- Un travers banc, suivant la direction Nord 10 degrés pendant 30 mètres, foncé à flanc de coteau par la S.M.A.M. tente de recouper le filon principal.

Cette même société a également fait creuser un bure profond de 40 mètres environ en bout de travers banc.

Les résultats de ces essais sont perdus.

D'autre part, les travaux profonds sont partiellement noyés, totalement déséquipés, et surtout fortement gazés par des émanations de CO_2. Ils sont donc parfaitement inaccessibles sans des moyens sérieux.

- Un test de géochimie de surface systématique, en roches (lorsque la chose était possible), a été effectuée en 1974 par la S.M.I. La maille choisie est assez serrée : 20 mètres en Est-Ouest, 10 mètres en Nord-Sud. Les résultats de cette étude ont donné lieu à des sondages percutants implantés sur les principales anomalies géochimiques relevées. La surface prospectée mesurait (260 x 240 mètres).

- Dans un premier temps, les sondages ont été programmés en vue d'étudier le comportement des zones anomales en profondeur. Par la suite, quelques impacts très riches ont orienté la recherche sur les environs de la borne 3 Est, dans le but de cerner l'importance des corps minéralisés en argent, et de reconnaître leur structure.

II - ÉTUDE DES ANCIENS TRAVAUX : LE CONTRÔLE TECTONIQUE -

A - *Les filons minéralisés* -

. L'étude des anciens travaux de la borne 3 met en évidence l'existence de deux directions minéralisées.

- Un système orienté selon l'axe Est-Ouest avec quelques variations de la direction entre Nord 65 et Nord 85 degrés. Le pendage, redressé, généralement Nord 65 à Nord 90 degrés s'accompagne de contre-pendages vers le Sud (entre S 80 et S 90 degrés).

- Un système à tendance d'orientation Nord-Sud que l'on ne connaît actuellement qu'au niveau de l'inflexion du filon principal, dans les travaux de la borne 3 Est. Les plans richement minéralisés (Ag > 1 Kg/Tonne) se développent au Sud du filon principal. Leur direction varie de Nord à Nord 40 degrés, leur pendage de 30 à 60 degrés Est, leur puissance est réduite (0,5 mètre).

. En régle générale, les stots entre filons sont quasiment stériles.

. Les filons de direction Est-Ouest possèdent une puissance supérieure à celle des filons de direction Nord-Sud, et peuvent être minéralisés en quartz en peigne.

Toutefois les relations entre minéraux et l'absence de décalages ne permettent pas de déterminer la nature des fractures, lors de la minéralisation argentifère.

Par analogie, on peut supposer que les plans de direction Nord-Sud correspondaient à des fractures de tension, et que la direction Est-Ouest jouait en cisaillement.

B - *Les actions tectoniques affectant les minéralisations* -

1 - Borne 3 Ouest :

Dans les anciens travaux de la borne 3 Ouest, les filons minéralisés sont affectés par de menus décrochements, assez rares, de direction Nord-Sud (Nord 30 degrés à pendage 80 ou 85 degrés Est), dont le rejeu est très faible. Ces décalages de la structure principale n'excèdent pas 0,5 mètre et affectent la minéralisation - On ne note aucune manifestation minéralisée dans les fractures décalantes, ce qui permet de situer leur formation postérieurement au dépôt des minéralisations.

2 - Borne 3 Est :

Les plans minéralisés de direction Nord-Sud sont sujets à des variations du pendage et de la direction à proximité du filon principal.

Les pendages se redressent de 45 degrés à 60 voire 65 degrés Est comme le montre une coupe d'un plan de direction Nord-Sud par un plan vertical de même direction.

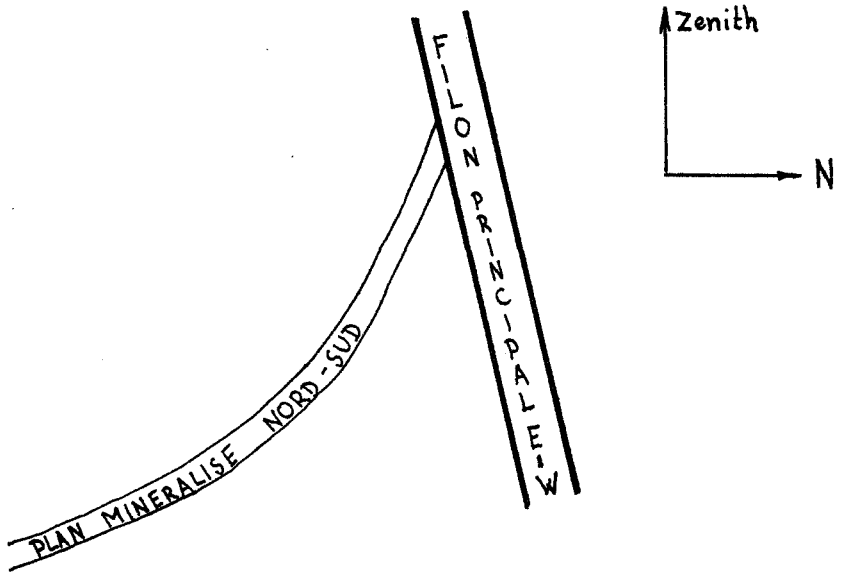


Figure VI-6 : coupe d'un plan minéralisé de direction Nord-Sud par un plan vertical de même direction.

Les directions s'incurvent de Nord 25 à Nord 30 degrés vers Nord, voire Nord 170 degrés (cf. Plan schématique ci-dessous).

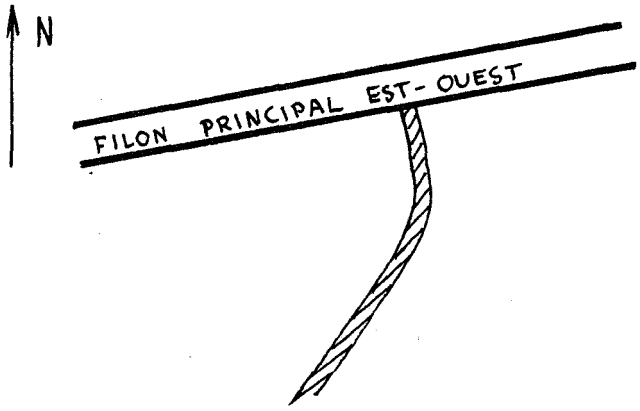


Figure VI-7 : Schéma d'un plan minéralisé de direction proche de Nord-Sud.

Ces déformations des filons pourraient s'interpréter par l'hypothèse d'un rejeu du filon principal, après le dépôt des minéralisations, selon un système des contraintes locales complexe, comportant une composante orientée en Est Ouest et une composante verticale.

Ces actions tectoniques pourraient être liées à l'action de la faille principale d'IMITER, dont la trace en surface est proche des travaux de la borne 3 Est.

II - MINÉRALOGIE -

Les travaux de la borne 3 offrent la possibilité d'observer à l'affleurement, mais également dans les anciens travaux des structures filoniennes nettes.

Toutefois, filons et filonnets coexistent avec des imprégnations dans l'encaissant, revêtant des faciès de microstockwerk.

Les minéraux de gangue sont abondants et généralement exprimés sous forme macroscopique; les constituants métalliques sont beaucoup plus rares, et ne prennent jamais une ampleur considérable. On peut le plus souvent les relier soit à des microstockwerk, soit à des filonnets francs.

A - *Les minéralisations dans les filons de direction Est-Ouest* -

Des filonnets de quartz, dolomite, calcite sombre, limonite, ankérite peuvent être observés tant dans la zone Est que dans la zone Ouest des travaux. Leur direction principale est le plus souvent proche de Est-Ouest.

1 - Le filon principal -

a) Le filon principal, de direction Nord 80 degrés à pendage N 70 degrés présente dans la partie la plus orientale de l'exploitation une succession nette dans le remplissage, qui se poursuit avec une continuité très relative vers l'Ouest.

On distinguera du Nord au Sud :

+ l'éponte Nord, lisse
+ Une zone décolorée, blanchâtre à altérations hydrothermales lie de vin, sur 0,6 mètre de puissance.
+ Une zone à quartz fibreux perpendiculaire aux épontes, entourant une veine de dolomite et ankérite sur 0,4 mètre.
+ Une zone broyée, veinée de filonnets de très faible puissance, minéralisée en quartz et en dolomite sur 0,8 mètre et passant à une éponte Sud assez franche.

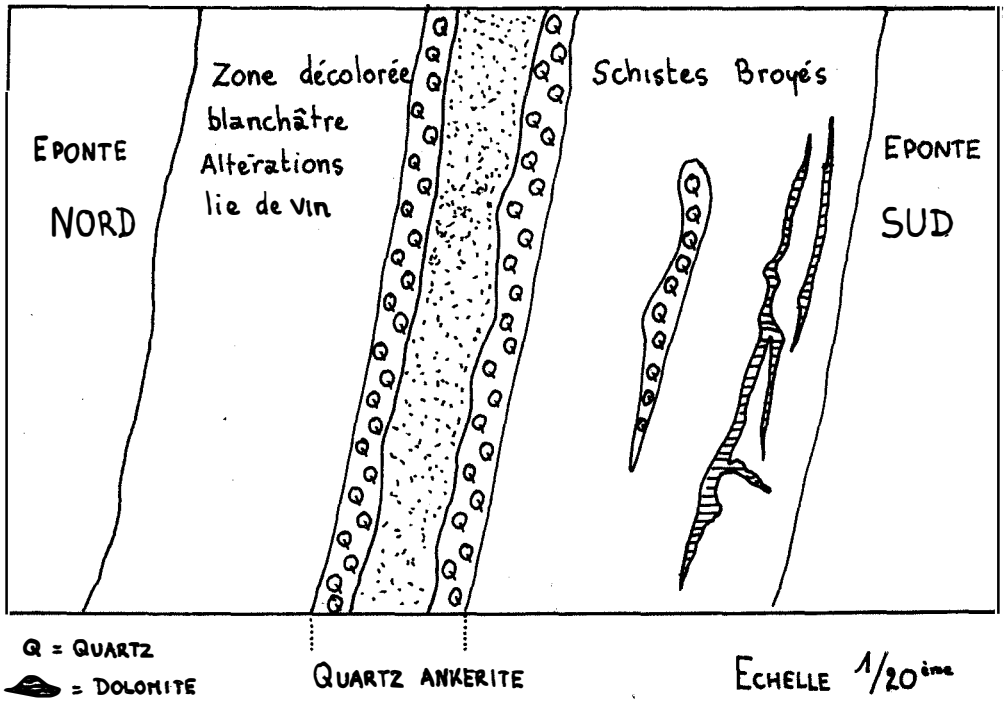


Figure VI - 8 - Coupe schématique du filon principal.

b) Le filon principal est également exploité par un groupement de trois cheminées, dans la zone médiane des travaux souterrains de la borne 3 Est.

La succession des gangues varie semble t-il peu. Cependant, le remplissage est plus complexe.

On distingue du Nord au Sud :

+ une éponte Nord grise, silicifiée
+ une zone filonienne de 0,4 mètre comportant :

, du quartz fibreux perpendiculairement à l'éponte sur 5 centimètres.(A)

, une zone d'éponte altérée veinée de quartz au Nord, de dolomite au Sud sur 10 centimètres.(B)

, un filon de quartz fibreux perpendiculairement à l'éponte, présentant des aspects de peignes géodiques avec un remplissage de limonite fortement manganésifère, de calcite noire, et d'un wad, vraisemblablement cobaltifère cryptocristallin (10 centimètres).(C)

, une éponte Sud grise, veinée de dolomite et de dendrites de manganèse (10 centimètres).(D)

, Un filonnet principalement dolomitique de 5 centimètres où le manganèse est largement présent. (E)

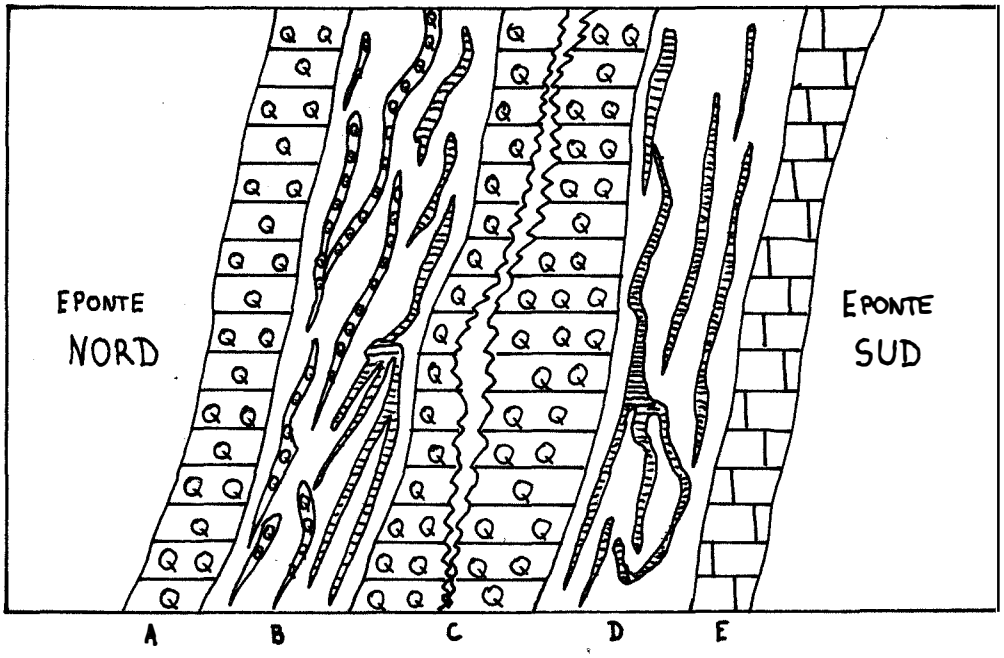


Figure VI-9 - Coupe schématique du filon principal exploité par une ancienne cheminée - Echelle 1/20ème.

Il semblerait, d'après la disposition des filonnets que la dolomite soit postérieure au quartz qu'il lui arrive de recouper localement Les faciès du quartz montrent l'existence de rejeux successifs des fractures de direction Est-Ouest qui ont dû, à une époque de leur histoire jouer en ouverture.

Cependant, malgré des teneurs ponctuelles en argent parfois élevées (supérieures à 600 grammes/tonne), aucun minéral sulfuré n'a pu être mis en évidence.

c) Le filon principal se poursuit dans la zone Ouest des travaux de la borne 3 où son observation en profondeur est très difficile.

En effet, il semble se subdiviser - On retrouve cependant des associations de quartz - carbonates - limonite qui guident l'exploitation ancienne.

2 - Les filonnets satellites -

On rencontre, dans tous les travaux de la borne 3 un certain nombre de filonnets, parallèles au filon principal, dont le remplissage est généralement monominéral :

quartz ou dolomite

Ces filonnets s'accompagnent d'imprégnations en chevelus très anastomosés dans les épontes, et, localement de sulfures disséminés (essentiellement galène).

a) paragénèses liées à une gangue dolomitique :

+ Le sulfure dominant dans la paragénèse est une galène, automorphe en petits cristaux ou agrégats, souvent oxydée en cérusite à la périphérie ou dans ses clivages. Localement, l'auréole de cérusite revêt un aspect concrétionné.

+ La galène ne contient pas de minéraux argentifères distingables au microscope à réflection.

  Des analyses ponctuelles à la microsonde de Castaing ne permettent d'autre part la détection d'aucun élément-trace.

  Toutefois, dans le halo de cérusite qui entoure la galène, on peut observer des plages d'argentité secondaire en nébuleuse ou en grains, rappelant les faciès observés dans l'échantillon MAD 816 de la borne 8.

+ Le mispickel est parfois présent, sous forme losangique automorphe en section, présentant une altération avancée tant à la périphérie qu'au coeur de la plage.

  Ce minéral ne contient par ailleurs aucun élement-trace décelable à la microsonde de Castaing.

b) paragénèses liées à une gangue de quartz :

+ Les filonnets de quartz en peigne ne contiennent que rarement des sulfures.

  L'éponte Nord se caractérise par la présence de quelques cristaux de pyrite fantômes, automorphes, bien individualisés, proches du contact avec le filonnet, et dont on peut observer quelques grains résiduels au centre d'auréoles d'altération.

L'éponte Sud ne contient que très peu de pyrite. L'encaissant et le filonnet sont recoupés par de menues fractures où se développe une goethite sphérolithique dûe à une altération sur place. Les minéraux collomorphes sont omniprésents. On rencontre dans l'éponte Sud des leucoxènes, anatase ou rutile, beaucoup plus rares dans l'éponte Nord.

+ Toutefois, nous avons pu mettre en évidence une paragénèse sulfurée dans un échantillon prélevé sur un filon de quartz en peigne de direction Est-Ouest, au fond des travaux de la borne 3 Ouest.

Le sulfure le plus abondant est la galène, oxydée en cérusite. La cérusite s'accompagne de covelline en baguettes ou en lamelles, intimement mêlées aux minéraux secondaires de plomb, et très proches du contact avec la galène saine. Le caractère supergène de cette minéralisation est évident. La covelline dérive d'une chalcopyrite dont on retrouve une mouche sur la section, fortement altérée, et incluse dans une plage de galène.

On peut donc penser raisonnablement que les sulfures de plomb sont postérieurs à la chalcopyrite.

Quelques cristaux de mispickel ont pu être mis en évidence à proximité de la galène, mais sans lien avec elle.

Les minéraux d'argent sont absents de la paragénèse malgré des teneurs géochimiques supérieures à 500 grammes/tonne.

C - *Conclusion* -

Il semble que les filons de direction Est-Ouest s'accompagnent parfois d'une minéralisation sulfurée comprenant essentiellement de la galène et accessoirement, de la pyrite, du mispickel, de la chalcopyrite et des minéraux secondaires comme la cérusite, la covelline et une argentite transportée.

La chalcopyrite cependant n'a été observée que dans les filonnets à gangue de quartz. Elle semble absente des filonnets à gangue dolomitique.

L'argent et le plomb sont vraisemblablement peu liés minéralogiquement. La galène n'est pas extrêmement argentifère, et ne contient aucune inclusion de minéraux d'argent.

B - *Les minéralisations dans les structures de direction sensiblement Nord-Sud*

1 - Aspect macroscopique -

Les dépilages souterrains, exploitant des plans de direction Nord à Nord 30 degrés, de pendage 40 à 60 degrés Est ne présentent pas de structures filoniennes.

On peut pourtant observer des imprégnations de silice et de dolomite en chevelu excessivement fin.

Un certain nombre de minéraux sulfurés ont pu être mis en évidence sur les épontes des dépilages souterrains de direction Nord à Nord 30 degrés.

A l'oeil, ces minéraux sont peu visibles, même sur des échantillons dont la teneur en argeut peut dépasser 2 kilogrammes/tonne.

La roche en place au mur se présente comme une croûte enduite de poussière consolidée, très fracturée, cassante, se détachant par plaques et sonnant le creux au marteau. En revanche, au toit, l'encaissant est assez sain et sonne clair.

Sur cassure, on observe un conglomérat à éléments centimétriques mal cimentés originellement, mais recimentés par de la silice et de la dolomite.

Ces minéraux de gangue se rencontrent en réseau anastomosé tant à la périphérie des éléments du conglomérat, qu'à l'intérieur de ces derniers en remplissage de microfractures. Quelques amygdales de quartz, centimétriques ont pu être observées. Des minéraux d'argent occupent des fissures ouvertes ou se répartissent en mouchetures autour des éléments mal cimentés - L'aspect d'imprégnation prédomine - Argent et argentite essentiellement sont décelables à l'oeil, mais irrégulièrement représentés dans les échantillons.

On rencontre également quelques cristaux de pyrite automorphe altérés, à proximité des veinules de quartz.

2 - Aspect microscopique -

En section polie, l'essentiel de la minéralisation apparaît nettement argentifère.

On peut mettre en évidence de l'argentite, en grandes plages, se corrodant à la lumière et renfermant des inclusions très fines de blende et de chalcopyrite.

L'argent natif est présent en mouches indépendantes, disséminé dans l'encaissant, ou lié à l'argentite qu'il pourrait cémenter. On observe d'autre part un cristal de pyrite entouré par de l'argentite, elle même en voie de transformation en argent natif, cette évolution s'effectuant progressivement de l'intérieur vers l'extérieur de la section.

Des veinules de tétraédrite plus ou moins fantômes se distinguent dans les plages d'argentite. La tétraédrite est attaquée par l'argentite et semble s'être déposée antérieurement à cette dernière.

La pyrite se rencontre épisodiquement en petits cristaux automorphes.

3 - Conclusion -

. La paragénèse mise en évidence présente les caractères d'une minéralisation hydrothermale liée à une gangue silico-dolomitique, dans laquelle les actions de remaniement supergène (oxydation et cémentation) auraient joué sur les minéraux argentifères.

. On peut ébaucher une chronologie du dépôt :

Echelle des temps	Chalcopyrite Blende Tétraédrite Argentite Gangue	Argent natif	Minéralisation hydrothermale
	Argent natif secondaire Argentite secondaire		Minéralisation due au remaniement supergène

C - *Conclusions* -

- Les minéralisations observées dans les structures de direction Est-Ouest et Nord-Sud semblent présenter quelques différences tant du point de vue des faciès que de celui des paragénèses.

La direction Est-Ouest se caractérise par la présence d'un filon important et de nombreux filonnets satellites nettement visibles, minéralisés en quartz, en dolomite et localement en galène.

Par contre, la direction Nord-Sud est représentée par des microstockwerks renfermant dans une gangue quartzo-dolomitique une minéralisation argentifère plus riche que celle observée en Est-Ouest, de la blende et de la tétraédrite.

Toutefois, les deux systèmes minéralisés contiennent de la chalcopyrite.

Les actions de remaniement supergène ne semblent pas oblitérer les paragénèses, bien que leurs effets soient décelables.

- Si les résultats de l'étude minéralogique, compliquée par le caractère microscopique des minéralisations, permettent d'envisager des comportements différents de la minéralisation dans les deux systèmes filoniens reconnus, le nombre restreint de nos observations interdit de tirer des conclusions.

Nous tenterons d'aborder ce problème sous l'angle complémentaire d'une étude géochimique des anciens travaux de la borne 3.

IV - GÉOCHIMIE -

Une campagne de géochimie sur sols a été effectuée sous la direction de Monsieur SANCHEZ sur une zone de 260 x 240 mètres à maille systématique 20 x 10 mètres, le petit côté étant orienté selon la direction Nord-Sud.

Les résultats de cette étude ont permis la mise en évidence d'anomalies d'orientation Nord-Sud, dont l'une pourrait être liée à la présence d'un dyke de roches éruptives de même direction (Echantillon Be 18).

Les éléments accompagnateurs de l'argent semblent être le plomb, le molybdène, l'arsenic et l'antimoine.

Des relations entre les éléments et les directions des sytèmes de fracture ne ressortent pas nettement.

Toutefois, les dimensions de la maille, lâche par rapport aux cibles visées, et le recouvrement important par des haldes constituent des obstacles à l'interprétation.

Les résultats de cette étude ont malgré ces obstacles, permis l'implantation de sondages percutants, dont certains ont rencontré une minéralisation riche.

V - LES SONDAGES PERCUTANTS DE LA BORNE 3 EST -

Un certain nombre de sondages percutants, effectués aux abords immédiats des travaux souterrains de la borne 3 Est ont rencontré une minéralisation argentifère parfois riche.

Les forages se sont déroulés en plusieurs étapes, et leur orientation a évolué en fonction des renseignements obtenus.

On distinguera ainsi des sondages percutants :

- de direction Nord-Sud inclinés à 45 degrés vers le Nadir.
- de direction Nord 315 degrés inclinés à 45 degrés vers le Nadir.

Le resserrement progressif de la maille de sondage permet une interprétation plausible des résultats, qui demande cependant à être vérifiée par travaux miniers.

A - *Corrélations des impacts* -

1 - Les sondages orientés selon l'axe Nord-Sud (FigureVI-10) -

Ces sondages, inclinés à 45 degrés vers le Nadir, déterminent aux erreurs de positionnement, aux déviations, et aux différences de côte près, un plan de direction Est-Ouest et de pendage 45 degrés Nord.

Les sondages interceptent des structures minéralisées que nous avons reportées sur un plan au 1/400 ème en projection horizontale. Une corrélation des impacts se dessine selon une direction sensiblement Nord 60 degrés sur ce plan au 1/400 ème.

2 - Les sondages orientés selon l'axe Nord 315 degrés (FigureVI-11)-

De manière analogue, les sondages de direction Nord 315 degrés, pentés à 45 degrés vers le Nadir déterminent un plan de direction Nord 45 degrés, de pendage Ouest 45 degrés. Les structures minéralisées interceptées se correllent selon des droites d'orientation Nord 35 à Nord 40 degrés sur un plan en projection horizontale au 1/400 ème.

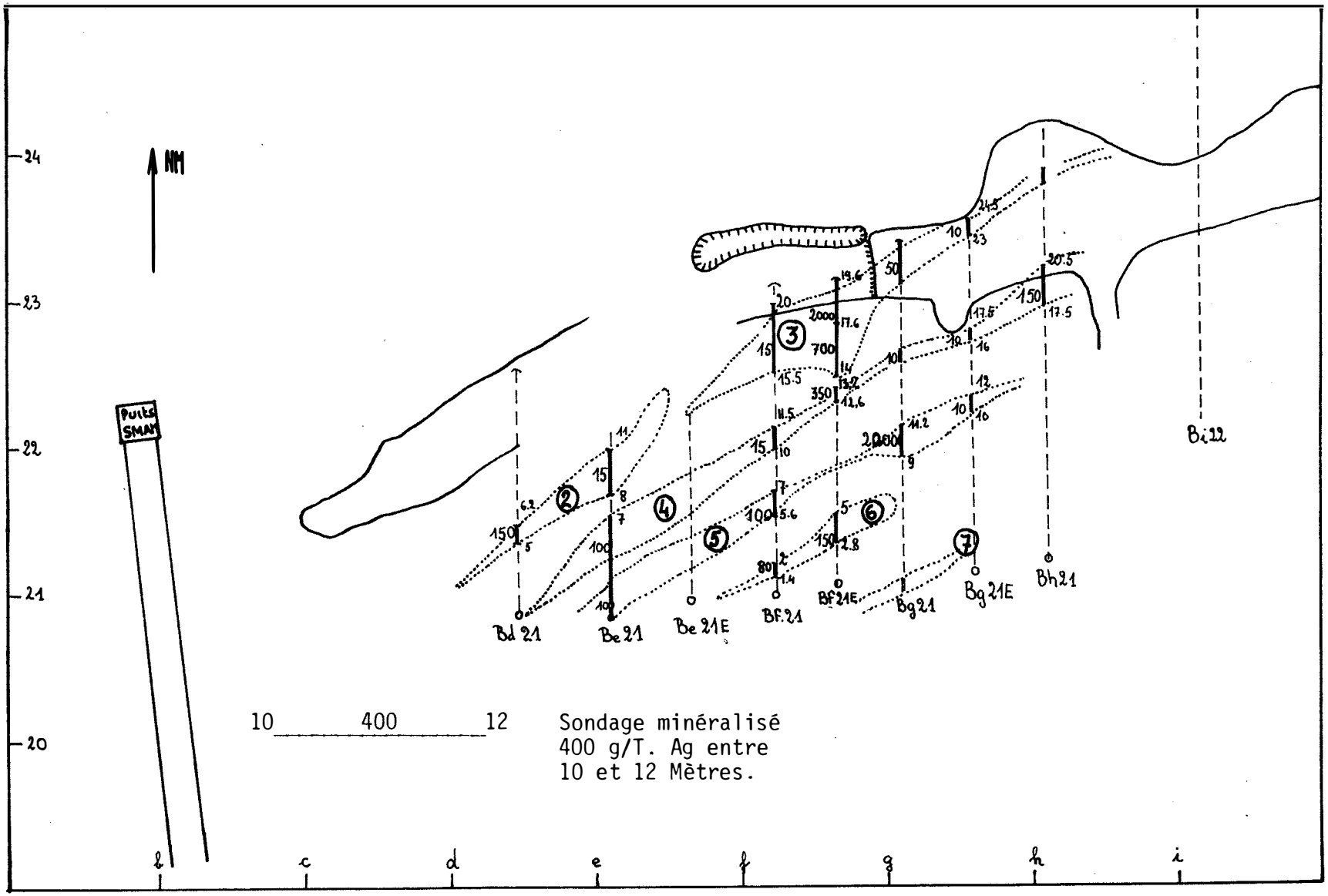


Figure VI-10 - Projection des sondages Sud-Nord inclinés à 45 degrés Sud sur un plan horizontal passant par l'amorce des sondages. Interpolation des impacts. Echelle : 1/400ème. Topographie : Champalle.

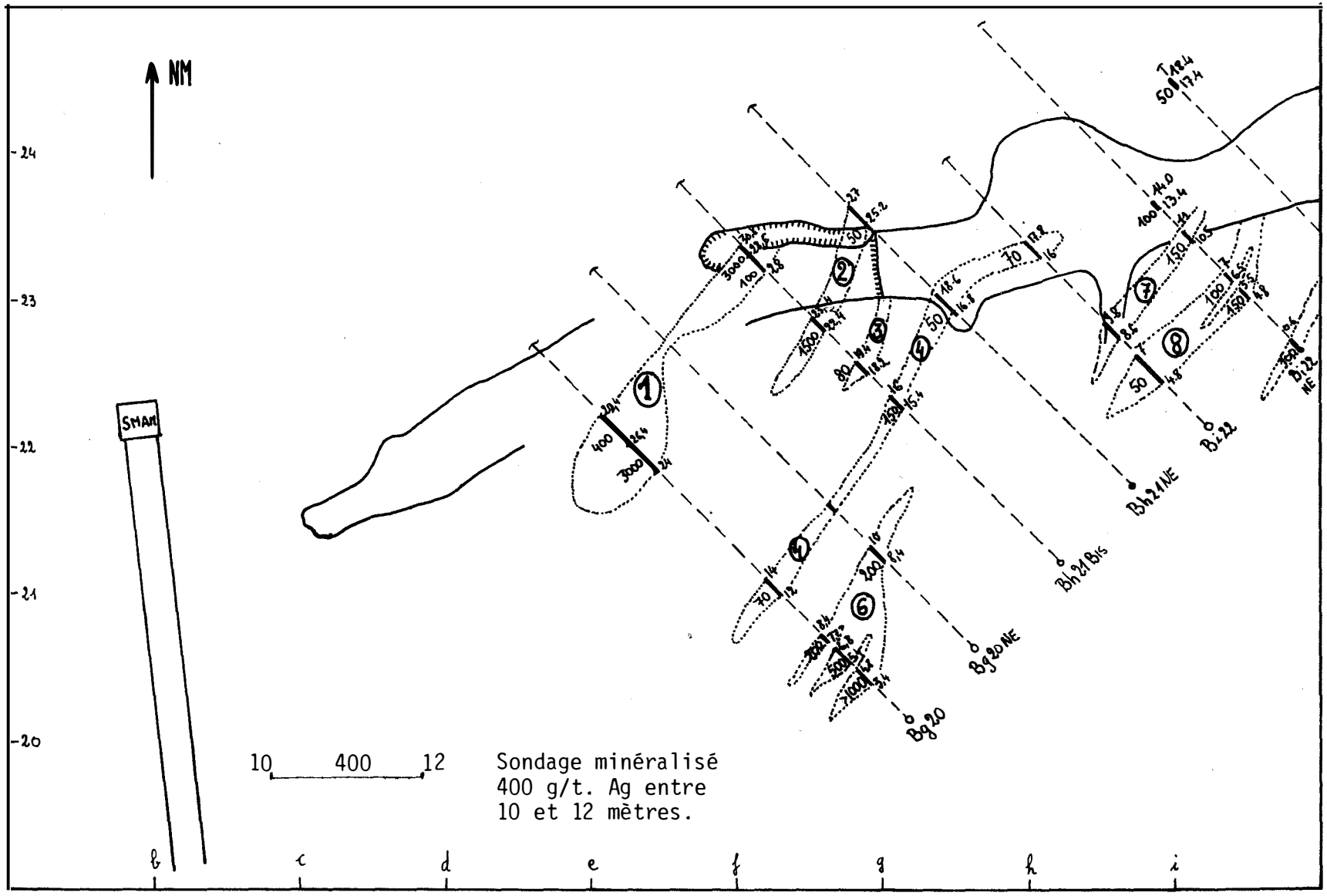


Figure VI-11 - Projection des sondages dirigés vers 315 degrés inclinaison 45 degrés Ouest sur un plan horizontal passant par l'amorce des sondages. Interpolation des impacts. Echelle : 1/400ème. Topographie : Champalle

3 - Construction du plan générateur du système minéralisé -

Les projections des intersections des deux plans de sondage (Est-Ouest - 45 degrés Nord et Nord 315 degrés - 45 degrés Ouest) avec les plans minéralisés sont deux droites de directions respectives Nord 60 et Nord 35 degrés.

Ces deux droites permettent de construire le plan générateur du système minéralisé, dont les droites Nord 60 et Nord 35 degrés constituent deux traces.

Nous déterminerons dans un premier temps la direction du plan générateur par son intersection avec un plan horizontal, puis son pendage, a, donné par la relation a = Arc tg h/x dans laquelle h représente la profondeur comptée à partir de l'origine en un point du plan, et x la distance en projection horizontale séparant ce point de la droite génératrice passant par l'origine.

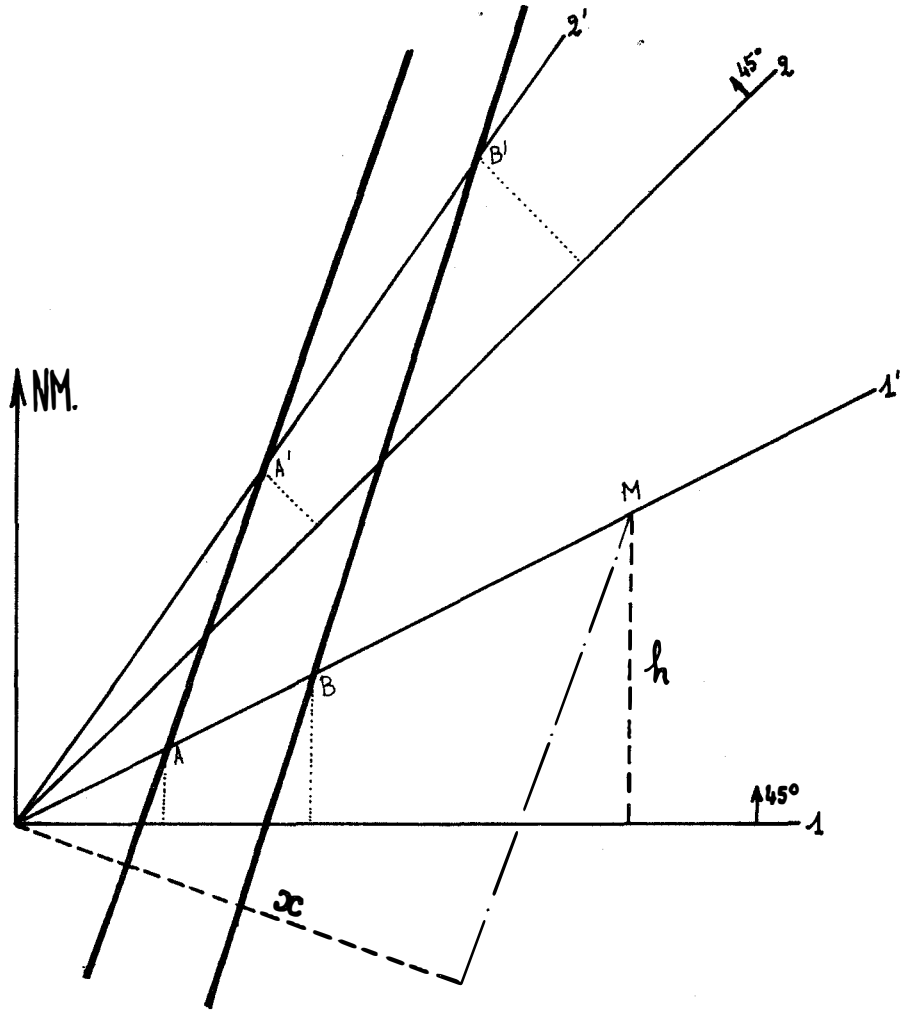


Figure VI-12 - Construction du plan générateur des plans minéralisés de la borne 3 Est recoupés par sondages percutants.

4 - Conclusion -

Il semblerait donc que les sondages réalisés interceptent un système de plans minéralisés, dont la direction approximative varierait entre Nord 25 et Nord 30 degrés, le pendage entre Nord 30 et Nord 40 degrés Est.

Ces résultats sont conformes aux observations effectuées dans les anciens travaux.

Il reste toutefois à codifier l'identité des impacts et à procéder à des interpolations en vue de parvenir à un modèle global schématique du système minéralisé, permettant d'établir des coupes sériées de la minéralisation aux différents niveaux.

B - *Interprétation des impacts* (*cartes 13-14*)

Une fois établie l'existence de filons minéralisés de direction Nord 25 à Nord 30 degrés, à pendage 30 à 40 degrés Est, nous avons interpolé les impacts selon ces éléments de structure, en vue de réaliser deux coupes aux niveaux - 10 et - 40 mètres respectivement.

La méthode d'une interpolation linéaire, dont nous avons fait usage, est peu rigoureuse, car tant les pendages que les directions filoniennes sont sujettes à des variations qui peuvent être importantes.

D'autre part, l'hypothèse d'une rectitude absolue des sondages percutants relève de la fiction, ainsi que la précision sur les localisations au sol et les profondeurs des zones riches.

Enfin, la minéralisation recoupée peut être discontinue, encore que la morphologie des anciens travaux laisse à supposer une certaine continuité.

Toutefois, les résultats obtenus ne semblent pas aberrants. On peut constater dans la coupe au niveau - 10 mètres une bonne coïncidence entre les minéralisations supposées et les zones dépilées par les Anciens. (*carte VI-13*)

D'autre part, les deux coupes réalisées mettent en évidence un faciès des corps minéralisées en arêtes de poisson, de direction sensiblement Nord-Sud, greffées au Sud d'une dorsale principale orientée selon un axe proche de Est-Ouest.

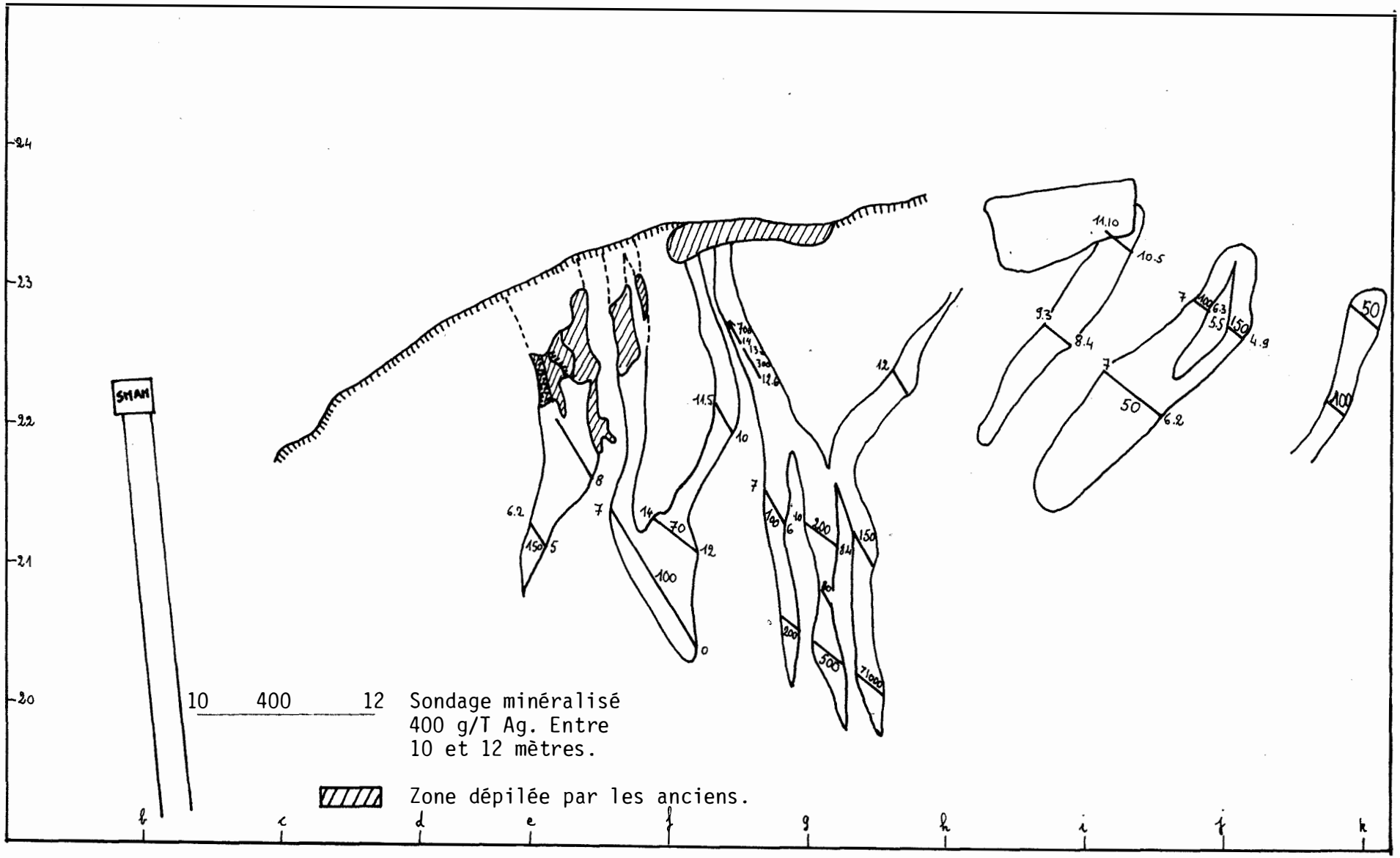


Figure VI-13 - Plan au niveau - 10. Sondages représentés entre - 5 et - 15 m. Anciens travaux à cette côte. Echelle : 1/400 ème.

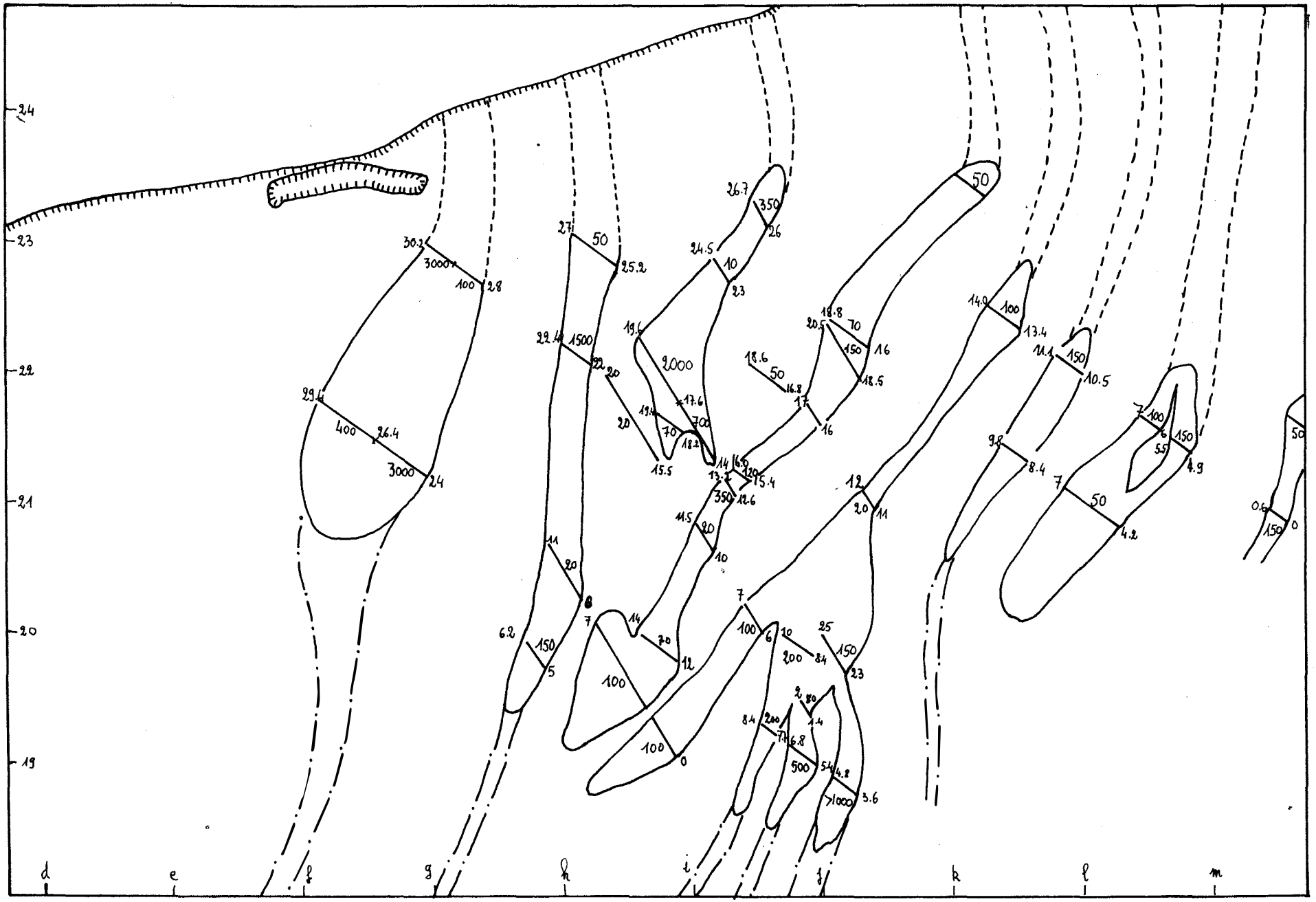


Figure VI-14 - Plan interprété du niveau - 40. Les sondages sont interpolés selon un plan Nord 30 degrés 45 degrés Est.

C - *Conclusion* -

Les éléments structuraux mis à jour par les sondages percutants viennent à l'appui des conclusions tirées à partir de l'étude des Anciens travaux.

On peut penser qu'il existe une minéralisation riche (pouvant localement atteindre 5 kg Ag/tonne) sur une faible puissance il est vrai (vraisemblablement inférieure au mètre dans le plupart des cas) localisée dans des structures d'orientation Nord 25 degrés environ, à pendage 40 degrés Est, qui a échappé aux Anciens, et pourrait faire l'objet d'une récupération à l'heure actuelle.

Toutefois un cubage est encore impossible - Le creusement d'une galerie de reconnaissance s'impose, à partir d'un ancien bure de la SMAM au niveau - 40 mètres, en vue de vérifier les hypothèses émises, et de confirmer les résultats concernant tant les teneurs, que les puissances des veines minéralisées en argent.

VI - TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES GÉOCHIMIQUES -

- En vue de mettre en évidence le cortège géochimique accompagnant l'argent selon les corps minéralisés de la borne 3, nous avons effectué un échantillonnage en masse dans les anciens travaux, portant sur des extensions de grattage ou de dépilage, ainsi que sur des stots. Les échantillons ont été regroupés selon leur appartenance :

- aux filons de direction Est-Ouest de la borne 3 Est. (42 échantillons) (population B 3 E - EW) (population B)
- aux filons de direction Nord-Sud de la borne 3 Est (28 échantillons) (population B 3 E - NS) (population A)
- au système d'orientation Est-Ouest de la borne 3 Ouest (93 échantillons) (population B 3 W) (population C).

- Toutes les populations ainsi définies ont été soumises à un traitement statistique sur ordinateur, qui permet d'obtenir les paramètres caractéristiques de la distribution de chaque élément, ainsi que ses corrélations.

Malheureusement, les teneurs géochimiques en argent ne sont que très approximatives, puisqu'elles sont données par une analyse au spectrographe d'émission, sans conformation au spectrographe à flamme.

- Après un exposé des données statistiques relatives aux trois populations, nous comparerons les caractéristiques géochimiques des filons de direction Est-Ouest et Nord-Sud de la borne 3 Est d'une part, puis des filons orientés en Est-Ouest des systèmes filoniens de la borne 3 Est et de la borne 3 Ouest d'autre part.

Cette démarche devrait permettre de mettre en évidence d'éventuelles zonalités spatiales, selon des axes Nord-Sud et Est-Ouest.

A - *Les données numériques* -

Nous allons étudier les paramètres de la distribution des teneurs en éléments-trace dans les trois populations A, B, C ainsi que les corrélations existant dans chacune de ces populations.

1 - La moyenne :

	Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb
Borne 3 Est Direction NS Population A (28)	379	497	647	2412	584	3432	280	1118	20	324
Borne 3 Est Direction EW Population B (42)	623	481	721	2207	238	4228	447	1009	19	403
Borne 3 Ouest Direction EW Population C (93)	490	594	980	4750	270	4435	1914	1373	25	463

2 - Les paramètres de dispersion (coefficient de variation, minimum, maximum.

ELEMENTS	Coefficent de variation			Minimum			Maximum		
	A:NS B3E	B:EW B3E	C:EW B3W	A	B	C	A	B	C
Co	0,67	1,44	1,0	60	60	40	1000	5000	3000
Ni	0,41	0,60	0,41	100	30	100	1000	1500	1000
Cu	2,13	1,05	1,14	20	300	200	6000	3000	6000
Pb	1,25	0,95	0,55	150	300	400	10000	10000	10000
Mo	2,61	2,58	1,1	2	10	6	8000	4000	1500
Mn	0,78	0,65	0,54	600	600	1000	10000	10000	10000
As	1,33	1,17	1,47	0,1	0,1	1	2000	3000	10000
Zn	0,66	1,38	0,58	300	100	200	3000	10000	4000
Sn	0,80	1,74	1,80	0,1	0,1	0,1	100	40	100
Sb	1,40	1,21	0,93	1	1	1	3000	500	3000

3 - Le coefficient de corrélation :

		Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb
Co	A										
	B										
	C										
Ni	A										
	B										
	C	0,55									
Cu	A										
	B	0,68									
	C										
Pb	A			0,71							
	B			0,57							
	C	0,46	0,36	0,31							
Mo	A			0,79							
	B										
	C	0,47	0,31								
Mn	A										
	B			0,55	0,50						
	C			0,46	0,37						
As	A										
	B										
	C	0,41			0,49						
Zn	A			0,94	0,68						
	B	0,73		0,78	0,53						
	C		0,54	0,44			0,33				
Sn	A								0,76		
	B		0,58								
	C	0,37	0,58		0,41						
Sb	A				0,67		0,81				
	B			0,63					0,62		
	C		0,42	0,49			0,46		0,60		

A : Population Borne 3 Est. Filons de direction Nord-Sud.

N = 28 - t = 0,62 à 1%

B : Population Borne 3 Est. Filons de direction Est-Ouest.

N = 42 - t = 0,46 à 1%

C : Population Borne 3 Ouest Filons de direction Est Ouest

N = 93 - t = 0,30 à 1%

B - *Géochimie comparée dans les travaux de la borne 3 Est entre filons de direction proche de Est-Ouest (population B) et de Nord-Sud (population A).*

1 - Etude de la moyenne :

Si le nickel, le plomb, le cuivre, le zinc et l'étain ont des teneurs comparables dans les deux systèmes filoniens, des différences tranchées apparaissent dans le comportement de certains éléments.

Le cobalt et l'arsenic sont concentrés dans les filons de direction Est Ouest (rapport 1,6 environ) ainsi que le manganèse et l'antimoine (rapport 1,25 environ).

D'autre part, le molybdène domine dans les échantillons provenant de la population A (Nord-Sud) puisque le rapport de ses teneurs moyennes à celles de la population B est de 2,5.

Les résultats concernant l'argent sont excessivement fragmentaires et peu fiables. Une comparaison en est impossible.

2 - Etude des paramètres de dispersion (coefficient de variation, minimum, maximum :

- Le nickel et le manganèse, le plomb, l'arsenic et l'antimoine, le molybdène sont caractérisés par des coefficients de variation comparables dans les deux populations - (inférieur à 0,8 pour les deux premiers éléments, variant entre 1,15 et 1,40 pour les trois suivants, de l'ordre de 2,6 pour le dernier).

- Des différences de comportement dans la répartition se font jour pour le cobalt, le zinc, l'étain d'une part, le cuivre de l'autre.

+ cobalt, zinc et étain sont répartis de manière régulière dans la population relative aux filons de direction Nord-Sud, alors que dans son homologue constituée d'échantillons en provenance de filons de direction Est-Ouest, le coefficient de variation atteint des valeurs élevées (comprises entre 1,4 et 1,75).

+ Le cuivre en revanche possède un coefficient de variation voisin de 1 dans la population B (Est-Ouest) alors que dans la population A (Nord-Sud) ce paramètre dépasse 2.

3 - Etude des corrélations :

a) Corrélations dans la population A (filons de direction Nord-Sud)

Les échantillons formant la populationA sont au nombre de 28, et le seuil de corrélation à 1% vaut 0,62.

Les corrélations significatives sont réportées ci-dessous, classées par ordre de coefficients de corrélation croissants.

Plomb - antimoine	0,67
Plomb - zinc	0,68
Cuivre - plomb	0,71
Zinc - étain	0,76
Cuivre - molybdène	0,79
Manganèse - antimoine	0,81
Cuivre - zinc	0,94

On peut remarquer l'étroite corrélation existant entre le cuivre et le zinc, ainsi que l'existence d'un groupement cuivre-plomb-zinc, relié au molybdène par l'intermédiaire du cuivre, à l'étain par celui du zinc et à l'antimoine par celui du plomb.

D'autre part, une corrélation antimoine-manganèse semble s'exprimer.

b) Corrélations dans la population B (filons de direction Est-Ouest.

Les échantillons de la population B sont au nombre de 42 d'où une valeur de 0,46 pour le seuil de corrélation à 1% - Les principales corrélations relevées, classées par ordre de coefficient de corrélation croissant sont les suivantes :

Plomb	-	manganèse	: 0,50
Plomb	-	zinc	: 0,53
Cuivre	-	manganèse	: 0,55
Cuivre	-	plomb	: 0,57
Nickel	-	étain	: 0,58
Zinc	-	antimoine	: 0,62
Cuivre	-	antimoine	: 0,63
Cobalt	-	cuivre	: 0,68
Cobalt	-	zinc	: 0,73
Cuivre	-	zinc	: 0,78

Le cobalt, le plomb et l'antimone, bien que non liés entre eux sont tous trois en relation avec le cuivre et le zinc, fortement corrélés (coefficient 0,78). D'autre part, le manganèse est lié au cuivre et au plomb.

c) Comparaison entre les corrélations dans les deux populations -

a) Les seules liaisons communes aux deux populations mettent en jeu le groupement cuivre-plomb-zinc, dans lequel le lien cuivre-zinc semble particulièrement marqué.

b) Les deux populations possèdent une corrélation faisant intervenir l'étain, lié au zinc dans la population A (filons de direction Nord-Sud) au nickel dans la population B (filons de direction Est-Ouest).

Les autres corrélations dans les deux populations peuvent être considérées comme satellites du groupement cuivre, plomb, zinc mais les éléments qui interviennent sont différents.

Dans la population B (filons de direction Est-Ouest)

le cobalt est lié au cuivre et au zinc
le manganèse est lié au cuivre et au plomb
l'antimoine est lié au cuivre et au zinc.

Dans la population A (filons de direction Nord-Sud)

L'antimoine est lié au plomb et au manganèse

le molybdène est lié au cuivre.

Le cuivre semble donc jouer un rôle plus important dans les liaisons de la population B que dans celles de la population A.

4 - Conclusions :

a) Sur le plan quantitatif, les spectres géochimiques étudiés dans les deux systèmes minéralisés d'orientation globale Est-Ouest et Nord-Sud sont comparables, à l'exception de la prédominance dans les travaux de direction Est-Ouest, du cobalt et de l'arsenic, du molybdène dans les excavations suivant un axe Nord-Sud.

b) Au niveau des corrélations, les deux populations présentent un même groupement central à cuivre-plomb-zinc. Les divergences observées semblent difficilement interprétables.

c) Toutefois, une même origine peut être envisagée comme probable pour les spectres géochimiques caractéristiques des deux ensembles filoniens - Les teneurs en argent ne paraissent pas varier énormément entre travaux d'orientation Est-Ouest et Nord-Sud pour autant que les analyses semi quantitatives à notre disposition permettent d'en juger.

C - *Géochimie comparée dans les travaux de direction Est-Ouest de la borne 3 Est (population B) et de la borne 3 Ouest (population C)* :

1 - Etude de la moyenne :

a) Les éléments-trace se caractérisent en général par des teneurs élevées.

On peut remarquer que le spectre géochimique semble dominé par le plomb, le manganèse et le zinc, ainsi que par l'arsenic dans les travaux de la borne 3 Ouest.

Les teneurs en argent sont incertaines, mais dépassent toujours 100 ppm, parfois 1000 ppm.

Certains éléments, tels que le cuivre, le nickel et le cobalt atteignent des teneurs géochimiques supérieures à 500 ppm, rares dans le domaine d'IMITER.

Molybdène et antimoine se caractérisent par des concentrations comprises entre 200 et 300 ppm, 400 et 500 ppm respectivement.

b) Le rapport des teneurs moyennes en éléments-trace enregistrées dans les travaux de la borne 3 Est sur celles relevées dans les échantillons provenant de la borne 3 Ouest montre que les concentrations en éléments-trace sont en général supérieures dans la population caractéristique de la borne 3 Ouest.

- Les différences sont peu sensibles pour la majorité des éléments (rapport proche de 1 pour nickel, cuivre, molybdène, manganèse, zinc, antimoine, étain).

- pour le plomb, et surtout l'arsenic, le rapport diminue notablement. Les travaux de la borne 3 Est sont plus pauvres en ces deux éléments que ceux de la borne 3 Ouest (rapports 0,5 et 0,2).

- par contre, le cobalt semble concentré dans les travaux de la borne 3 Est (rapport 1,3).

- L'argent, pour autant que les analyses à notre disposition soient significatives serait plus abondant à l'Est qu'à l'Ouest, mais ce résultat est extrêmement douteux.

2 - Etude des paramètres de distribution : minimum, maximum σ/m

En général, le coefficient de variation (σ/m) est supérieur dans la population représentative de la borne 3 Est, ce qui traduit une plus grande irrégularité de la distribution.

Dans les travaux de la borne 3 Est, le molybdène se caractérise par un coefficient de variation élevé (2,58), d'où l'on peut déduire une distribution erratique de ce métal.

3 - Etude des corrélations :

a) Corrélations dans la population caractéristique de la borne 3 Ouest :

Les échantillons prélevés dans les anciens travaux de la borne 3 Ouest sont au nombre de 93 - Le seuil à 1% du coefficient de correlation se situe à 0,30.

Les principales corrélations observées sont, par ordre de coefficient de corrélation croissant.

cuivre	- plomb	: 0,31	cuivre	- manganèse	: 0,46
nickel	- molybdène	: 0,31	cobalt	- plomb	: 0,46
manganèse	- zinc	: 0,33	manganèse	- antimoine	: 0,46
plomb	- nickel	: 0,36	cobalt	- molybdène	: 0,47
cobalt	- étain	: 0,37	cuivre	- antimoine	: 0,49
manganèse	- plomb	: 0,37	plomb	- arsenic	: 0,49
cobalt	- arsenic	: 0,41	nickel	- zinc	: 0,54
plomb	- étain	: 0,41	cobalt	- nickel	: 0,55
nickel	- antimoine	: 0,42	nickel	- étain	: 0,58
cuivre	- zinc	: 0,44	zinc	- antimoine	: 0,60

On peut constater la présence de deux groupements assez nets :

cuivre - manganèse - antimoine - zinc d'une part,

étain - cobalt - nickel - plomb de l'autre,

Le passage entre ces deux associations s'effectue par un lien :

- du plomb avec le cuivre et le manganèse
- du nickel avec l'étain et le zinc

D'autre part, l'arsenic et le molybdène sont correllés avec le plomb et le cobalt, le nickel et le cobalt respectivement.

b) Comparaison entre les corrélations dans les deux systèmes :

α) Certaines liaisons sont communes aux populations de la borne 3 Est et la borne 3 Ouest :

- cuivre - plomb
- cuivre - manganèse
- plomb - manganèse
- cuivre - zinc
- nickel - étain
- cuivre - antimoine
- zinc - antimoine

Le pôle commun principal des deux spectres géochimiques est le cuivre, lié à la fois au plomb, au zinc et à l'antimoine. De plus, un groupement cuivre, antimoine, zinc ressort nettement. Ces relations pourraient s'expliquer par l'existence de mineraux de type sulfoantimonié (tétraédrite, famatinites, etc...) dans la paragénèse.

Le lien cuivre, plomb, manganèse est plus difficile à interpréter, mais relève probablement de processus de remaniement supergène. La liaison nickel-étain serait significative de minéralisations liées à des roches basiques.

β) Malgré des analogies, des différences notables séparent les corrélations observées à l'intérieur des filons de directions Est-Ouest des travaux de la borne 3 Est et de la borne 3 Ouest.

Les corrélations, plus nombreuses dans la population représentative de la borne 3 Ouest font ressortir un groupement :

cobalt - nickel - étain - plomb, avec liens non généralisés envers le molybdène et l'arsenic.

Une telle association fait penser à des minéralisations pouvant renfermer des sulfo-arséniures de cobalt et de nickel, ainsi que des minéraux d'étain et de plomb (Bi - Co - Ni).

Cependant, dans les travaux de la borne 3 Est, le cobalt est lié au cuivre et au zinc, ce dernier élément étant également correllé avec le plomb.

Le second groupement caractéristique de la population représentative de la borne 3 Ouest

cuivre - antimoine - zinc - manganèse

rappelle les associations observées dans la population A (borne 3 Est - filons de direction Nord-Sud) qui faisaient inervenir cuivre - plomb - zinc - antimoine, ainsi que le molybdène.

4 - Conclusion -

Il semblerait donc que les associations relevées dans la population de la borne 3 Ouest se rattachent partiellement à chacun des deux systèmes de corrélations observés dans les travaux de la borne 3 Est représentant les filons de direction Nord-Sud d'une part, les filons de direction Est-Ouest d'autre part.

D - Conclusions -

1. Les minéralisations reconnues dans les systèmes minéralisés de la borne 3 Est et dans les travaux de la borne 3 Ouest se caractérisent par un pôle à cuivre lié respectivement au plomb et au zinc.

La prédominance du plomb dans la paragénèse se fait sentir dans les travaux de la borne 3 Ouest, cependant que d'autres éléments tels que le cuivre, le zinc, l'antimoine et le manganèse croissent régulièrement si l'on passe des filons de direction Nord-Sud à ceux de direction Est-Ouest de la borne 3 Est, et à ceux de direction Est-Ouest de la borne 3 Ouest.

Les teneurs en cobalt et nickel sont élevées (500 ppm).

Le molybdène est concentré dans les fractures de direction Nord-Sud.

L'arsenic dans celles de direction Est-Ouest, où cet élément vraisemblablement lié au quartz, pourrait entrer dans la composition de sulfoarséniures de nickel et de cobalt, en association avec le mispickel qui a pu être observé en section polie dans les travaux de la borne 3 Ouest.

2. Au niveau des corrélations, il apparait dans le système minéralisé de la borne 3 Ouest que le plomb et le molybdène sont liés à des éléments tels que le cobalt, le nickel et l'étain, que l'on rattache ordinairement aux paragénèses d'assez haute température de type Bi - Co - Ni.

. Par contre, dans le système minéralisé de la borne 3 Est, les liens du plomb avec le cuivre, le molybdène, le zinc et l'antimoine peuvent s'expliquer par la présence de minéraux complexes (sulfosels).

Nous avons pu observer des veinules de cuivre gris associés à des minéraux argentifères (argentite principalement) - D'autre part, certains échantillons prélevés dans les haldes provenant des travaux effectués sur l'alignement de la borne 3, mais dont la provenance reste incertaine avaient été déterminés par M. TORTOCHAUX comme de la famatinite (Cu_2 Sb S_4) avec les teneurs ci-après =

Cu 35%

Sb + As 15 à 20% à Sb dominant

Ag 11 kg/t.

Il semble donc que l'argent se trouve lié à ces minéraux complexes, ce qui laisse supposer une minéralisation argentifère d'assez basse température.

3. Les liens de l'argent et de la galène semblent, en revanche très énigmatiques. M. AMADE avait déjà remarqué l'extrême irrégularité des rapports Pb/Ag dans l'ensemble des travaux d'IMITER. Les résultats obtenus dans l'échantillonnage des anciennes excavations de la borne 3, encore que trop peu nombreux et souvent trop imprécis, viennent à l'appui de cette observation.

D'autre part, si dans les sections polies que nous avons pu étudier apparait parfois une relation spatiale entre la galène et l'argent, ce fait n'est pas généralisable, et relève fréquemment d'actions de remaniement. En aucun cas, nous n'avons pu déceler d'inclusions argentifères dans la galène.

Néanmoins, une certitude pourrait être atteinte grâce à une analyse chimique des galènes pour argent, mais la taille des spécimens récoltés rend une telle opération ardue, et ne pourrait revêtir qu'un caractère approximatif.

On peut donc raisonnablement penser dans l'état actuel de nos connaissances, que l'hypothèse d'une minéralisation argentifère minéralogiquement exprimée indépendamment de la galène, ou tout au moins sans lien évident avec ce minéral, est la plus plausible.

4. Dans cette optique pourraient s'interpréter certaines des particularités des spectes géochimiques relevées dans les travaux de la borne 3 Ouest et dans ceux de la borne 3 Est.

Les paragénèses à galène abondante, mispickel associé accompagnées d'argent rarement visible, rencontrées dans les excavations de la borne 3 Ouest passeraient dans certaines zones des travaux de la borne 3 Est à une minéralisation où la galène serait en diminution, les sulfosels tels que la tétraédrite présents

et l'argent exprimé sous forme de plages d'argentite indépendantes. Au niveau des corrélations, les liens de l'association nickel-cobalt-étain-arsenic avec le plomb s'estomperaient d'Ouest en Est, pour aboutir dans la population caractéristique de la borne 3 Est à un groupement plomb-cuivre-zinc-antimoine.

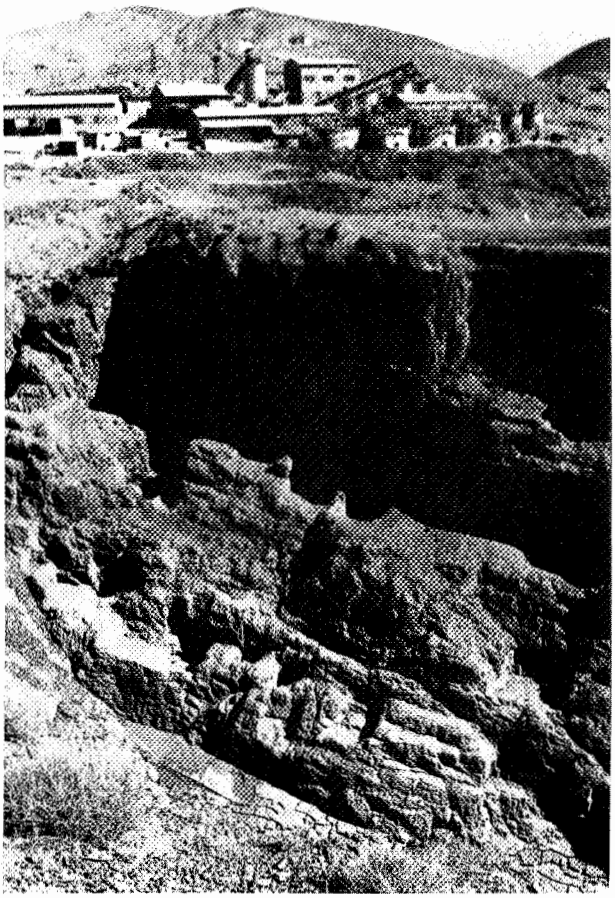
Les paragénèses de la borne 3 Est, favorables à de hautes teneurs en argent se rattacheraient à un domaine de minéralisations relativement plus "froides" que celles observées dans les travaux de la borne 3 Ouest.

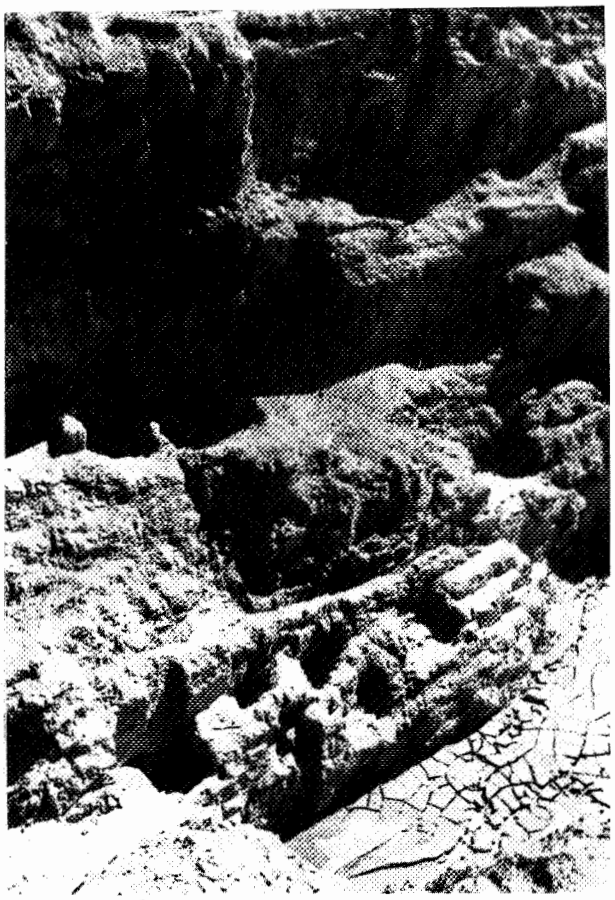
Ainsi, pourrait s'expliquer le fait que les teneurs en argent soient plus élevées dans les excavations de la borne 3 Est que dans celles de la borne 3 Ouest, pour autant que l'on puisse accorder foi à des mesures semi-quantitatives.

5. Cependant, malgré ces différences, il semble bien que les minéralisations observées dans les deux systèmes filoniens aient des origines communes.

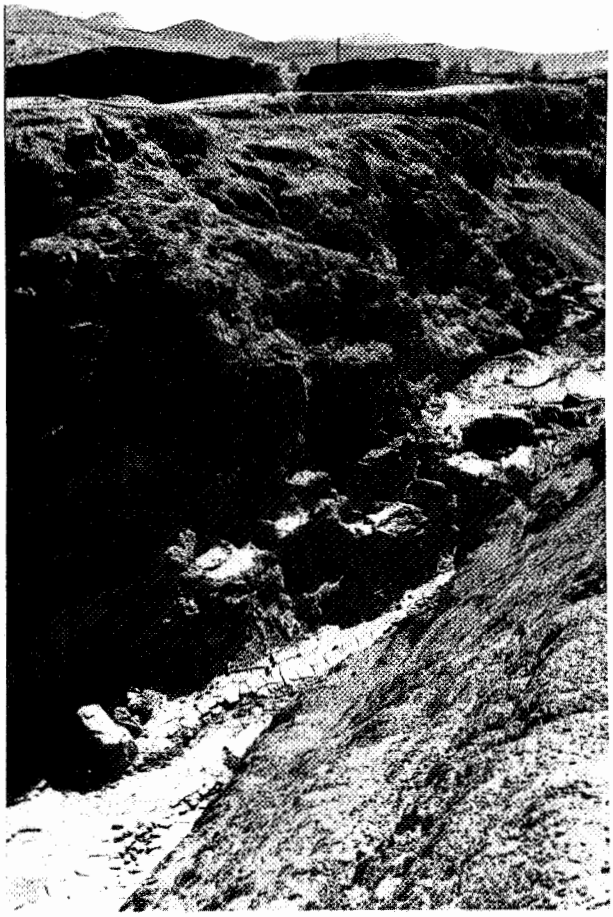
Les paragénèses observées ainsi que les spectres géochimiques étudiés seraient le reflet d'une évolution à partir d'une même source.

Dans la mesure où les profondeurs atteintes dans les deux systèmes de travaux anciens sont comparables, l'hypothèse d'une zonalité horizontale semble plus plausible que celle d'une zonalité verticale, (dont l'existence n'est cependant pas exclue).

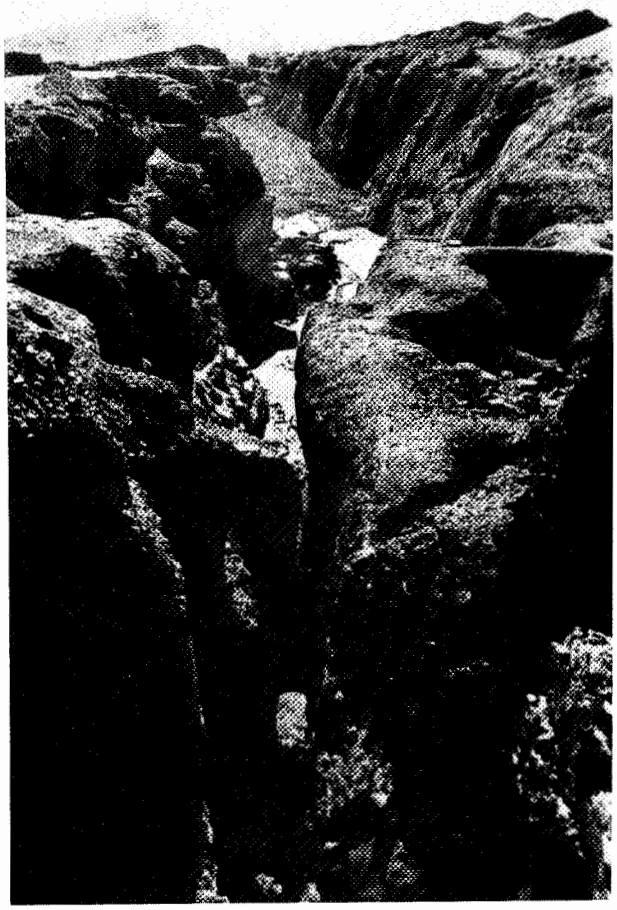




Aspects du contrôle tectonique - cheminées à faciès "échiquier". Vues prises du parement Sud de la carrière vers le Nord.



Vue générale prise de l'Ouest vers l'Est



Vue générale prise de l'Ouest vers l'Est et cheminées terminales

Planche VII-1 = LES ANCIENS TRAVAUX du tas A -

CHAPITRE VII - LES TRAVAUX DU PII - LE TAS A -

I - PRÉSENTATION -

A - *Localisation - Dimensions* -

La carrière, dite du tas A représente un ouvrage ancien d'envergure exceptionnelle. (cf. CARTE VII-1).

Elle se situe dans la zone la plus septentrionale des schistes, au centre du domaine minier, à proximité immédiate du contact faillé avec les tufs andésitiques du P III.

Lors de la découverte du gisement, ces travaux étaient entièrement remblayés et ne se signalaient que par une dépression assez molle dans le paysage.

L'excavation actuellement reconnue d'axe sensiblement Est-Ouest oscillant entre Nord 80 et Nord 125 grades, mesure dans sa longueur 660 mètres, et 40 mètres dans sa plus grande largeur. On a pu observer un certain nombre d'étroits et de seuils séparant des zones où l'exploitation a été poussée de manière plus intensive.

La profondeur atteinte par les travaux est encore mal connue. Toutefois, la reprise des haldes en vue de traitement a permis de dégager l'excavation sur une relevée qui peut atteindre 23 mètres à partir de la surface topographique. Des sondages percutants verticaux au fond de la carrière laisseraient à penser qu'en certains points, l'exploitation ancienne aurait pu s'enfoncer jusqu'à la côte - 30 mètres. Ces observations sont recoupées par l'exploration de quelques puits anciens, dont la base atteint cette profondeur.

Une cubature des haldes provenant de la carrière permet de calculer moyennant une densité en place de 1,7, un volume extrait supérieur à 240.000 m3.

B - *Morphologie des travaux* -

Dans l'état actuel du déblaiement, on peut distinguer un certain nombre d'ensembles nettement individualisés. (Plan VII-1).

a) - L'excavation principale, sous forme de carrière franche, dont les parements sont assez abrupts.

Il est possible que cette carrière provienne d'un abattage volontaire ou non de cloisonnements, séparant des cheminées de dimensions importantes - En effet, on retrouve dans les haldes, généralement fines, des blocs énormes ayant pu provenir de l'effrondrement de stots.

b) - Des cheminées souvent groupées en ensemble, et plus nombreuses sur le parement Nord que sur le parement Sud.

+ Sur le parement Nord, on peut distinguer :

. à l'Est un groupement de cheminées assez nombreuses greffées sur le parement (MADE).

. dans la zone centrale, un os présentant des cheminées de faibles dimensions (entre 1 et 5 m2) dans les stots sont plus ou moins effondrés (MADM)

. à l'Ouest, de grandes cheminées assez individualisées dont les sections peuvent atteindre 12 m2 (MAD N).

+ Dans le prolongement de la carrière principale :

. un chapelet de cheminées nettes, exploitant une zone broyée sur une largeur faible de l'ordre de 3 ou 4 mètres.

+ Sur le parement Sud :

. des cheminées réparties irrégulièrement, de peu d'extension assez rares (MAD S).

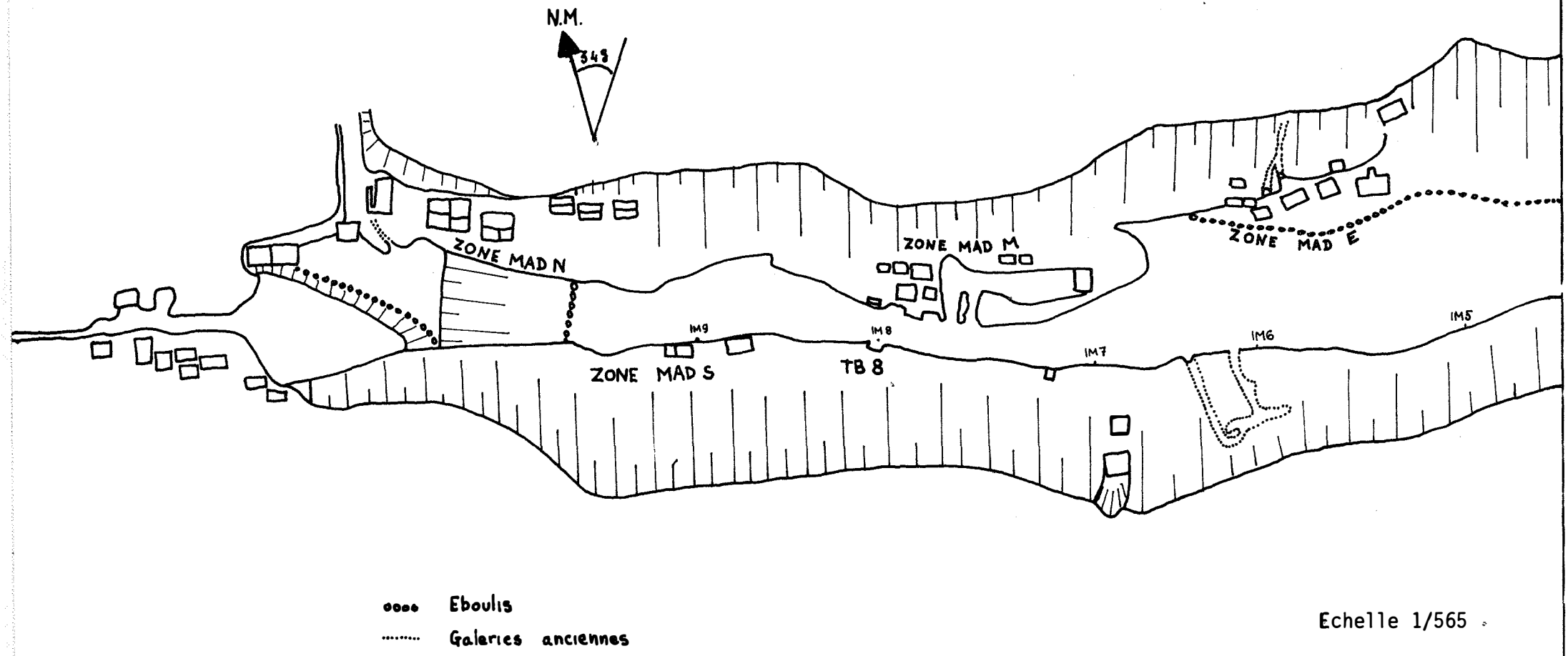
c) - Des galeries communiquant entre elles sur le parement Sud et débouchant sur un puits prolongé en dépilage dans la stratification.

Les dimensions de cet ouvrage sont restreintes en largeur, plus importantes en longueur.

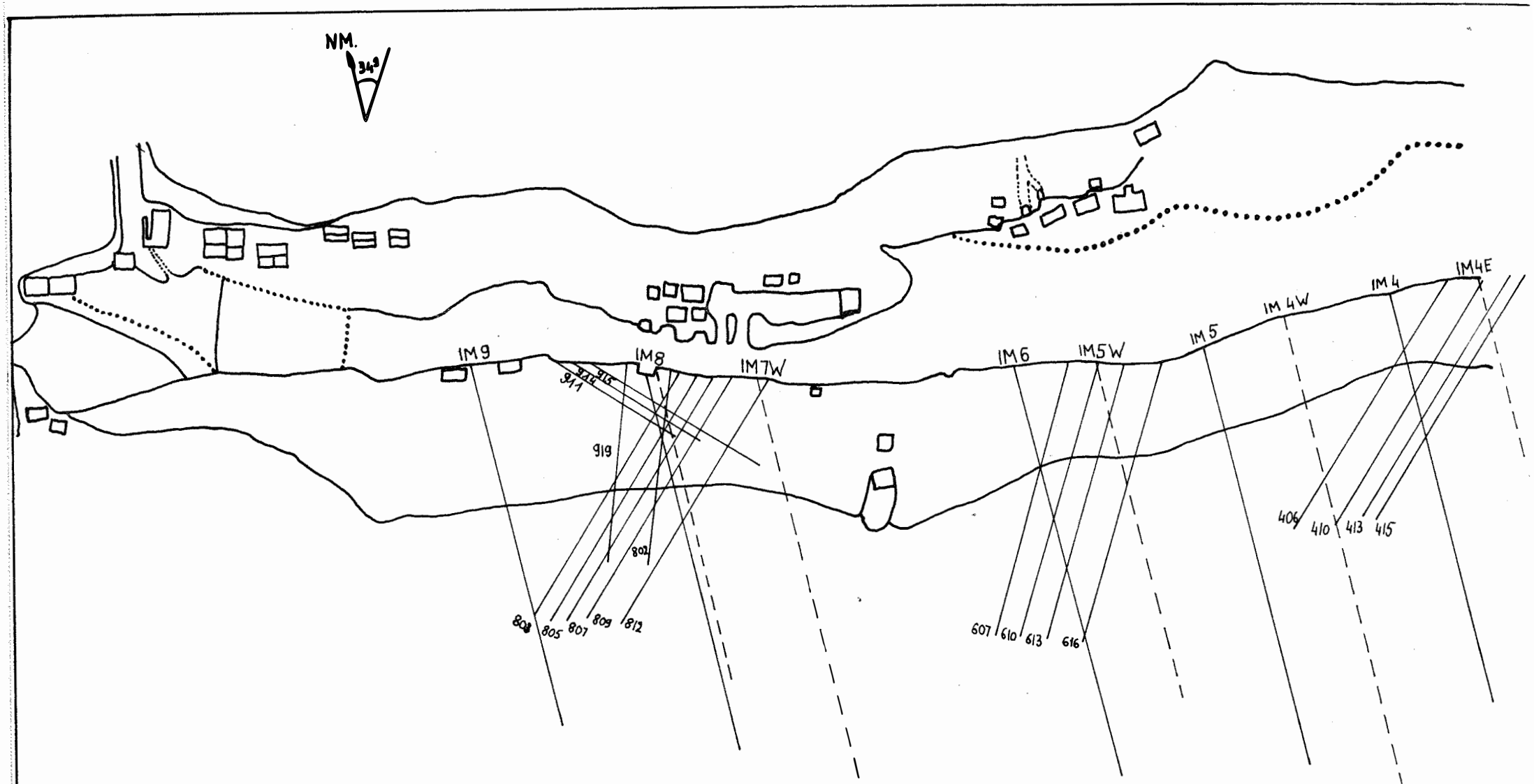
La profondeur atteinte est considérable (côte - 30 mètres environ).

Toutefois, dans l'état actuel des travaux de dégagement, ce procédé d'exploitation est unique sur l'ensemble du tas A.

Figure VII-1 - Partie Ouest des anciens travaux du tas A.
Plan de situation fin 1975.



Echelle 1/565



CARTE VII-2

Principaux sondages implantés sur le parement Sud du tas A.
Echelle ~ 1/565

C) *Les travaux de recherche actuels* -

1 - Les sondages - (cf. CARTE VII-2)

Un certain nombre de sondages ont été réalisés dans les parements de la carrière à partir du fond ou du bord Sud de l'excavation, à l'aide d'une sondeuse percutante de type ROC 601 - ATLAS - COPCO, équipée de taillants de 76 mm.

Les campagnes de sondages, orientées essentiellement sur le parement Sud, se sont déroulées en plusieurs phases, les projets les plus récents bénéficiant des renseignements fournis par les étapes précédentes de l'investigation.

a) + 1er temps :

La première campagne a consisté en sondages systématiques assez longs (50 mètres environ), dirigés selon un axe Nord-Sud, horizontaux et inclinés à 15° vers le nadir, et échelonnés tous les 20 mètres le long du parement - Les emplacements ont été numérotés d'Est en Ouest sur le parement Sud de IM 1 à IM 9, d'Ouest en Est sur le parement Nord de IM 10 à IM 15.

b) + 2ème temps :

A la suite de quelques impacts favorables observés dans la zone de IM 4, et de IM 8, des sondages complémentaires ont été réalisés, en vue de mieux appréhender le comportement en extension aussi bien latérale que verticale des anomalies géochimiques.

+ Les sondages numérotés de IM 1 à IM 8 ont été complétés par des forages percutants inclinés à 30° vers le nadir (parfois à 45° ou à 60°).
+ La maille de 20 mètres initiale a été ramenée à 10 mètres dans les zones les plus favorables grâce à des sondages intercalaires d'orientation Nord Sud et d'inclinaison 30° (et ou 45°) vers le nadir.

c) + 3ème temps :

Afin de vérifier l'extrême irrégularité et les évolutions très brusques des spectres géochimiques observés dans les sondages, le parement Sud a fait l'objet d'une étude systématique. Des sondages très courts (1 à 2 mètres) effectués au marteau perforateur ont été réalisés à maille de 1 mètre et les sédiments recueillis à chaque foration ont été analysés au spectrograhe de BOU AZZER.

d) + 4ème temps :

- Dans l'optique d'une éventuelle valorisation du parement Sud de la carrière, par abattage sélectif en masses, à partir de la surface topographique, un certain nombre de sondages ont été implantés sur une ligne courant parallèlement à la lèvre Sud de l'excavation.

De chaque emplacement, situé à la verticale des sondages numérotés de IM 1 à IM 9, partent deux forages de caractéristiques distinctes, débouchant dans le parement.

+ Les directions, dictées par des impératifs tirés de l'étude des structures dans les anciennes cheminées sont orthogonales en chaque emplacement 45° Nord et 315 ° Nord.
+ Les inclinaisons sont conditionnées par les exigences d'une exploitation par étages de 8 mètres.
  Les sondages de direction N 45° sont inclinés à 20° vers le nadir, leurs homologues orthogonaux, à 30°.

Les résultats de cette campagne se sont avérés parfaitement décevants du point de vue économique.

- Conjointement à cette approche, des sondages orientés en vue d'intercepter des structures reconnues par l'étude des parements et des anciennes exploitations, ont été implantés à partir du fond de la carrière, dans le parement Sud.

Les dimensions restreintes des corps minéralisés reconnus conditionnaient une maille très serrée (2 à 4 mètres) pour les zones les plus intéressantes (environs de IM 4 de IM 6 et de IM 8).

D'autre part, les impératifs économiques d'une éventuelle reconnaissance ultérieure par travers-bancs imposaient une longueur ne dépassant pas 30 mètres.

Les forages ont donc été orientés en majeure partie vers Nord 210 ou Nord 200 degrés, et les inclinaisons choisies ont été de 0 et de 30 degrés vers le nadir en chaque emplacement.

2 - La recoupe du TB 8 -

Un impact, particulièrement proche du parement (1 mètre) avait été observé sur un sondage IM 8 à 30° descendant; les teneurs enregistrées en argent, très élevées puisqu'elles dépassaient 2,5 kg Ag/tonne, justifiaient l'ouverture d'une recoupe de 4m2 de section et de 2 mètres de long. Ce petit ouvrage permit l'observation d'une belle minéralisation en place, ainsi que la vérification grâce à un échantillonnage en masses, des résultats obtenus par analyse des sédiments de sondage percutant.

3 - Echantillonnage des anciens travaux -

La plupart des cheminées anciennes, après avoir été déblayées ont été échantillonnées par abattage de stots ou par rainurage. Les roches prélevées ont été analysées au spectrographe après broyage et quartage, ou observées en sections polies. D'autre part, une exploration aussi systématique que possible des ensembles accessibles a été menée, en vue de reconstituer les guides utilisés par les anciens.

4 - Conclusions -

L'ensemble des travaux de recherche effectués constitue la base de l'étude pétrographique et minéralogique de la carrière A.

D'autre part, les résultats des analyses réalisées sur sédiments de sondages percutants ont fait l'objet d'un traitement en géochimie, sous un angle qualitatif puis statistique.

Nous allons tenter à l'aide des données recueillies, de mettre en évidence les guides structuraux qui conditionnent la répartition des minéralisations riches, ainsi que les associations géochimiques liées à la présence de l'argent.

II - LE CADRE PÉTROGRAPHIQUE ET TECTONIQUE -

A - *Le cadre pétrographique* -

Les travaux du tas A sont encaissés dans la partie de type flysch noir de la série rattachée au Précambrien II.

Quelques sills, vraisemblablement doléritiques sont intercalés dans la schistosité, confondue avec la stratification.

1 - Les schistes et grès :

a) Ces formations, homogènes sur l'ensemble de la carrière se caractérisent par une teinte à dominante grise plus ou moins foncée, ou verte.
Les altérations limonitiques sont fréquentes.
Une silicification intense se manifeste dans les zones broyées sous forme de microfilons de quartz amorphe, de dolomite ou de sidérite attaquées.
Les minéralisations s'accompagnent de structures microbréchiques et de vacuoles.
La pyrite et la matière organique sont abondantes dans certains niveaux

b) En lame mince, on observe du quartz en grains très fins mal arrondis cimentés par des chlorites interstitielles et de la séricite qui représentent la majeure partie de la roche. Localement, on rencontre une chlorite porphyroblastique, des fantômes de cordiérite, ainsi que du grenat sub-automorphe.

2 - Les sills intercalaires :

Les roches formant ces sills sont excessivement altérées. On peut cependant observer une structure doléritique vestigiale. Les pyroxènes sont totalement ouralitisés, les feldspaths séricitisés.
De telles formations sont peu visibles en surface, où elles se rencontrent parfois en relation avec d'anciennes cheminées.
Toutefois, elles semblent plus abondantes dans les sondages profonds

carottés réalisés par Monsieur AMADE.

Un lien avec les minéralisations ne ressort cependant pas avec netteté.

B - *Le cadre tectonique* -

1 - Tectonique souple :

- Les schistes rencontrés sur les parements se présentent en bancs redressés de direction assez constante entre Nord 90 et Nord 120 degrés et de pendage Nord élevé (de 60 à 80 degrés).

Indépendamment du plissement isoclinal, les schistes semblent subir des ondulations d'axe vertical, de faible ampleur - (cf.CARTE VII-3)Les effets de cette tectonique souple s'accompagnent de décollements entre couches de compétences différentes, amenant la formation d'un réseau plus ou moins ouvert, où circulent les eaux météoriques.

2 - Tectonique cassante :

a) on peut mettre en évidence une direction de cassure sensiblement Nord-Sud, dont le pendage, nettement redressé vers l'Ouest avoisine 70 degrés.
Ces cassures, de faible extension se présentent comme un diaclasage constant sur les parements, accompagné de quelques manifestations plus visibles (diaclases ouvertes, parfois minéralisées en quartz en peigne, de 1 à 2 centimètres d'ouverture).
Les structures Est Ouest ne semblent pas affectées par ce système de fracturation, tout au moins de manière importante.
On peut donc penser que les fractures de direction moyenne Nord-Sud sont des fractures de tension.

b) Une composante de cisaillement selon la direction Est Ouest n'est pas à exclure. Toutefois, l'absence de décalage des structures indiquerait que ses effets auraient essentiellement consisté en des écrasements et des broyages.

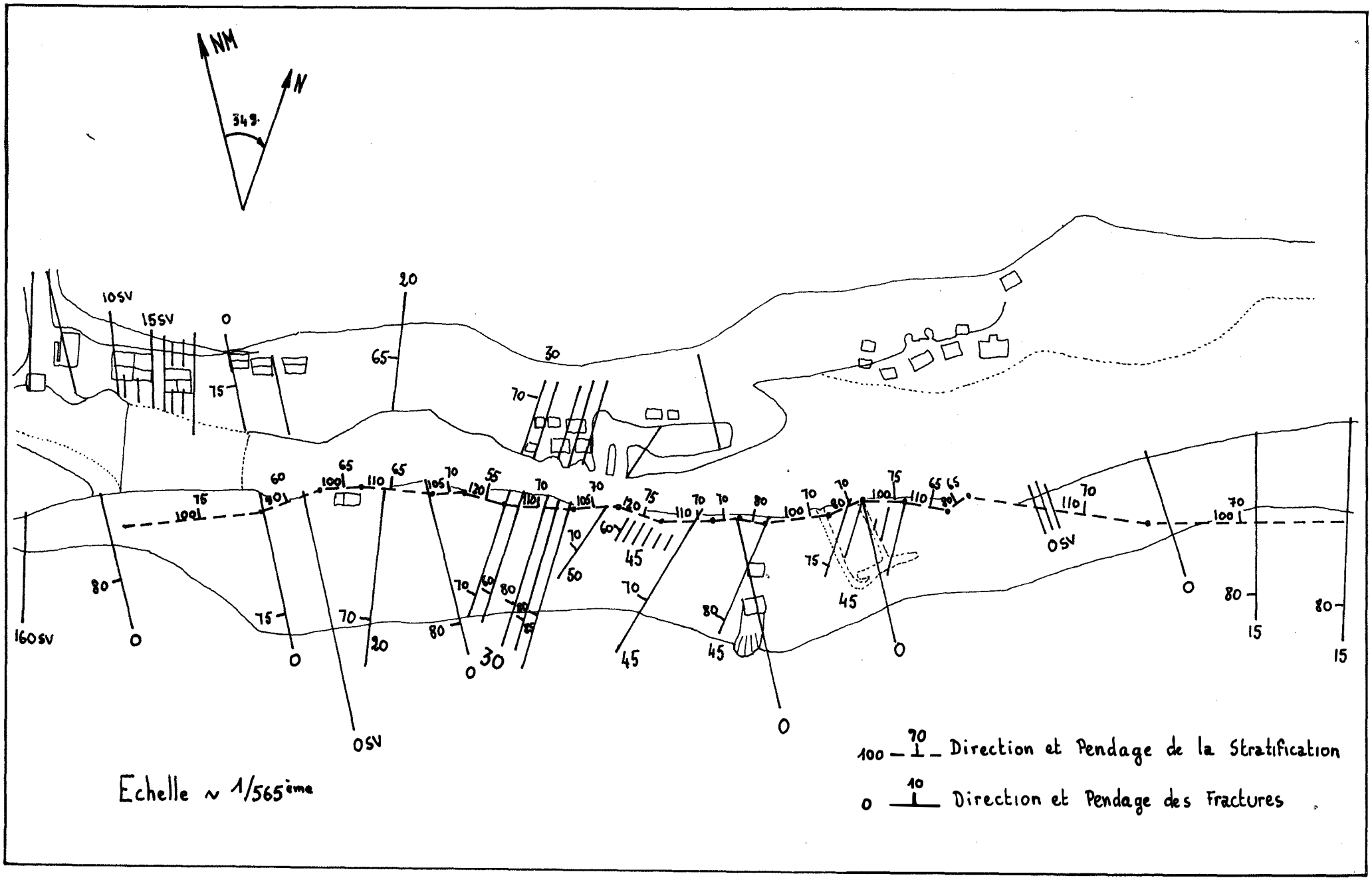


Figure VII-3 - Schéma tectonique du tas A.

Le caractère en stockwerk des minéralisations rencontrées vient à l'appui de cette hypothèse.

c) L'absence d'évidences telles que des stries de glissement interdit de conclure quant au système de contraintes.

III - MINÉRALOGIE -

Les minéralisations rencontrées dans les travaux du tas A sont relativement peu nombreuses si on considère l'ampleur de l'excavation :

On ne voit aucune caisse filonienne franche sur les fronts abandonnés par les anciens..

Toutefois, certains niveaux des schistes constituant les parements sont riches en pyrite ou fortement limonitisés.

On trouve également une minéralisation sulfurée sporadique, en mouches, dans les cheminées des anciens travaux ainsi que dans la zone Sud Ouest de la carrière où des sondages percutants ont permis de rencontrer une riche minéralisation argentifère proche du parement.

D'autre part, Monsieur SMEYKAL (1964) a effectué une étude minéralogique partielle portant sur une zone minéralisée reconnue par un sondage implanté par Monsieur AMADE. Malheureusement, tant les carottes de sondages que les sections polies associées à cette détermination sont inaccessibles.

A - *La pyrite* -

.) La pyrite constitue de loin le minéral métallique le plus abondant dans toute la zone excavée.

On la rencontre dans les schistes où elle est liée à certains niveaux sombres, peu micacés, très fins, et assez riches en matière organique. Dans cet encaissant, la pyrite revêt d'un côté un faciès de grains automorphes, cubiques dont le côté peut atteindre 0,05 mm, de l'autre, elle apparaît sous forme de filonnets de faible puissance (0,03 mm) se recoupant entre eux - Ces filonnets sont liés à des microfractures transverses à la schistosité; ou à la schistosité elle même. La pyrite dans ce cas est nettement amorphe et remplit relativement bien les vides rencontrés - Elle se présente sous forme de placages et d'enduits localisés dans la schistosité et les zones préférentielles de cassure.

.) La pyrite est très souvent altérée en limonite brune pulvérulente. Dans la plupart des cas, l'altération se traduit par une exportation de la limonite qui se piège dans les vides, et suit le réseau de fractures qui affecte les schistes. Une partie de la limonite reste cependant à proximité des pyrites dont elle dérive, et forme une auréole plus ou moins bien marquée autour du cristal altéré ou de son vestige.

.) L'étude en section polie montre que la pyrite d'IMITER se caractérise par une teinte claire et des faciès que M. PICOT rattacherait à ceux de pyrites de basse température. Des analyses qualitatives à la microsonde ne permettent pas d'y discerner d'éléments-trace. (seuil de sensibilité voisin de 0,1%).

.) Cette phase minéralisée a subi d'autre part les effect d'une tectonique cassante, marquée par des rejeux de faible ampleur des filonnets.

.) On peut donc penser que la pyrite d'IMITER relève de processus sédimentaires de dépôt - Cependant, des remaniements ont dû se produire durant le métamorphisme affectant les schistes, voire durant les phénomènes hydrothermaux à l'origine de la minéralisation argentifère.

B - *Les leucoxènes* -

A l'intérieur des schistes, quelle que soit la zone étudiée des anciens travaux on rencontre avec une abondance variable des minéraux allongés, en baguettes. Au microscope métallographique ils se caractérisent par une couleur gris clair en lumière naturelle, blanc laiteux en lumière polarisée, et leur pouvoir réflecteur est très faible.

Ces leucoxènes sont corrodés ou imbriqués dans des cristaux de pyrite disséminés. On ne peut distinguer aucune orientation nettement préférentielle dans leur mode de gisement. Il semble que ces minéraux soient liés originellement aux schistes et n'aient subi que des remobilisations sur place au cours du métamorphisme et des processus minéralisateurs.

C - *Les paragénèses sulfurées* -

Les paragénèses observées dans les anciens travaux sont le plus souvent pauvres et à caractère supergène. Les minéraux argentifères sont rares; malgré des teneurs chimiques en argent parfois élevées sur un échantillon ponctuel.
Nous distinguerons les associations minéralogiques selon les zones des anciens travaux.

1 - La zone Sud des travaux -(échantillons MAD S...)

- Des observations menées sur une cheminée anciennne, ont permis la détermination d'une minéralisation très pauvre en argent.

+ L'encaissant consiste en schistes gris fortement corrodés, silicifiés abondamment en veinules microscopiques.

+ On rencontre une association de pyrite cristallisée abondante de blende en mouches et de galène en petits cristaux groupés en nids dans les fractures. Ces trois espèces minéralogiques sont réparties assez uniformément dans les parements de la cheminée étudiée.

+ On peut remarquer un filonnet de galène centimétrique en puissance, de direction Nord 30 degrés à pendage 70 degrés Ouest, associé à une gangue de quartz en peigne.
En section polie, la galène se montre oxydée en cérusite, mais ne recèle aucune inclusion de minéraux argentifères.
Il semble donc que les minéraux d'argent et de plomb ne soient pas nécessairement associés dans la paragenèse.
Le filonnet englobe des cristaux de pyrite (assez rares), ce qui permet de placer la minéralisation plombifère postérieurement à la pyrite dans l'ordre du dépôt, ou d'envisager une remobilisation de la pyrite en cours de minéralisation.

+ L'existence d'un filonnet minéralisé de façon nettement primaire (galène et quartz), d'orientation conforme à celle de l'ensemble des fractures de direction Nord-Sud observées sur les parements, tend à situer la formation de ce réseau avant ou pendant le dépôt de la minéralisation en galène. D'autre part, elle montre de manière nette que les fractures de direction Nord-Sud ont été, à une époque de leur histoire des fractures ouvertes éventuellement minéralisées.

2 - La zone Ouest des travaux -

Les résultats positifs d'une campagne de sondages ont permis l'accès par une petite recoupe, à une minéralisation riche en argent, proche du parement Sud à l'extrémité Ouest de la carrière IM 8 . La zone minéralisée affecte la forme d'une colonne rectangulaire, dont la longueur est orientée conformément à la schistosité (Nord 100 degrés, pendage 70 degrés Nord) et qui se trouve délimitée à l'Est et à l'Ouest par un réseau de fractures sensiblement orientées Nord-Sud (Nord 10 à 20 degrés Est). Sa section avoisine 4 m2. L'encaissant est constitué par des schistes gris-sombre, très indurés, silicifiés, à pâte extrêmement fine.

Des peintures d'oxydes, brunes ou orangées sont abondantes.

a) Etude macroscopique :

Du point de vue macroscopique, on remarque une association minéralogique pyrite - marcas ite rare - argent natif, occupant des fractures conformes à la schistosité (Nord 100 degrés pendage 70 degrés Nord) ou perpendiculaires à cette dernière, (de direction Nord 0 à Nord 30 degrés à pendage 70 degrés Est,ou subhorizontales, de direction variable).

La pyrite se localise dans des zones difficiles à cliver, conformes à la stratification le plus souvent. Elle se présente en plaquettes, parfois associées à une marcas ite secondaire peu abondante.

L'argent natif occupe des fractures nettement ouvertes, de clivage aisé, dont les directions principales sont :

Nord 10 à 20°	pendage 80° E
Nord 100°	pendage 80° N
Nord 70°	pendage 20° S
Nord 140°	pendage 30° S

Il semble relayé vers le Sud par la pyrite. Son abondance est décroissante du Nord vers le Sud, où la minéralisation se bloque sur une grande fracture Nord 100° à pendage 70° Nord tapissée de pyrite cristallisée dont la puissance peut atteindre 0,3 à 0,5 cm.

L'argent natif se présente sous un certain nombre de faciès plus ou moins bien différenciés, en relation avec la nature des diaclases qu'il occupe.

- Les fractures subhorizontales, rarement pyriteuses, sont minéralisées en argent sous forme de fils ou de petites arborescences qui se développent sur une fine couche d'oxydes de fer vraisemblablement.
- Les fractures subverticales sont le plus souvent remplies par des plaquettes d'argent, dont la surface peut atteindre 50 à 60 cm2 et l'épaisseur 1 mm.

  De la limonite et des taches de manganèse constellent l'argent natif de petites mouches superficielles.

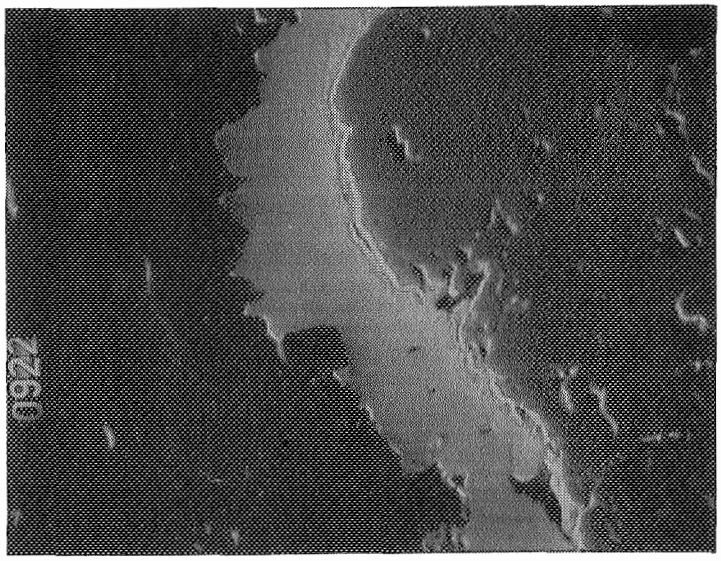
Ces faciès laissent à penser que l'argent observé provient d'actions de transport et de dépôt supergènes. Dans les fractures verticales où la circulation des eaux météoriques est préférentielle se sont déposées des plaques d'argent natif assez massives; dans les fissures horizontales, où l'écoulement est plus calme ont pu se développer des formes vaguement arborescentes.

b) Etude microscopique :

α) Amalgame - filonnets de pyrite.

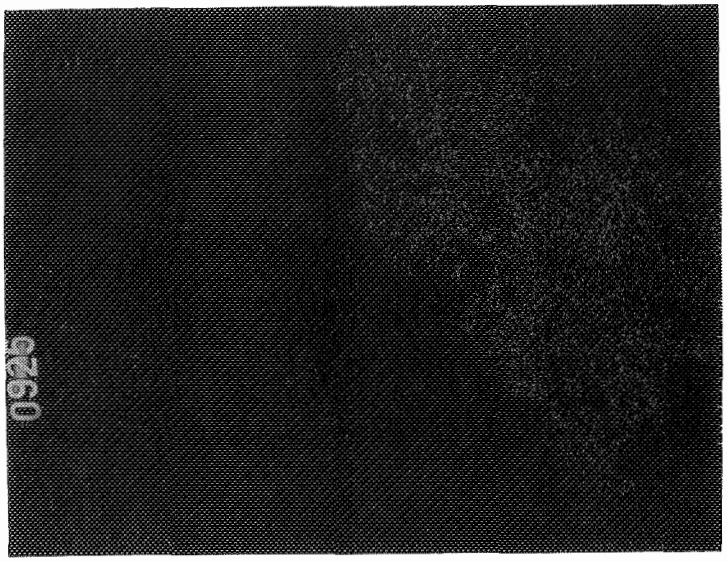
- Une étude au microscope à réflection, complétée par des analyses à la microsonde de Castaing, montre que l'argent se présente sous forme d'un amalgame argent-natif - mercure en lien étroit avec une pyrite en filonnets, dans la plupart des cas.

Le pouvoir réflecteur de l'argent est très élevé, mais le ternissage des surfaces, excessivement rapide, s'accompagne d'irisations tant en lumière naturelle qu'en lumière polarisée.

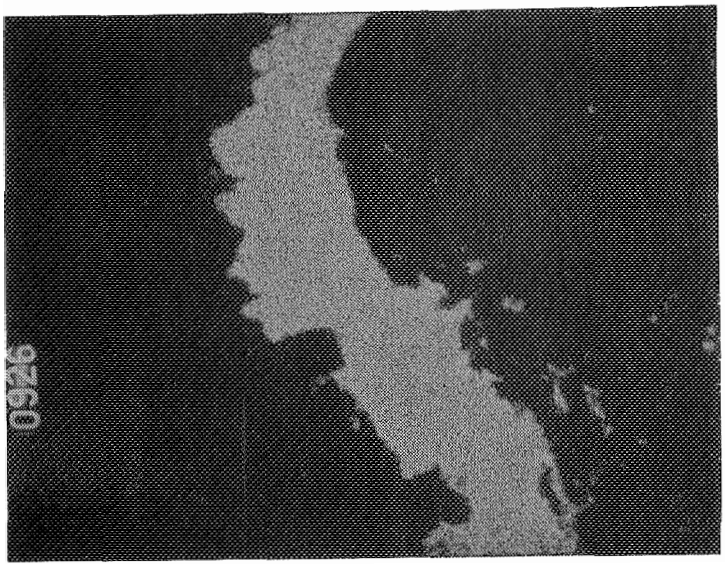


- Image électron rétrodiffusé -

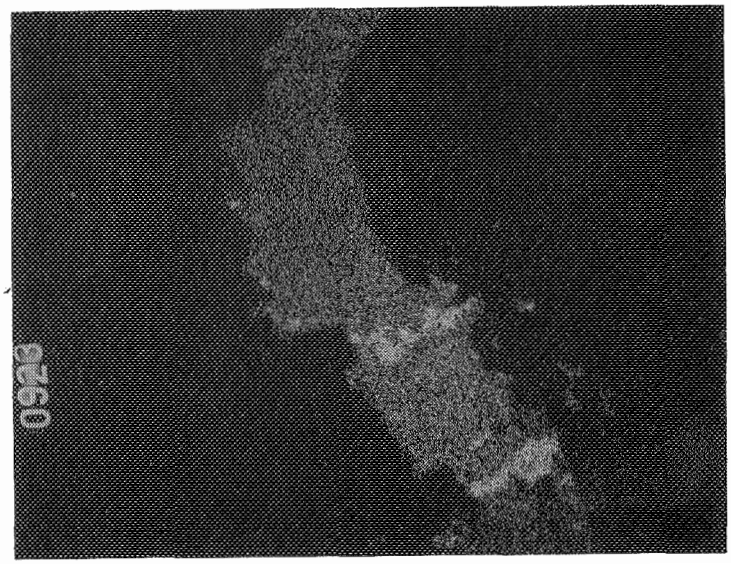
- Image du fer -



- Image du soufre -



- Image de l'argent -



- Image du mercure -

Planche VII-2. Filonnet de pyrite et argent amalgamé de mercure (Echantillon TB 81) x 350.

D'autre part, le contact entre pyrite et argent est souligné par un liseré de pyrite présentant une teinte plus sombre que la normale.

- Les minéralisations affectent une certaine continuité et sillonnent les schistes encaissants d'un réseau de microfilons se recoupant entre eux selon des angles suborthogonaux.

Les intersections présentent souvent un enrichissement de la minéralisation qui semble reproduire à cette échelle un contrôle structural visible dans la répartition des cheminées de la carrière.

- L'amalgame se localise de manière préférentielle à une des épontes du filonnet de pyrite mais le traverse de temps à autres. Sa continuité permet de situer son dépôt postérieurement à celui de la pyrite qu'il recoupe.

Le filonnet présente une asymétrie nette tant au niveau du remplissage que des dimensions.

La puissance de la pyrite varie entre 0,03 et 0,04 mm, celle de l'argent amalgamé entre 0,03 et 0,06 mm.

.) Au niveau des liaisons entre minéraux, on constate une corrélation nette entre l'argent et le mercure.

Les fluctuations des teneurs en mercure reproduisent celles de l'argent avec fidélité.

Toutefois, le mercure manifeste une certaine tendance à diffuser en faible concentration autour de l'argent -

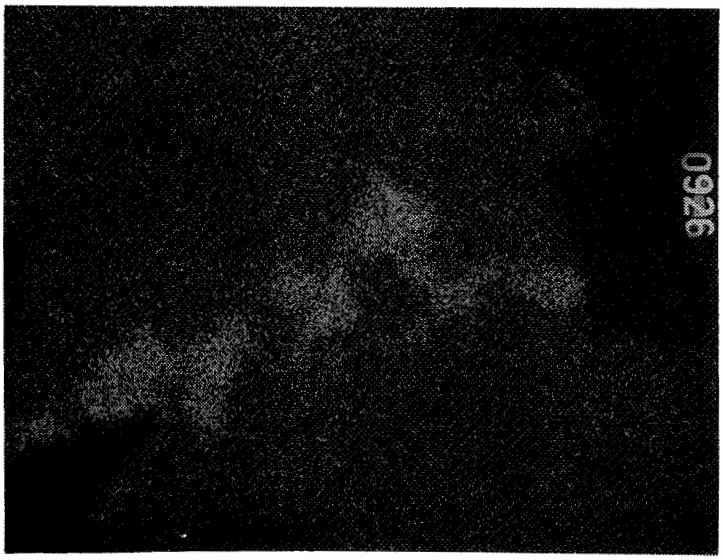
Fer d'un côté, argent-mercure de l'autre s'excluent.

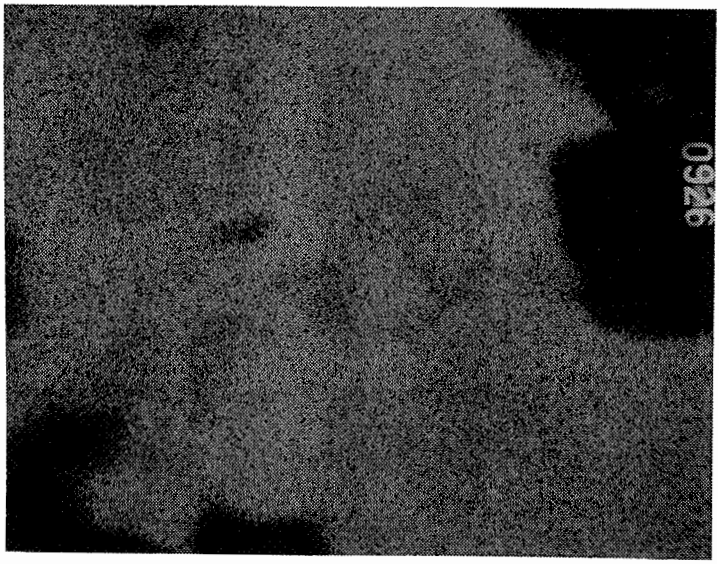
Le contact pyrite amalgame est franc, nettement tranché au niveau du filon.

(traversées TB 85 x 100 sur Ag - Fe - Ag - Hg; PLANCHE VII-3)

.) Un dosage quantitatif réalisé à la microsonde dans l'amalgame donne les résultats suivants sur une plage de TB 81 (PLANCHE VII-2)

Ag :	89,81%	Hg :	7,53%
S	0,38%	Fe :	0,04%

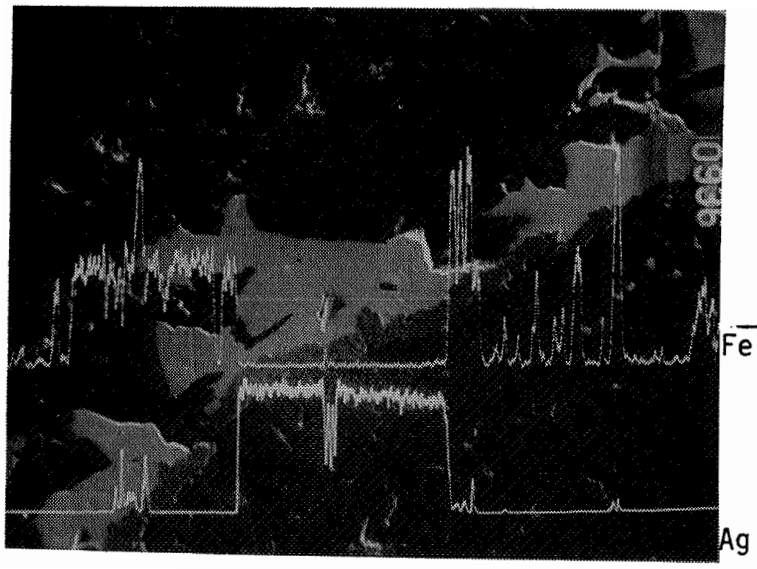


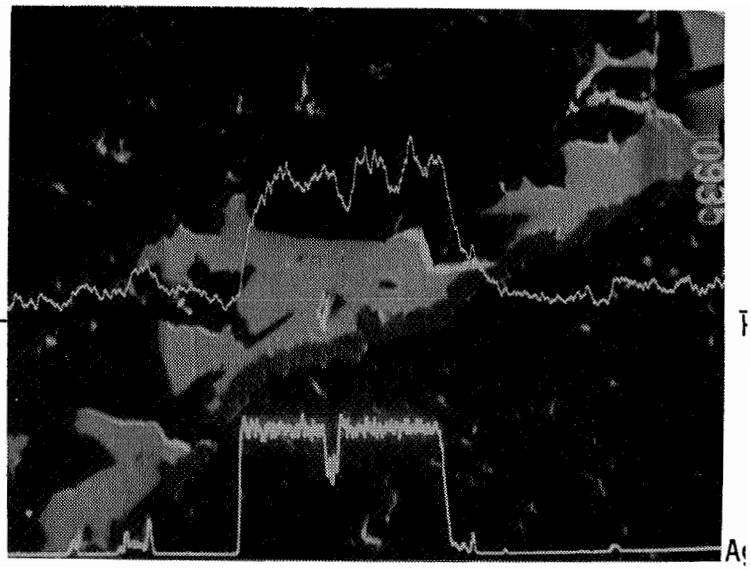


- Image du mercure -

- Image de l'argent-

Agrandissement 1600 x d'une zone enrichie en mercure de l'échantillon TB 81 ; dans un filonnet d'amalgame argent-mercure. (cf. Planche VII-2).





- Traversée fer-argent -

- Traversée mercure-argent -

La traversée effectuée est matérialisée par le trait blanc horizontal fléché sur l'image par électron rétrodiffusé - grossissement 100 x.

Planche VII-3 - Filonnets de pyrite et argent amalgamé de mercure (détails et traversées fer, argent, mercure).

L'analyse boucle à 97,77%.

Les images des éléments obtenues à la microsonde montrent que si amalgame et pyrite sont très nettement séparés au niveau du filonnet, on rencontre néanmoins des inclusions d'amalgame dans la pyrite, facilement discernables sur l'image de l'argent.

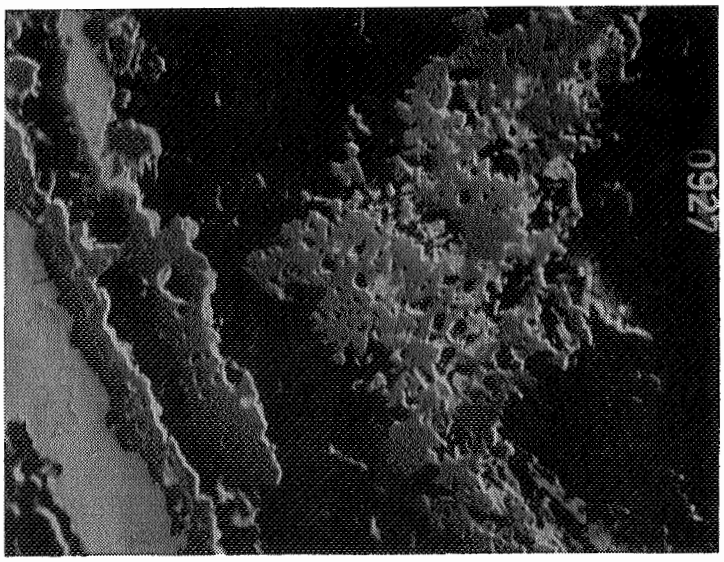
Le mercure pénètre la pyrite en halo mais sa superposition avec l'argent se manifeste par une élévation nette de sa concentration - La présence de mercure dans la pyrite explique probablement le liseré sombre observé au microscope au contact avec l'amalgame d'argent.

.) Le fer atteint sa concentration maximale dans la pyrite. On rencontre cependant à l'éponte extérieure du filonnet d'amalgame une limonite assez continue pulvérulente dont le soufre est totalement absent.

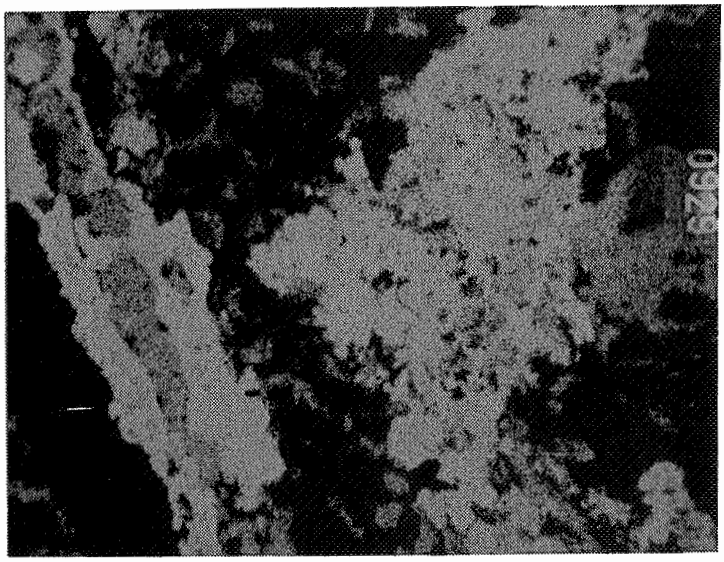
.) Le soufre est concentré dans la pyrite exclusivement. Les teneurs enregistrées dans l'amalgame, 0,38% sont faibles mais il est difficile de trancher entre une origine résiduelle ou la présence de sulfures très disséminés.

- A fort grossissement (cf. PLANCHE VII-3), on peut constater un enrichissement en mercure, se développant perpendiculairement aux épontes du filonnet, corrélatif à une diminution de la concentration en Argent.

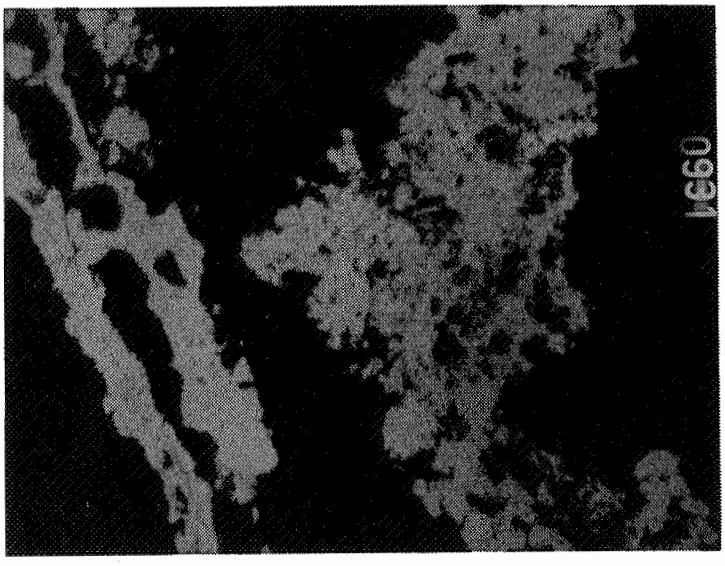
Ces anomalies se produisent au niveau de décrochements minimes dans le filonnet, qui peuvent provenir soit de cristaux de pyrite fantômes, comme semble l'indiquer la présence d'une auréole de limonite autour d'une cavité cubique, soit de microfractures tardives affectant le filonnet de pyrite, les deux hypothèses étant par ailleurs compatibles. Les variations symétriques des teneurs en argent et en mercure militent en faveur d'un dépôt synchrone de ces deux métaux, lors d'une phase de remaniement supergène des minéralisations primaires par oxydation.



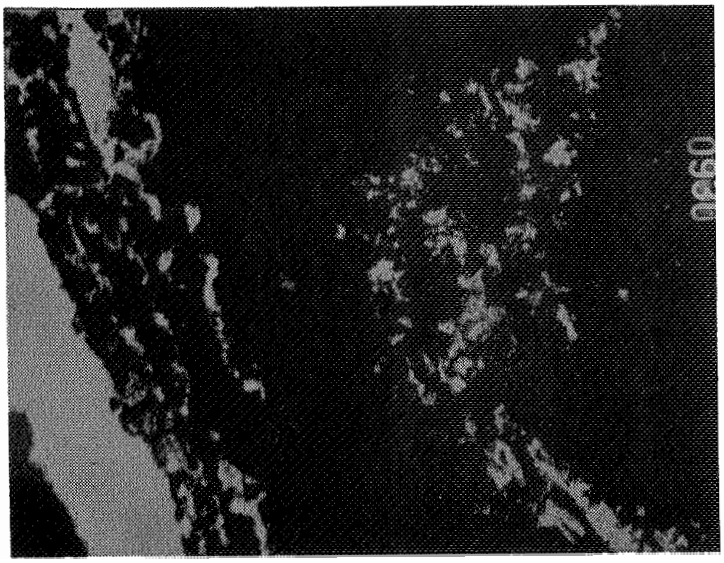
- Image par électron rétrodiffusé -



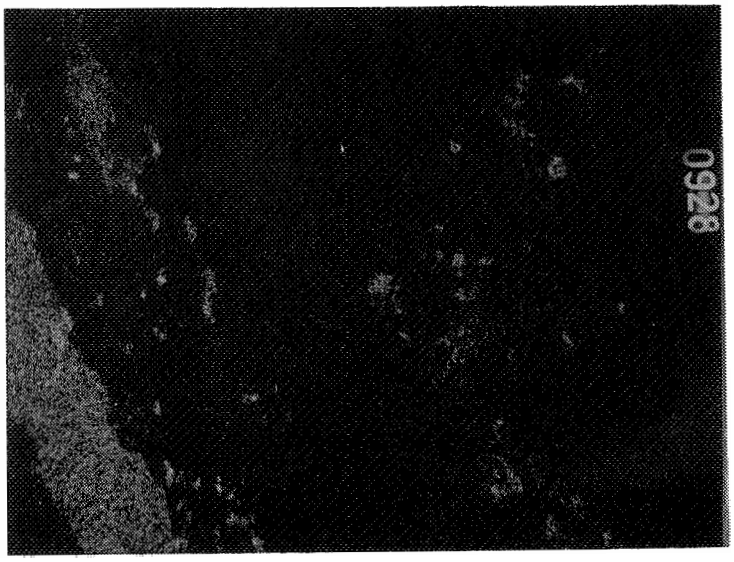
- Image du fer -



- Image du soufre -



- Image de l'argent -



- Image du mercure -

Planche VII-4 - Association pyrite en filonnet et en cristal - Amalgame - argent mercure - échantillon TB 81 (x200).

β) Association pyrite en grains - argent amalgamé.

- On rencontre au voisinage des filonnets de pyrite, des cristaux de pyrite automorphes mais très altérés, présentent des vides nombreux occupés par l'amalgame d'argent. (PLANCHE VII-4 TB 81).

L'amalgame, exclusivement lié au cristal de pyrite et au filonnet proche, ne se développe aucunement de manière autonome dans l'encaissant.

Le mercure diffuse en auréole à partir de ses plus hautes concentrations tant dans l'encaissant que dans la pyrite elle-même.

L'argent, lui, reste confiné à l'intérieur des limites originelles de la pyrite.

L'amalgame est ici souvent associé à de la limonite pauvre en soufre concentrée dans des cavités de la pyrite.

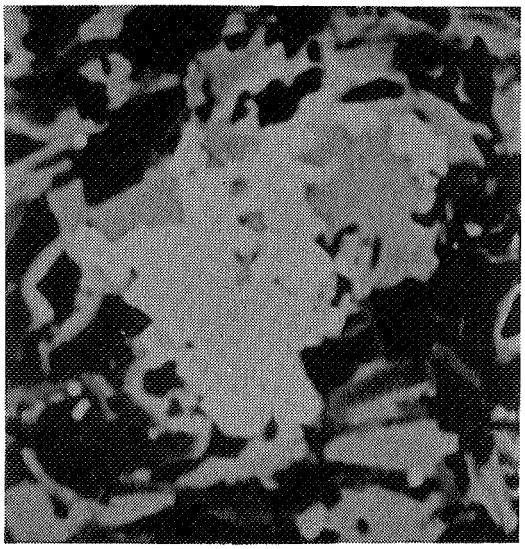
γ) Association pyrite - argent - argentite.

+ Il existe également une association pyrite - argent - argentite au niveau du cristal, indépendamment de la présence proche de filonnets. Le mercure n'a pu être décelé dans la paragénèse (TB 85 - PLANCHE VII-5).

.) La pyrite présente des formes cubiques altérées.
La concentration du fer affecte un gradient de décroissance très net à partir d'un coeur intact de pyrite. L'altération se localise à la périphérie sous forme de limonite contenant un peu de soufre en bordure immédiate du cristal, plus du tout si elle s'en éloigne.

.) La pyrite est légèrement manganésifère - Le manganèse se concentre dans les zones limoniteuses où le contraste par rapport au fond est discernable.

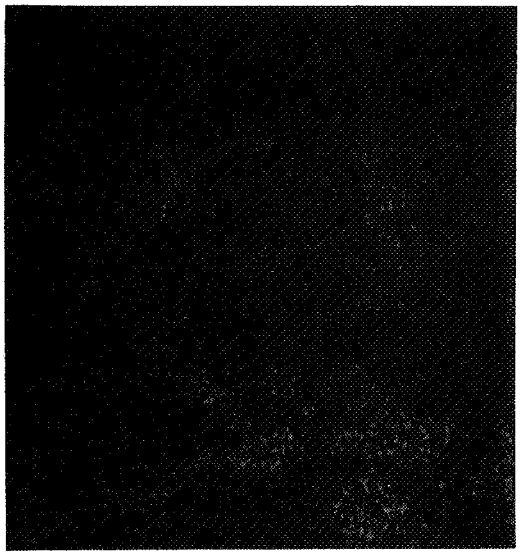
.) L'argent se présente sous forme plus ou moins disséminée à la périphérie de la pyrite - Son abondance ainsi que son lien avec le soufre sont variables.



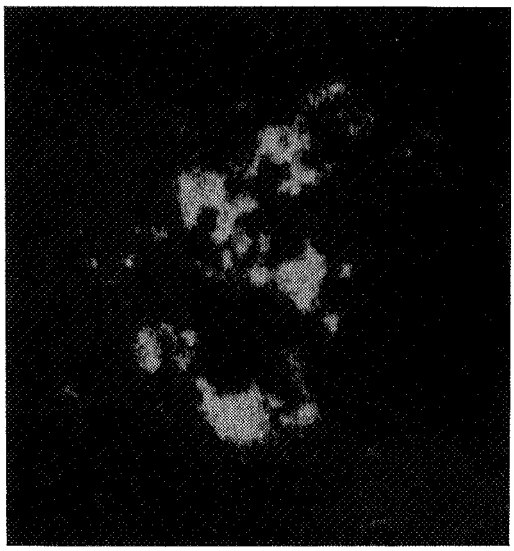
- Image électronique -

- Image du fer -

- Image du soufre -



- Image du manganèse -



- Image de l'argent -

Planche VII-5 - Association cristal de pyrite - argentite - argent (100 x 100 μ)

L'argentite (Ag_2S) domine. Cependant à la périphérie des individus d'argentite on peut observer un déficit en soufre et un passage progressif à l'argent natif.

L'argent ne pénètre pas le coeur de pyrite saine. Il se concentre à l'intérieur d'une forme fantôme cubique, et dans les zones limoniteuses.

Le contact avec le coeur pyriteux est franc.

δ) Associations Ag - Ag_2S - SiO_2 -

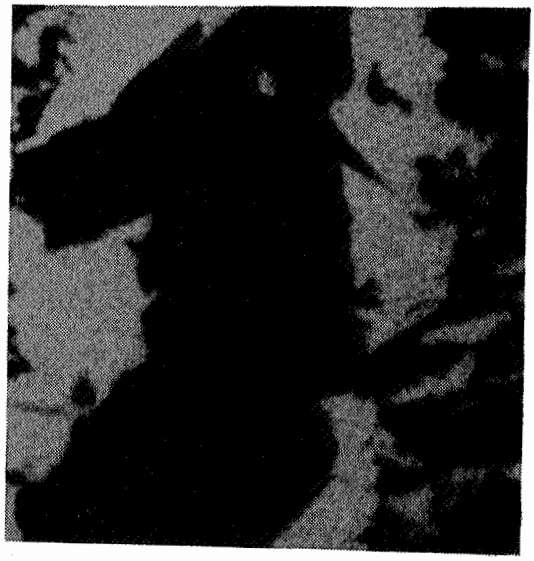
- Relations entre argent natif et silice, argent natif et encaissant schisteux: Des minéraux argentifères se rencontrent également en dissémination dans l'encaissant ou en liaison avec une gangue siliceuse amorphe.

+ Dans les schistes, on peut noter à l'intérieur de certains vides la présence de fines mouches d'argent natif, dont les dimensions sont extrêmement réduites et la répartition très erratique.
  Il s'agit vraisemblablement d'une minéralisation secondaire oxydée, redéposée dans des cavités après une phase de transport; toutefois, l'hypothèse d'une minéralisation à caractère primaire ne peut être exclue.

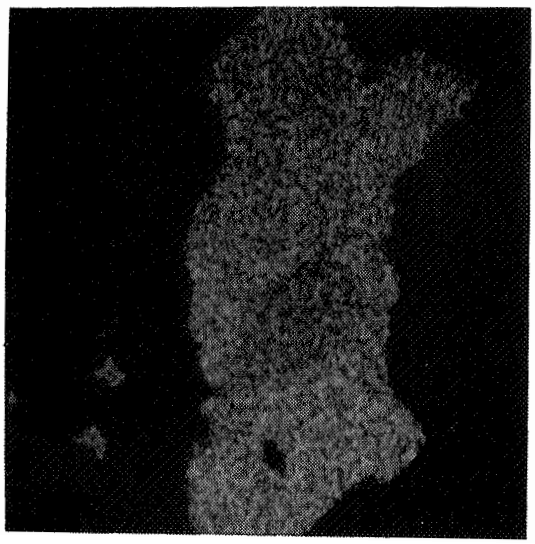
+ A l'intersection de certains filonnets de pyrite avec des veinules de silice amorphe, qui les recoupent, on observe des plages d'argent natif, assez petites, dont l'orientation est conforme à celle du filonnet de pyrite parfois stérile.
  La silice englobe totalement le minéral argentifère.
  La silicification est nettement postérieure à la pyrite. Il est cependant difficile d'établir une chronologie entre les dépôts de la silice et de l'argent.

- Image électronique -

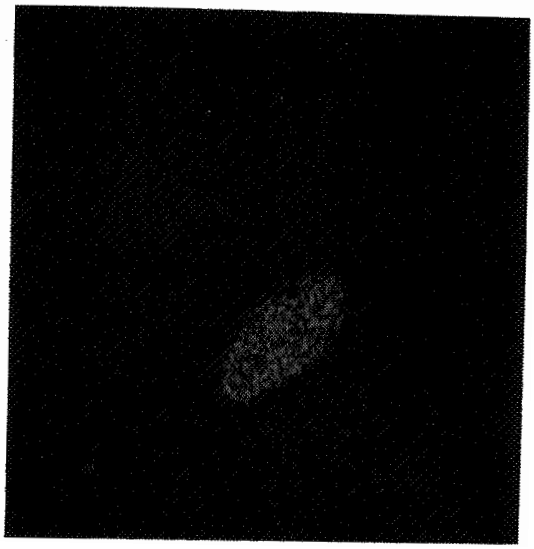
- Image de la silice -



- Image du fer -



- Image de l'argent -



- Image du soufre -

planche VII-6 - Association argent - argentite (100 x 100 u)

+ Enfin, le long de certains filonnets à remplissage de silice, on observe de petits grains d'argent natif, de très faibles dimensions (1-10 μ) sans formes propres ni continuité - Ce faciès en nébuleuse se développe dans des fractures de la silice. Il traduit un dépôt secondaire dans des cavités ou des zones de faiblesse après une phase de transport en solution.

Le mercure semble absent de cette association, mais la finesse de la microsonde utilisée interdit une conclusion définitive.

- Faciès à argent et argentite dans les schistes (PLANCHE VII-6).

Dans certaines micro-fractures des schistes, on peut observer une association argent natif-argentite sans lien apparent avec une gangue.

Les plages de minéraux argentifères peuvent atteindre 200 x 100 microns. L'argent natif se développe autour d'un coeur régulier d'argentite, le passage entre les deux minéraux s'effectuant de manière abrupte. On peut noter la présence de soufre en traces dans l'argent natif ce qui tendrait à impliquer un phénomène de cémentation de Ag sur Ag_2S, en voie de développement de l'extérieur vers l'intérieur.

c) Conclusions.

α) Les associations argent-mercure-pyrite, rencontrée dans la recoupe semblent s'expliquer par des actions de type "fahlbande" au voisinage des filonnets de pyrite. Ce phénomène, assez courant dans les mines d'argent, puisqu'on peut l'observer à KONGSBERG (Norvège) où il a été défini, ainsi que dans le district minier de FREIBERG (où l'on parle de "BRANDES"), consiste en un dépôt préférentiel de l'argent, au niveau de certaines couches riches en pyrite et en matière organique.
Les facteurs contrôlant l'enrichissement sont d'ordre physico-chimique. Les couches minéralisées de manière syngénétique en pyrite font office d'écrans réducteurs pour les solutions à basse température, et induisent des phénomènes de dépôt par réduction, lors des remaniements supergènes.

Or, à IMITER, la présence d'une pyrite abondante, favorise, grâce au développement de H_2SO_4 (par oxydation de ces dernières) la remobilisation de l'argent selon les processus d'oxydation et de cémentation.

De plus, les dépôts argentifères dans les limonites, la morphologie des filonnets à argent amalgamé et pyrite, la disposition de lits pyriteux conformes à la schistosité, permettent de fixer la minéralisation à argent et mercure que nous avons pu observer postérieurement à la minéralisation pyriteuse.

D'autre part, la présence d'argent et de mercure associés, le mercure diffusant quelque peu autour de l'argent, fait appel à des phénomènes de remaniement supergène.

On peut donc penser que la concentration argent-mercure observée au voisinage des filonnets de pyrite relève bien de phénomènes supergènes, et que le piègeage de la minéralisation argentifère au voisinage des filonnets de pyrite est l'effet d'actions réductrices.

Toutefois, la présence de mercure dans les minéraux redéposés permet d'envisager une minéralisation primaire contenant cet élément.

β) Les passages de l'argentite à l'argent, que nous avons pu mettre en évidence, constituent un indice supplémentaire en faveur d'un remaniement tardif des minéralisations primaires. En effet, de telles évolutions sont classiques dans les phénomènes de cémentation. Les solutions chargées par lessivage, en argent sous forme ionique, déposent préférentiellement l'argent métal au voisinage de certains minéraux tels que l'argentite dont le rapport métal/soufre se voit notablement accru.

γ) Enfin, la présence de mouches d'argent natif dans l'encaissant schisteux peut s'interpréter soit par des actions de cémentation menées à terme, soit éventuellement par un dépôt primaire non remanié, soit par un dépôt dans la zone d'oxydation.

δ) Ainsi, il semblerait que la majorité des minéralisations que nous avons pu observer au voisinage de la recoupe TB 8 soient les résultats d'actions supergènes.

On peut noter l'absence de minéraux tels que la blende et la galène abondants au voisinage des concentrations argentifères, dans les autres parties des travaux de la carrière A. La présence de mercure dans les minéraux cémentés permet d'envisager une minéralisation primaire très froide, ce qui pourrait expliquer l'absence de blende et de galène que nous avons pu signaler. En effet, on ne peut imputer à des actions supergènes la disparition totale de la galène, ce minéral étant assez rebelle aux remobilisations.

3 - La Zone centrale des travaux -

a) aspect macroscopique :

Des observations menées sur les parements des anciennes cheminées de cette zone (indicatif des échantillons MAD M) permettent la détermination d'une paragénèse à pyrite, blende, galène et accessoirement argent natif et chalcopyrite.

Les schistes encaissant sont très silicifiés et présentent localement des vacuoles riches en oxydes de fer.

Les minéraux exprimés se rencontrent en mouches ou en nids, en relation avec des microfractures. On ne peut observer d'autres filonnets que ceux de pyrite et de quartz qui sillonnent la roche.

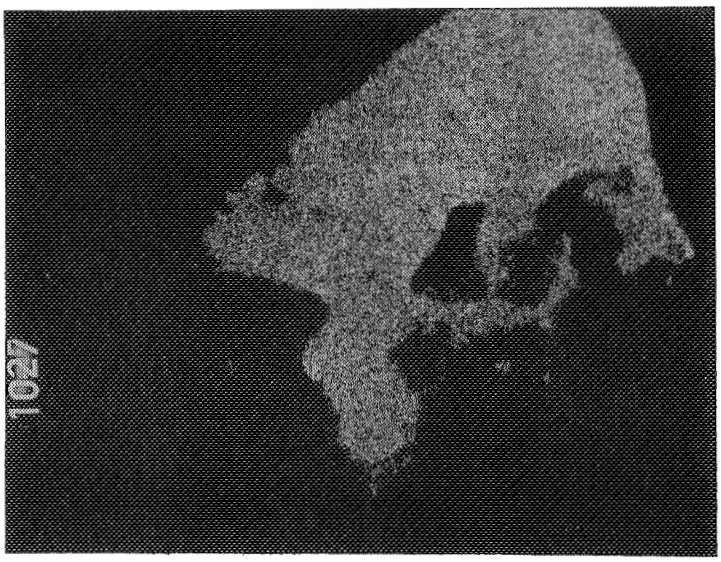
b) aspect microscopique :

Les échantillons étudiés au microscope à réflection montrent une association assez simple de minéraux, se développant dans des microfractures.

- la pyrite est présente en mouches ou en cristaux automorphes, mais également en veinules, en association avec la galène, sans inclusions ni remplacements.

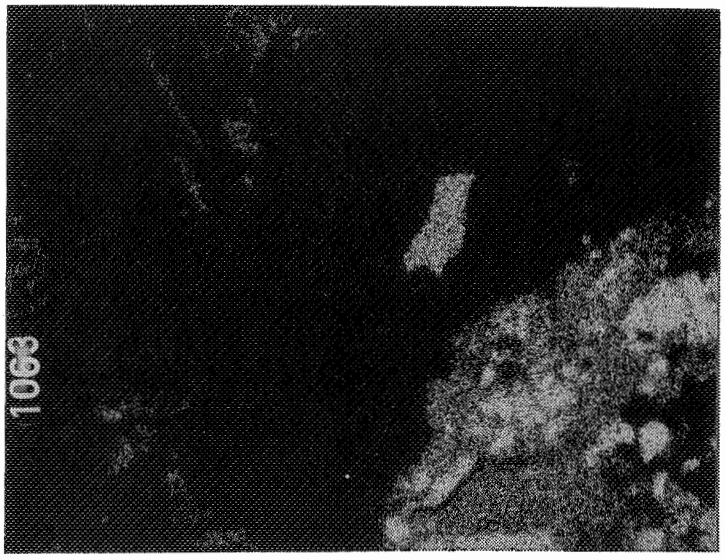
- la galène, assez abondante, revêt des formes cubiques nettes, et se développe dans des microdiaclases. Elle englobe localement des plages de chalcopyrite ce qui tendrait à placer son dépôt postérieurement à celui de la chalcopyrite qu'elle semble cimenter.

- Image de l'antimoine -

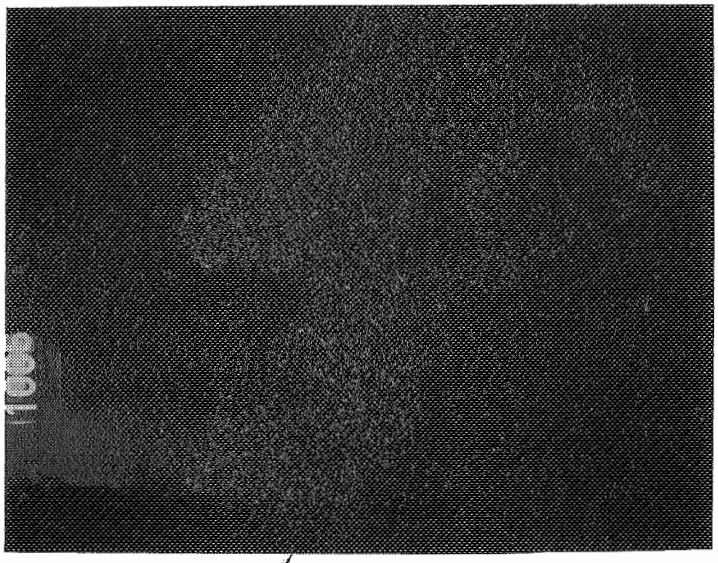


- Image de l'argent -

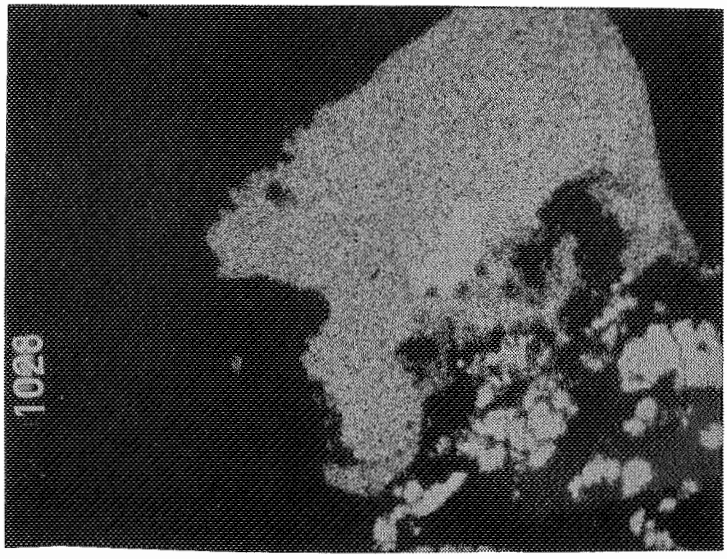
- Image du cuivre -



- Image du fer -



- Image du zinc -



- Image du soufre -

Planche VII-7 - Plage de freibergite englobant un noyau de chalcopyrite (x400)

- la blende quoique peu fréquente se rencontre en liaison spatiale avec la galène et les filonnets. Elle est criblée de flammes de chalcopyrite en exsolution, ce qui devrait la rattacher à un faciès de haute température.

- la chalcopyrite se manifeste épisodiquement, en inclusions dans la galène, en exsolution dans les blendes, mais également sous forme de plages isolées, proches de veinules de silice.

- Les minéraux argentifères sont assez rares.

+ On observe quelques mouches d'argent natif liées spatialement à la chalcopyrite et à la silice, en très petits individus.

+ D'autre part, nous avons pu déterminer un minéral très argentifère à coeur de chalcopyrite (cf. PLANCHE VII-7) , présentant les caractères optiques d'un cuivre gris.
Les limites de la "tétraédrite" et de la chalcopyrite sont franches.
La plage observée se situe à proximité de pyrites et de limonites qu'elle englobe.
Des analyses ponctuelles à la microsonde montrent une assez bonne homogénéité de la section, dont les teneurs extrêmes en argent, fer, soufre, cuivre, zinc, antimoine sont reportées dans le tableau ci-dessous.

	Teneur moyenne en%	Rapport % / masse atomique
Argent	25,37 - 29,86	0,54 - 0,635
Antimoine	23,83 - 25,59	0,465 - 0,50
Cuivre	15,17 - 18,28	0,52 - 0,63
Fer	4,38 - 4,90	0,17 - 0,19
Zinc	1,64 - 2,25	0,055 - 0,075
Soufre	21,27 - 22,44	1,33 - 1,40

La composition de notre minéral se rapproche de celle d'une tétraédrite très argentifère de type freibergite. Toutefois, le rapport Ag/Cu est supérieur à l'unité.

Or, selon Monsieur PICOT (communication téléphonique), la freibergite ne se rencontre qu'à l'état de minerai primaire. Il semblerait donc que ce minéral se soit développé, postérieurement à la chalcopyrite qu'il englobe, lors d'une phase assez tardive de la minéralisation.

La chalcopyrite ne contient aucun élément-trace décelable à la microsonde de Castaing.

D'autre part, la freibergite étudiée, présente des variations de un à deux pourcents dans les teneurs de ses principaux constituants - Les concentrations en argent croissent du centre de la section vers sa périphérie, tandis que l'antimoine subit une évolution inverse. Le cuivre est légèrement concentré au voisinage de la plage de chalcopyrite.

Fer, soufre et zinc sont répartis régulièrement.

Ainsi, les variations enregistrées pour les teneurs en argent, en antimoine et en cuivre conduisent à penser que la freibergite résulte d'une évolution minéralogique en cours de cristallisation se traduisant par une diminution continue des teneurs en cuivre et en antimoine, compensée par une augmentation des teneurs en argent.

c) Conclusions :

La minéralisation étudiée n'est que peu remaniée, puisque seules quelques mouches d'argent natif pourraient éventuellement être attribuées à des actions supergènes.

Les minéraux primaires sont relativement disséminés, mais leurs relations permettent d'ébaucher une chronologie de dépôt.

minéralisation synsédimentaire probable	:	pyrite.
minéralisation hydrothermale précoce	:	chalcopyrite - blende à exsolutions
tardive	:	galène freibergite

Les mouches d'argent natif pourraient peut être se rattacher à une origine primaire; dans ce cas, elles se seraient vraisemblablement déposées postérieurement à la galène, au cours de la phase tardive de minéralisation.

4 -Conclusions -

a) - Les minéralisations que nous avons pu observer dans l'ensemble des travaux de la carrière A revêtent un faciès d'imprégnation dans un encaissant schisteux. Les concentrations en minéraux massifs sont inexistants.

On peut cependant distinguer deux modes de gisement des minéraux décelés :

+ la pyrite, provenant de processus minéralisateurs synsédimentaires suivis éventuellement de remaniements au cours du métamorphisme, voire de la minéralisation, se rencontre en lits ou en filonnets sans gangue, liés aux zones de faiblesse de certains niveaux schisteux.
+ Les minéraux métalliques tels que blende, galène, chalcopyrite, minéraux argentifères relèvent de microstockwerks hydrothermaux présentant localement des gangues dolomitiques ou siliceuses de très faible ampleur.

b) - Toutefois, les minéralisations ont été soumises à des actions de remaniement supergène très importantes, qui oblitèrent souvent la paragenèse primaire.

La présence de pyrite en abondance favorise largement ces processus. En effet, sous l'action des eaux météoriques, la pyrite se décompose et donne naissance à de l'acide sulfurique selon la réaction globale suivante :

$$4\ Fe\ S_2 + 15\ O_2 + 2\ H_2O \qquad 2\ Fe_2\ (SO_4)_3 + 2\ H_2SO_4$$

L'acide sulfurique réagit sur les sulfures et permet la mise en solution de la composante métallique sous forme ionique.

Après une phase plus ou moins poussée de transport, les ions Me^{K+} se voient redéposés soit sous forme oxydée, soit sous forme cémentée;

Dans les paragénèses d'IMITER,

. Les altérations de galène en cérusite.

. Certaines mouches d'argent natif.

. Les filonnets d'amalgame - argent mercure.

relèvent de processus d'oxydation,

. les associations argentite argent natif.

. les dépôts d'argent natif sur certains cristaux de pyrite,

relèvent de processus de cémentation.

c) - Les fréquentes associations de l'argent et de la pyrite permettent d'envisager des concentrations préférentielles de ce métal au voisinage des couches pyriteuses.(effet fahlbande).

Les lits pyriteux, réducteurs, piègent chimiquement tant au cours de la minéralisation primaire que lors de son remaniement, les ions métalliques favorisant de ce fait la formation de zones riches.

d)- Sur la base de nos observations,et en dépit du remaniement on peut avancer une chronologie du dépôt.

+ minéralisation synsédimentaire en pyrite.
  ayant subi - une phase de tectonique cassante,
  - éventuellement une remobilisation lors du métamorphisme et des phénomènes minéralisateurs.

+ minéralisation hydrothermale.
  chalcopyrite
    blende chaude à exsolutions de chalcopyrite
      blende sans exsolution - galène
        tétraédrite - freibergite - argent natif
        (Minéraux de mercure ?)
          gangues (dolomite, silice)
  silicification

+ actions supergènes de remaniement :
  argent natif oxydé
  amalgame argent - mercure
  limonites...

Une étude antérieure réalisée par Monsieur SMEYKAL (1964) sur les carottes du sondage IJ 2 fortement minéralisé mettait en évidence une minéralisation en profondeur, vraisemblablement primaire comportant :

- pyrrhotite - pyrite avec mispickel très rare
- blende, chalcopyrite, tétraédrite, galène
- minéraux argentifères : stéphanite en microinclusions dans de la boulangérite.
  dyscrase très rare.
  argent natif abondant.

e) - Toutefois, selon les zones de travaux, nous pouvons constater que les paragénèses évoluent, et que leurs composants ne sont pas rigoureusement identiques.

En effet, les minéralisations étudiées dans la zone médiane de la carrière semblent plus "chaudes" que celles de la recoupe TB 8. D'autre part, l'hypothèse émise à partir de l'observation microscopique de sections polies concernant un enrichissement de type fahlbande demande à être vérifiée à échelle macroscopique.

Nous allons donc tenter dans un premier stade d'envisager les liaisons macroscopiques des colonnes minéralisées avec les structures tectoniques puis à l'aide de la géochimie de préciser le spectre des accompagnateurs de l'Ag, ses évolutions spatiales, et les associations qui le caractérisent.

IV - ÉTUDE DES ANCIENS TRAVAUX -

A - *Aspects du contrôle tectonique : morphologie des anciens travaux.*

Une étude des anciens travaux actuellement dégagés montre que la disposition et la forme des cheminées anciennes sont nettement contrôlées par deux facteurs tectoniques :

- la direction de la schistosité et de la stratification soulignée par des décollements Est-Ouest.
- Un réseau de fractures plus ou moins ouvertes orientées en Nord-Sud.

Cette influence de la tectonique sur les concentrations anciennement exploitées apparait à toutes les échelles.

1 - Le contrôle structural à l'échelle de la cheminée.

a) En régle générale, les cheminées anciennes que nous avons pu reconnaître se présentent sous une forme vaguement rectangulaire, la longueur (variant entre 1,5 et 3 mètres) étant toujours orientée selon une direction voisine de Est-Ouest, conforme à la stratification et à la schistosité locale.

b) D'autre part, l'enveloppe géométrique des zones dépilées en profondeur, souvent irrégulières, coïncide avec un prisme oblique dont les faces sont déterminées :

- par la direction et le pendage des couches (Nord 90 à Nord 120 degrés, pendage de 60 à 80 degrés Nord).
- par des fractures de direction proche de Nord-Sud à pendage élevé vers l'Ouest (direction oscillant entre Nord et Nord 30 degrés, pendage entre 60 et 80 degrés Ouest).

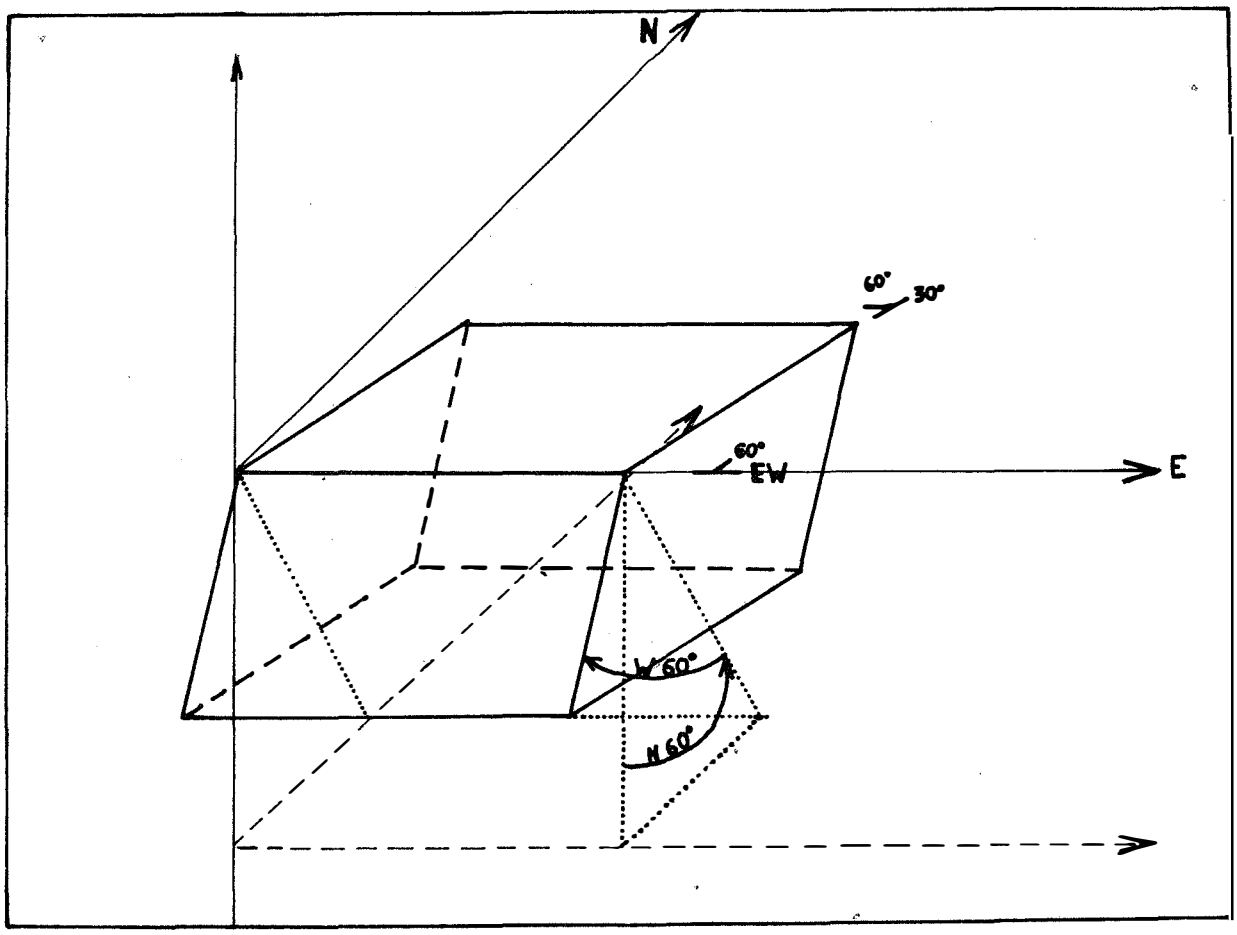


Figure VII-4 - Schéma d'une ancienne cheminée du tas A.

Ainsi, l'excavation présente des surplombs. Cette configuration, inattendue a priori dans une exploitation puisqu'elle complique la remontée des déblais et occasionne des dangers certains, correspond logiquement à une exigence d'ordre métallogénique.

Les mineurs ont dû suivre à la trace des colonnes minéralisées, relativement régulières, déterminées par les plans que nous venons de mentionner.

c) Le parement Nord des cheminées est constitué par une surface structurale, sur laquelle les stries de glissement sont excessivement rares. Nous avons pu observer dans un cas unique de telles traces : sur un parement Nord de la zone médiane des travaux de direction Nord 95 degrés et de pendage 75 degrés Nord, des stries présentaient un angle de 110 degrés comptés positivement vers le bas avec une droite horizontale du plan de direction Nord 95 degrés.

Le plus souvent, le parement Nord est marqué par une fracture ouverte, altérée par les circulations d'eau ; la limonite est abondante dans les vides, ainsi que des produits de décomposition.

+ Le parement Sud est plus irrégulier et il semble que localement les Anciens l'aient attaqué sous forme de petits grattages.

+ Les parements Est et Ouest sont soulignés par des fractures ouvertes de direction Nord-Sud, délimitant assez bien la zone excavée, et riches en enduits limonitiques.

+ L'ensemble des parements Est et Ouest, d'un côté, Nord et Sud de l'autre, se trouve affecté d'un diaclasage trés serré, respectivement de direction approximative Nord Sud et Est Ouest.

Les diaclases de direction Nord Sud ne semblent pas affecter les fractures Est Ouest qu'elles peuvent recouper parfois sans décalage appréciable.

d) Conclusions :

Il semblerait donc que la configuration observée fasse jouer un rôle privilégié à l'éponte Nord dans la minéralisation.

En effet, cette dernière relève d'une fracturation importante, vraisemblablement dûe à un cisaillement et pourrait avoir fait office d'écran lors des phénomènes minéralisateurs.

Nous allons donc essayer de vérifier cette hypothèse en nous plaçant à l'échelle du groupement de cheminées.

2 - Le contrôle structural à l'échelle du groupe de cheminées.

a) A l'intérieur de chaque groupement de cheminées que nous avons cartographié, on observe une coïncidence entre l'agencement des excavations et l'évolution des directions de schistosité-stratification, d'un côté, celle des fractures de direction Nord-Sud de l'autre.

Les cheminées semblent se disposer en damier selon les plans de décollement de direction Est-Ouest à pendage Nord, et selon les plans de fracture de direction Nord-Sud à pendage Ouest redressé.

A titre d'exemple, nous avons représenté les éléments structuraux déterminant la configuration des travaux du centre (MAD M). Les différences de côte sont faibles (2mètres maximum) de telle sorte que les biais introduits lors de la projection sont négligeables.

On peut observer sur le plan au 1/200ème ci-dessous une bonne ad équationentre la direction de la schistosité-stratification et la direction des cheminées.

D'autre part, certaines colonnes minéralisées reconnues par sondages sur le parement Sud se situent dans le prolongement d'alignements de direction Nord Sud.

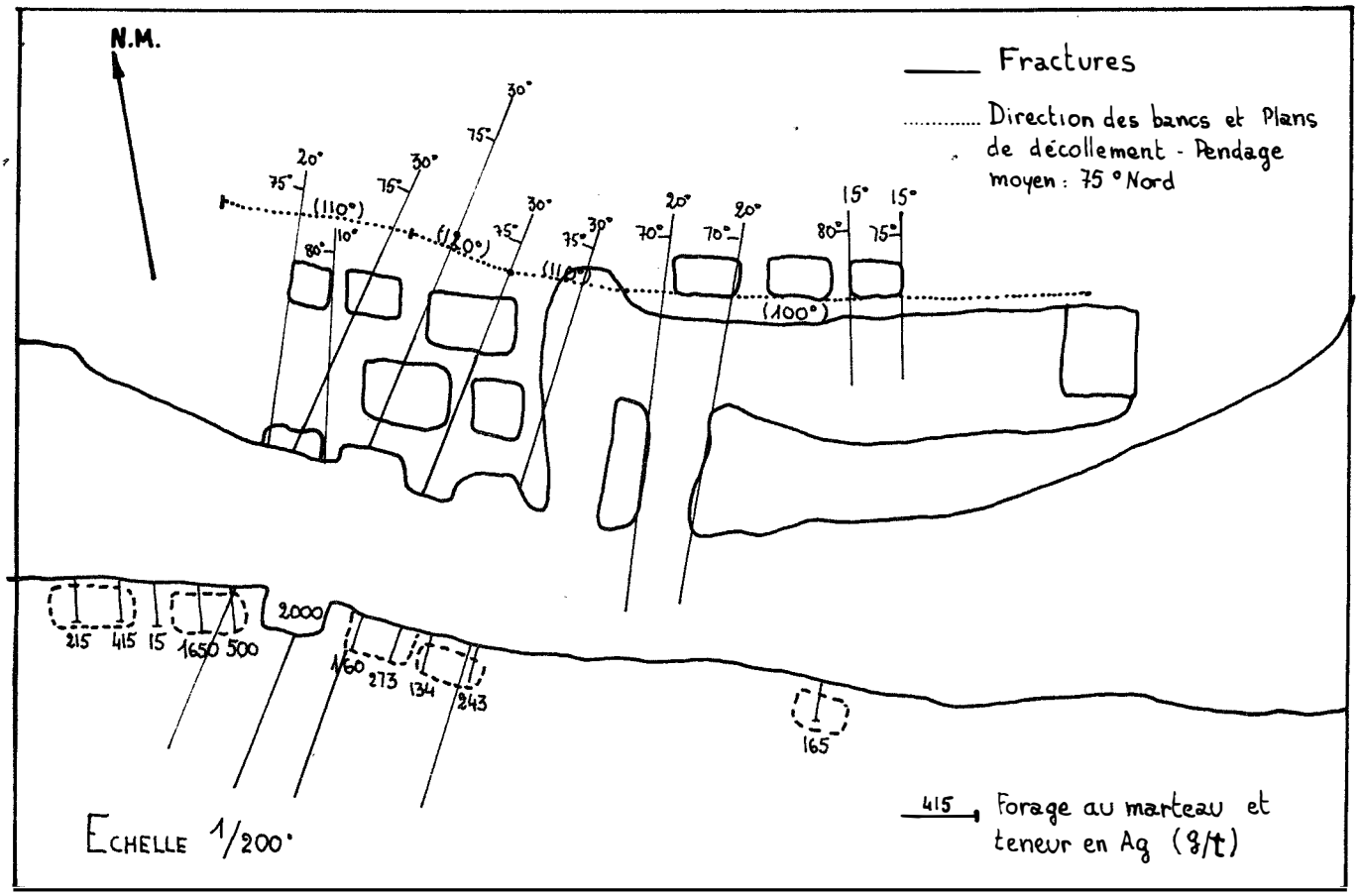


Figure VII-5 - travaux MAD M - du tas A. Schéma du contrôle structural sur les cheminées anciennes.

B) *Lien entre les cheminées et les teneurs en argent.*

Nous avons pu vérifier, au cours des opérations de dégagement des anciens travaux que l'argent se localise de manière assez précise dans les cheminées excavées.

En effet, des abattages systématiques de stots ont été réalisés, dont les produits ont fait l'objet d'analyses pour argent.

Les résultats se sont avérés très décevants, les teneurs enregistrées ne dépassant qu'exceptionnellement 30 grammes Ag/Tonne.

D'autre part, les forages courts (2 mètres) effectués au marteau perforateur permettent la mise en évidence d'une extrême irrégularité dans la disposition des zones riches, malgré une maille de 1 mètre, selon l'axe Est-Ouest.

Ainsi sur 3 forages consécutifs voisins de la recoupe TH 8, nous avons enregistré les teneurs en argent suivantes : (cf. carte...)

YL 915 : 415 g/t
YL 916 : 15 g/t
YL 917 : 1660 g/t

correspondant à des impacts au coeur d'une colonne minéralisée pour YL 915 et YL 917, à une zone de séparation stérile pour YL 916.

Ainsi, la répartition de l'argent semble t-elle d'un côté très capricieuse, mais de l'autre soumise à un contrôle strict. Les colonnes minéralisées, de faible taille, sont séparées entre elles par des zones quasi stériles.

C - *Conclusion* -

- Les observations que nous avons effectuées sur la disposition des cheminées anciennes mettent en lumière l'existence d'un contrôle structural, que pouvait laisser présager l'étude minéralogique.

Les minéralisations semblent conditionnées par la conjonction d'une zone de faiblesse, conforme à la schistosité et à la stratification, et de fractures de direction Nord-Sud. Les zones riches se présentent sous forme de colonnes de faible section, agencées grossièrement en damier et séparées par des zones stériles (< 30 grammes Ag/tonne).

- Nous allons tenter de vérifier cette conclusion en considérant, sous l'angle de la géochimie, l'ensemble des sondages horizontaux forés dans les parements de la carrière A.

V - GÉOCHIMIE DES SONDAGES PERCUTANTS -

Afin de compléter les données mises en évidence par l'étude minéralogique et morphologique de la carrière A, une étude géochimique des sondages s'impose sous un double aspect :

- localisation spatiale des anomalies géochimiques en vue de tester la validité des contrôles structuraux.
- traitement statistique global des spectres géochimiques dans les zones minéralisées afin de déterminer les paramètres de distribution pour chaque élément, ainsi que les corrélations d'élément à élément. D'autre part, une telle étude peut mettre en évidence des évolutions du spectre géochimique liées à des facteurs spatiaux.

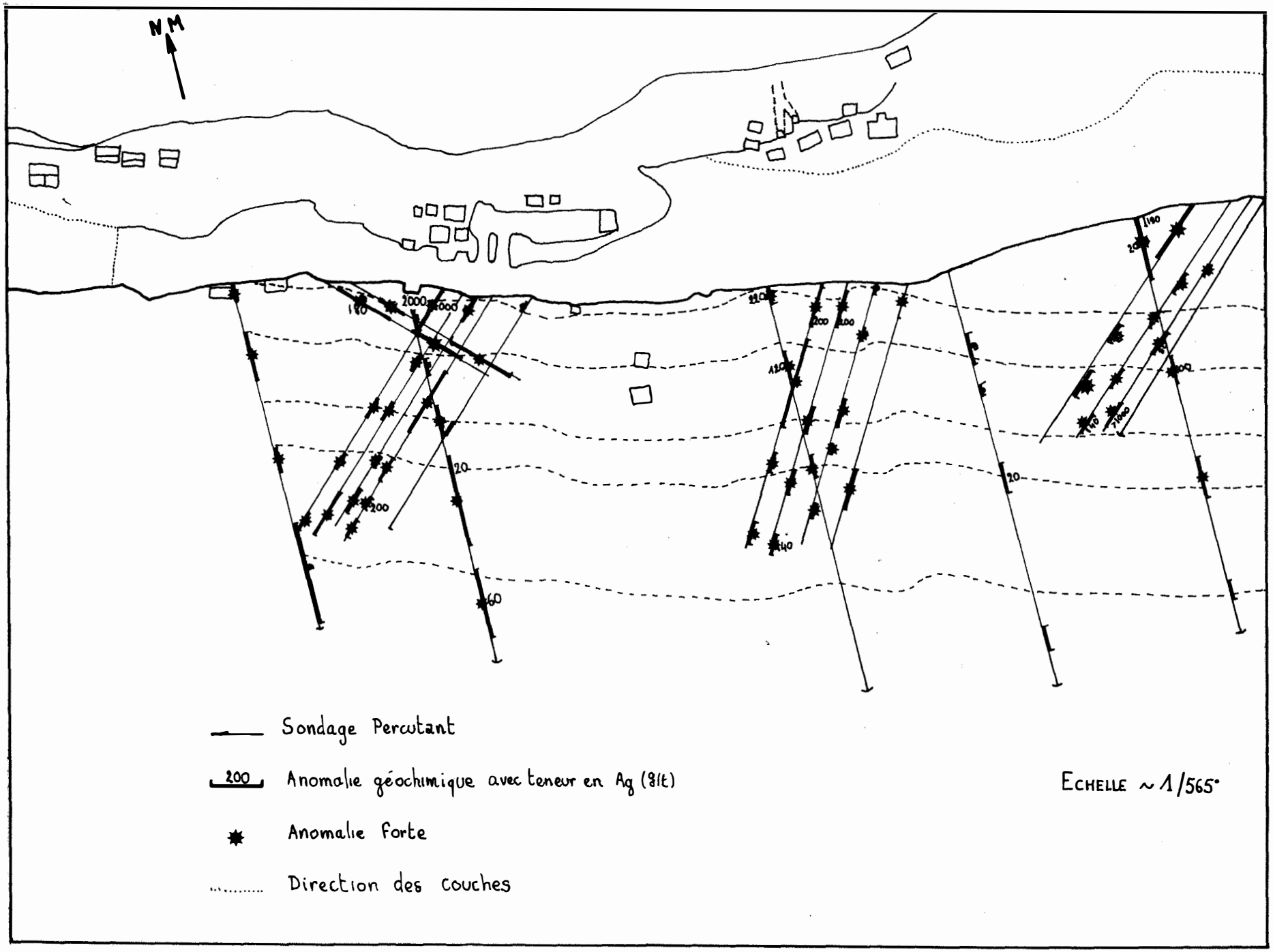
A - *Anomalies géochimiques et facteurs structuraux.*

1 - Corrélations géochimiques à l'échelle de la carrière.

a) Des études réalisées par Monsieur SANCHEZ, géologue en chef à l'O.N.A, (Note interne 1974) déterminent les seuils géochimiques d'anomalie pour les éléments-trace analysés dans les sondages horizontaux et inclinés à 15 degrés.

Nous avons repris ces données et avons tenté de les synthétiser sur une carte des sondages horizontaux dans la carrière du tas A.

Pour chaque élément, nous avons affecté un certain nombre de "points" aux seuils anomaliques à 1 σ, 2 σ, 3 σ, relatifs à chaque élément étudié. Nous avons caractérisé une anomalie grâce à la somme des points obtenus par ses éléments constituants, et nous avons regroupé les anomalies en trois classes : faible, moyenne, forte correspondant aux intervalles 0-5 points, 5-9 points, supérieur à 9 points.



Carte VII-6 - Essai de corrélation des anomalies géochimiques sur sondages percutants horizontaux selon la direction des couches.

Les éléments pris en compte lors de l'évaluation d'une anomalie ont été choisis après une étude de répartition réalisée par Monsieur SANCHEZ. Sur la base de ses travaux, en effet, la minéralisation argentifère serait accompagnée par :

- Le plomb	:	100 - 4000 ppm	: 1 point
		400 - 1000 ppm	: 2 points
		> 1000 ppm	: 3 points
- L'Arsenic	:	100 - 200 ppm	: 1 point
		200 - 300 ppm	: 2 points
		> 300 ppm	: 3 points
- Le Zinc	:	100 - 150 ppm	: 1 point
		150 - 300 ppm	: 2 points
		> 300 ppm	: 3 points
- Le Molybdène	:	5 - 10 ppm	: 1 point
		> 10 ppm	: 2 points
- Le Cuivre	:	50 - 100 ppm	: 1 point
		> 100 ppm	: 2 points

On conviendra d'ajouter à l'anomalie une bonification de 1 point pour la présence de l'étain et de l'antimoine à des teneurs même très faibles.

b) Les anomalies, une fois reportées sur un plan des sondages horizontaux, s'agencent selon des directions privilégiées orientées sensiblement Est-Ouest.

Nous avons donc reporté sur le plan de direction des couches et de la schistosité (cf. CARTE VII-6).

On peut constater que les anomalies s'alignent avec une bonne précision sur ces structures, et conformément aux ensembles de travaux anciens.

Le caractère anomal semble donc lié à la direction de la schistosité-stratification.

Toutefois, la répartition de l'argent est extrêmement capricieuse. Certaines zones apparaissent comme nettement privilégiées sous cet aspect, d'autres sont quasiment stériles.

Donc, du point de vue de l'argent, le contrôle par les structures de direction Est-Ouest n'est pas une condition nécessaire et suffisante de la minéralisation.

On peut d'autre part constater une relative concentration des fractures de direction Nord-Sud dans les zones riches en argent. Il est vraisemblable que la présence de ces structures ait eu des effets sur l'enrichissement local, que l'étude des sondages percutants ne peut mettre en lumière, tout au moins à l'échelle de la carrière prise dans son ensemble.

2 - Corrélations géochimiques locales.

a) Les abords du sondage IM 6:

Des travaux anciens, découverts lors du dégagement des haldes ont été cartographiés avec une précision assez relative sur un plan au 1/200ème.

L'excavation est conforme à la stratification et se trouve reliée au parement par deux petites galeries d'accès.

Des sondages implantés à proximité de ces travaux anciens, horizontaux, permettent de mettre en évidence une continuité dans la minéralisation argentifère, qui semble suivre la stratification confondue avec la schistosité, mais affecte des teneurs faibles décroissant d'W en E de 200 à 40 ppm.

b) Les abords du sondage IM 4:

Les sondages implantés autour de IM 4 (cf.FigVIII-8-9)ont amené la découverte d'une minéralisation argentifère à teneur économique. Des sondages complémentaires horizontaux et inclinés à 30 degrés vers le nadir, à maille serrée (IM 406, 410, 413, 415), orientés vers Nord 210 degrés, ont permis de préciser les dimensions des impacts, et l'importance de l'auréole géochimique.

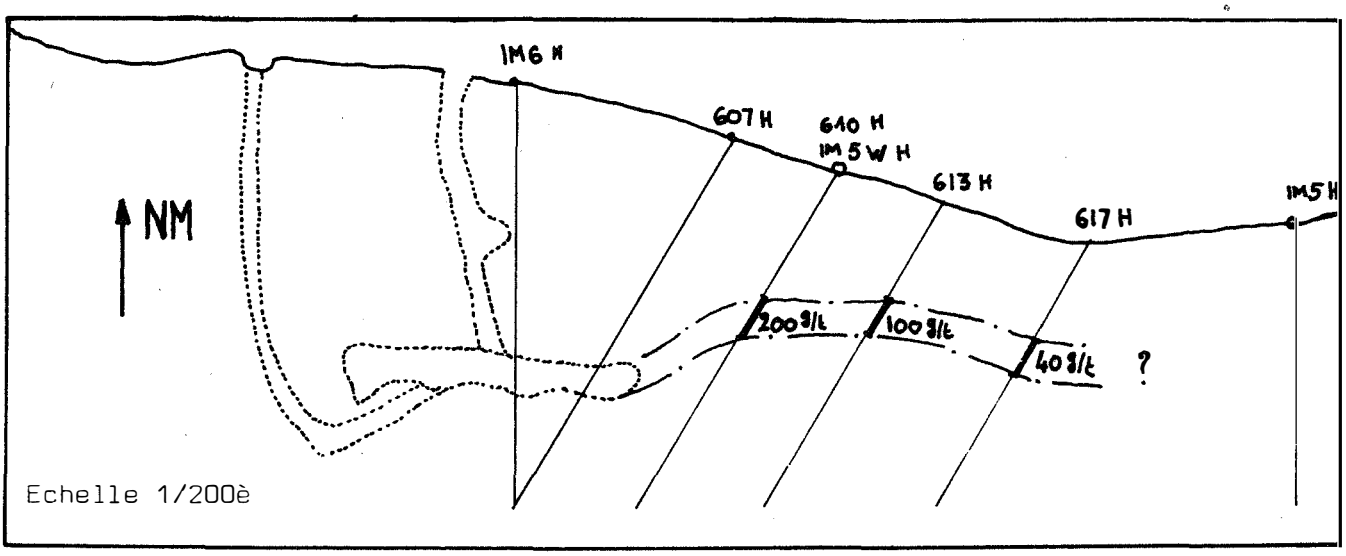
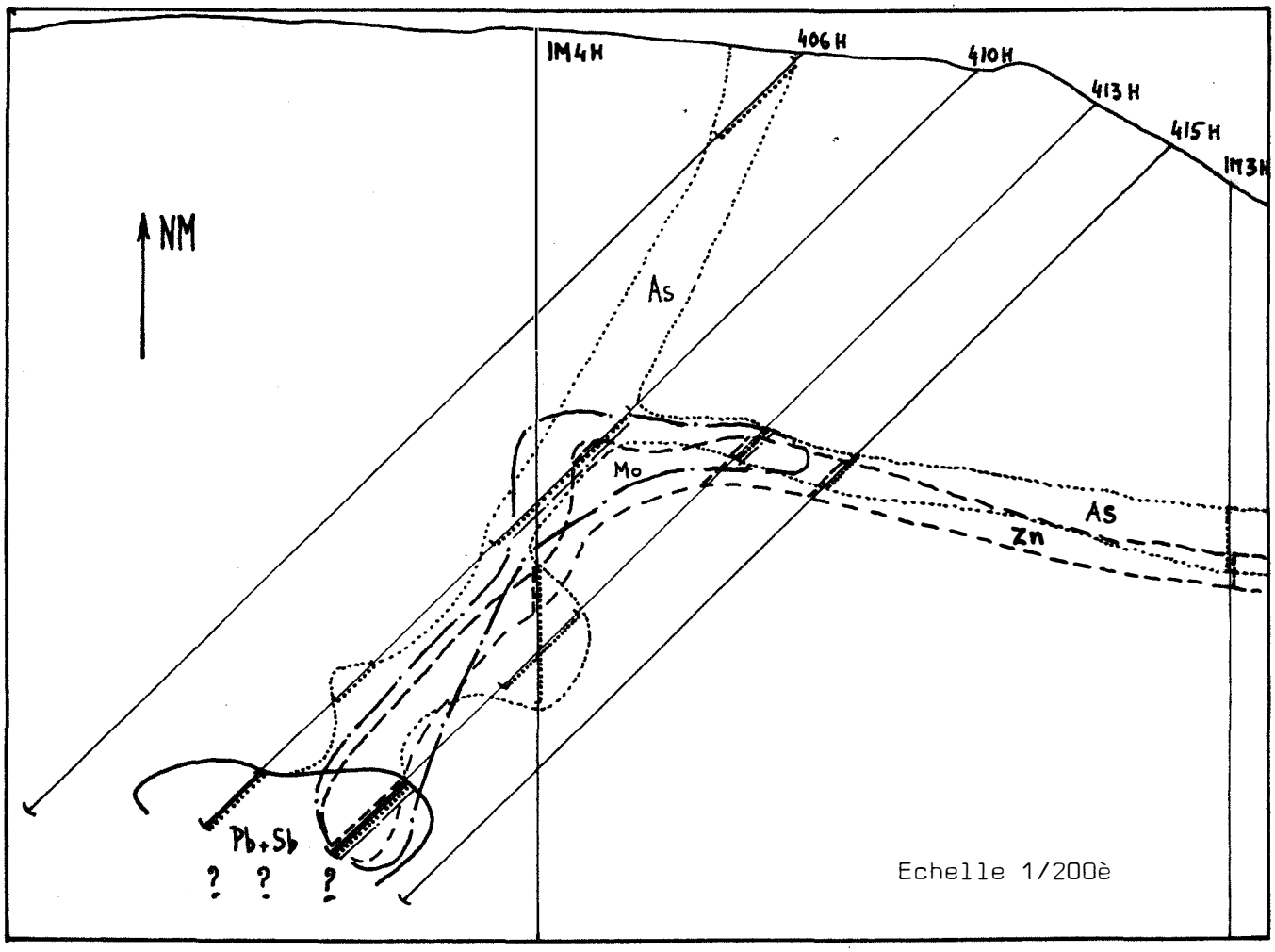


Figure VII-7 : Les abords du sondage IM6



Plomb-antimoine

Arsenic

Molybdène

Zinc

Figure VII-8 : Interprétation des anomalies géochimiques aux abords du sondage IM4 - (Sondages horizontaux).

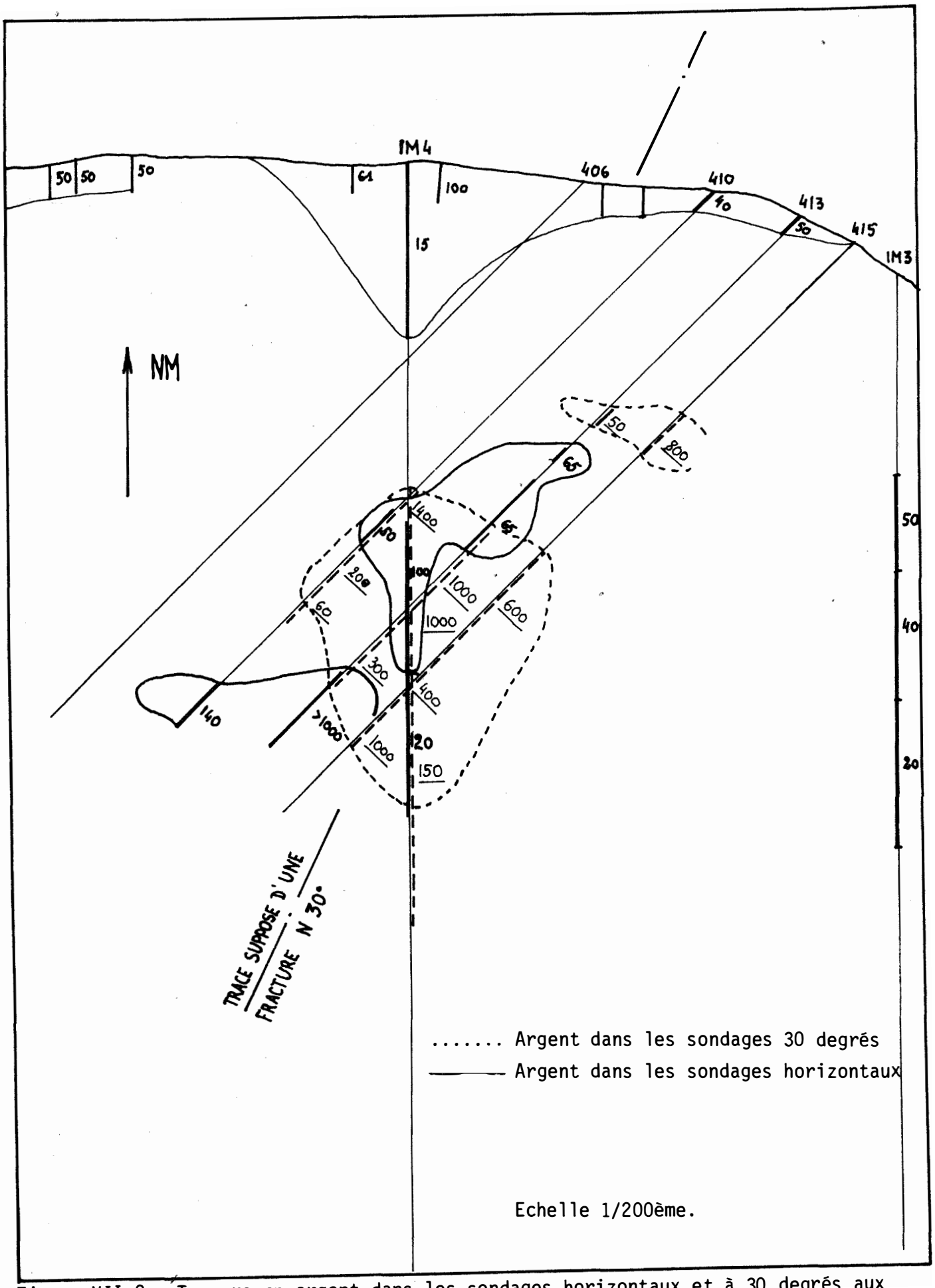


Figure VII-9 - Teneurs en argent dans les sondages horizontaux et à 30 degrés aux abords de IM 4.

Nous avons reporté sur les plans suivants les anomalies enregistrées pour chaque élément dans les différents sondages horizontaux.

On constate que :

+ L'argent se présente sous forme de deux colonnes riches, régulières, et d'une bande bordant le parement Sud de la carrière, à teneur faible.

  Si nous considérons les deux colonnes minéralisées, et leurs intersections avec les sondages horizontaux et inclinés, nous constatons que la composante du pendage serait de 60 degrés selon la direction Nord 10 degrés, et que les deux centres des zones riches sont alignés sur une droite de direction Nord 30 degrés environ, qui pourrait correspondre à une fracture.

+ L'agencement des éléments associés à l'argent met en évidence deux directions privilégiées :

L'antimoine et le plomb restent concentrées à proximité de l'argent.

L'arsenic semble réparti :

- dans des bandes conformes à la stratification.
- selon une direction Nord 30 degrés.

Le zinc et le molybdène suivent ce comportement avec plus ou moins de fidélité.

3 - Conclusion.

L'étude des sondages, à petite et à grande échelle confirme les résultats obtenus en considérant la répartition des anciens travaux.

Les concentrations minéralisées semblent contrôlées par des facteurs structuraux, et éventuellement lithologiques.

.) En effet, les anomalies géochimiques présentent un axe de développement conforme à celui de la schistosité-stratification, et paraissent affecter des couches de schistes particulièrement riches en pyrite d'origine synsédimentaire.

.) D'autre part, les colonnes riches en argent s'alignent vraisemblablement sur des directions variant entre Nord 10 et Nord 30°, correspondant à des fractures ouvertes.

B - *Traitement statistique des spectres géochimiques.*

Nous avons sélectionné, parmi les résultats obtenus lors de l'analyse au spectrographe des sédiments de sondages percutants, ceux qui correspondaient à une teneur en argent dépassant 20 grammes/tonne et nous avons étudié la distribution statistique de dix éléments accompagnateurs (cobalt, nickel, plomb, cuivre, zinc, molybdène, manganèse, arsenic, étain, antimoine).

En vue de l'application d'un traitement statistique à nos données, nous avons effectué des groupements en populations, correspondant à deux problèmes particuliers :

+ Evolution du spectre géochimique avec la profondeur.
+ Evolution du spectre géochimique selon un axe Est-Ouest.

1 - Evolution verticale.

a) Définition des populations étudiées :

Nous avons pris pour base de notre étude trois populations nettement individualisables :

+ Les sédiments obtenus par foration au marteau dans les parements du fond de la carrière (côte moyenne - 20 mètres) et minéralisés en Argent avec des teneurs dépassant 20 grammes/tonne. (42 individus).(population A)
+ Les sédiments des sondages percutants minéralisés prélevés entre les côtes - 20 et - 30 mètres (149 individus).(population B)
+ Les sédiments des sondages percutants minéralisés, provenant de zones situées à une profondeur supérieure à 30 mètres - (134 individus).(population C)

côte - 20 m	: Mn :	241 ppm	Pb	116 ppm	Zn	154 ppm	As	131 ppm
côte - 20 à - 30 m	: Pb :	717 ppm	Mn	700 ppm	As	603 ppm	Zn	539 ppm
côte inférieure à - 30 m	: Zn :	2219 ppm	Pb2	115 ppm	As	1684 ppm	Mn	998 ppm

Le plomb domine assez régulièrement - Le manganèse se montre en recul constant avec la profondeur et se voit abandonnée par le groupe de tête dès la côte - 30 mètres.

L'arsenic au contraire progresse nettement, tandis que le zinc, relégué à la dernière place entre les côtes - 20 et - 30 mètres, effectue une remontée foudroyante pour s'installer en tête de peloton devient le plomb, excellent second à 104 ppm.

β) Nous avons tenté de représenter graphiquement l'évolution des teneurs moyennes des éléments analysés, avec la profondeur.

Trois axes verticaux représentent les populations définies selon le critère de la profondeur.

Pour chaque élément, nous reporterons sur les axes verticaux le rapport de la teneur moyenne correspondante sur la teneur moyenne de la population représentative de la côte - 20 mètres

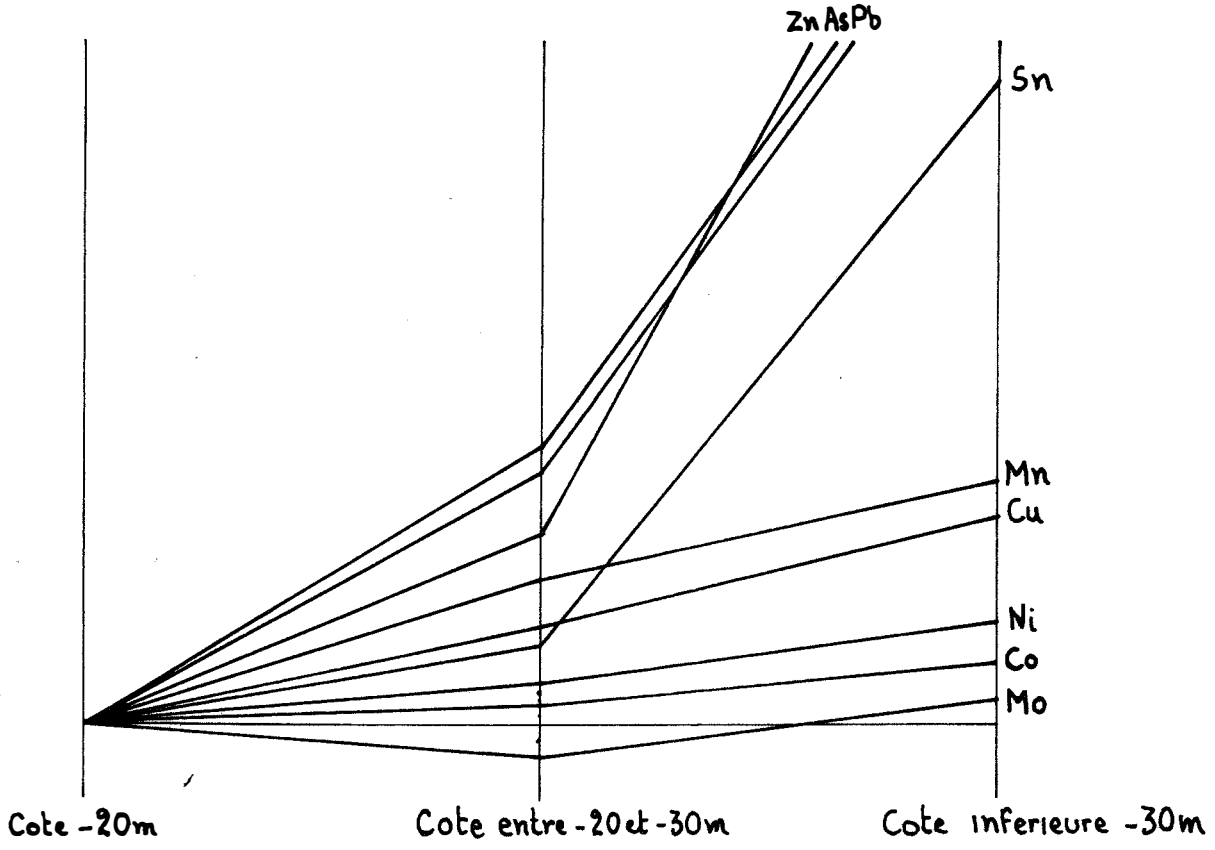


Figure VII-10 - représentation graphique de l'évolution verticale du spectre géochimique.

b) La moyenne :

Les moyennes des teneurs en chaque élément pour chacune des trois populations ont été reportées dans le tableau ci-dessous. L'unité employée est le ppm.

ovenance/Elément	Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb	Ag
Côte - 20	29,5	69	64	166	20	241	131	154	1	0,1	260
20 < côte < - 30	37	102	146	717	11	700,5	603	539	2	14	242
côte < - 30	54	162,5	260	2115	27	998	1684	2219	9	35	233

. L'argent semble régulièrement réparti dans les trois populations à des teneurs moyennes de 250 grammes/tonne. Toutefois, les fluctuations de ses concentrations sont très importantes (entre 20 et 3000 ppm).

. Si nous considérons les éléments accompagnateurs, nous constatons que des variations nettes dans les teneurs se font sentir lorsque la profondeur augmente.

Toutes les concentrations en élements-trace croissent, parfois dans des proportions importantes.

Cependant les comportements diffèrent sensiblement selon les éléments.

α) D'un point de vue strictement quantitatif, le spectre géochimique reste constamment dominé par quatre éléments.

- le plomb
- le zinc
- l'arsenic
- le manganèse

Toutefois, si nous considérons le rang de ces éléments établi selon la teneur, des différences se font jour.

- Le cobalt, le nickel, le cuivre et le manganèse croissent linéairement avec la profondeur, les deux premiers éléments, très faiblement, les deux derniers, un peu plus fortement.

Le molybdène subit une légère décroissance au niveau des échantillons compris entre - 20 et - 30 mètres, suivie d'une petite augmentation. Son comportement est dans l'ensemble sujet à des fluctuations faibles.

- L'arsenic et le plomb, subissent une évolution similaire caractérisée par une croissance de plus en plus importante avec la profondeur.

- L'étain et le zinc affectent une conduite originale. L'augmentation de leurs teneurs est modérée jusqu'à la côte - 30 mètres, pour s'accentuer très nettement en dessous de cette profondeur.

c) Maxima, minima et coefficient de variation :

Nous avons reporté dans un tableau les résultats obtenus pour le maximum, le minimum et le coefficient de variation de chaque élément, relatifs à chacune des trois populations précédemment définies.

L'unité de base est le ppm.

Elément	Coefficient de variation σ/m			Minimum			Maximum		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Co	0,94	0,8	0,78	10	6	6	150	200	300
Ni	0,52	0,48	0,56	30	20	30	200	200	300
Cu	0,5	0,7	0,45	10	20	30	150	600	600
Pb	0,39	1,65	1,1	40	60	100	300	6000	10000
Mo	2,6	1,6	1,1	1	0,5	2	300	100	200
Mn	0,65	2,2	1,0	50	40	50	600	10000	6000
As	1,5	2,3	1,3	0,1	0,1	1,0	1000	10000	10000
Zn	0,75	1,1	1,2	30	50	40	600	4000	10000
Sn	1,0	0,7	1,6	0,1	0,1	0,1	3	6	100
Sb	0,7	3,4	1,8	1	0,1	0,1	5	300	400
Ag	1,6	2,4	1,6	22	20	20	1920	4970	1910

Evolution verticale des corrélations.

α) Tableau des coefficients de corrélations.

		Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb
Co	A	1									
	B	1									
	C	1									
Ni	A	0,76	1								
	B	0,67	1								
	C	0,58	1								
Cu	A			1							
	B	0,46	0,68	1							
	C	0,47	0,74	1							
Pb	A				1						
	B	0,26	0,37	0,58	1						
	C		0,37	0,25	1						
Mo	A	0,72				1					
	B	0,72	0,56	0,34	0,40	1					
	C	0,50	0,25			1					
Mn	A						1				
	B	0,72	0,48	0,25		0,85	1				
	C	0,81	0,46	0,43		0,70	1				
As	A							1			
	B	0,49	0,49	0,50	0,69	0,76	0,49	1			
	C	0,45	0,47	0,29	0,53	0,60	0,48	1			
Zn	A	0,64	0,61						1		
	B	0,54	0,60	0,42	0,45	0,69	0,50	0,76	1		
	C	0,54	0,65	0,41	0,68		0,31	0,66	1		
Sn	A			0,45						1	
	B	0,45	0,72	0,78	0,44	0,33	0,30	0,45	0,46	1	
	C	0,46	0,57	0,32	0,29	0,30	0,42	0,47	0,56	1	
Sb	A							0,62			1
	B	0,48	0,45	0,50	0,67	0,65	0,37	0,90	0,65	0,43	1
	C	0,58	0,49	0,31	0,53	0,52	0,45	0,80	0,72	0,41	1

A - désigne la population correspondant à la côte - 20 mètres.

B - " " " à l'intervalle - 20 à - 30 mètres.

C - " " " à des profondeurs dépassant 30 mètres.

Les éléments semblent caractérisés par des distributions très irrégulières mis à part le nickel, le cuivre, et dans une moindre mesure le cobalt et le zinc.

On constate souvent une augmentation du coefficient de variation entre les côtes - 20 et - 30 mètres. Ce phénomène peut traduire le passage de zone plus ou moins remaniées par les actions supergènes.

d) Corrélations à l'intérieur des populations :

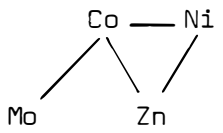
α) Tableau des coefficients de corrélation.

β) Aspects qualitatifs.

- Les corrélations sont beaucoup plus nombreuses dans les sondages atteignant une certaine profondeur que dans les forages au marteau-perforateur.

Les corrélations communes aux trois populations sont :

cobalt - nickel
cobalt - zinc
cobalt - molybdène
cuivre - étain
arsenic - antimoine
nickel - zinc



Sn — Cu

As — Sb

Dans les trois populations, en revanche, le plomb et le manganèse sont rigoureusement indépendants.

- L'identité des effectifs (134 et 149 individus) dans les populations représentatives des spectres géochimiques, entre les côtes - 20 à - 30 mètres, et inférieures à - 30 mètres respectivement, autorise une comparaison sur la base du coefficient de corrélation.

.)Le passage de la côte - 30 mètres s'accompagne de variations nettes dans les liaisons : certaines d'entre elles disparaissent ou s'atténuent, d'autres au contraire se développent, voire même apparaissent:

+ Liaisons disparaissant en dessous de la côte - 30 mètres :

cobalt - plomb	molybdène - cuivre
	- plomb
	- zinc

Ces trois dernières associations correspondent vraisemblablement à la présence de minéraux complexes d'origine secondaire (molybdates).

Leur disparition traduirait donc le passage à une zone moins remaniée du gisement.

+ Liaisons décroissant fortement en dessous de la côte - 30 mètres.

plomb - étain	cuivre - antimoine
cuivre - étain	nickel - molybdène
cuivre - plomb	cobalt - molybdène
cuivre - arsenic	manganèse - zinc

Les cinq premières associations pourraient traduire la diminution de minéraux complexes de type sulfosels à cuivre - plomb, arsenic - antimoine - étain qui n'ont par ailleurs jamais été observées en section polie faute de possibilités d'un échantillonnage.

La dernière liaison, zinc - manganèse est vraisemblablement dûe à un comportement analogue de ces éléments lors des phénomènes de transport - Son relâchement laisse à penser que de telles actinns décroissent fortement en dessous de la côte - 30 mètres.

+ Liaisons se renforçant en dessous de la côte - 30 mètres.

cuivre - manganèse	étain - manganèse

plomb - zinc

Le lien plomb-zinc traduit nettement la tendance vers la minéralisation primaire dont le pôle plombo-zincifère apparait.

L'association étain-manganèse semble indiquer le passage à une paragénèse plus chaude.

L'évolution des associations géochimiques semble indiquer le passage d'une minéralisation très remaniée, oxydée, cémentée, riche en minéraux supergènes complexes, à une minéralisation de caractère plus "primaire" où les corrélations de type plomb-zinc s'expriment nettement.

γ) Aspects quantitatifs.

Si nous prenons en compte les valeurs du coefficient de corrélation dans les deux populations représentant les spectres géochimiques en dessous de la côte - 20 mètres, nous pouvons classer les corrélations par ordre décroissant d'intensité :

- arsenic - antimoine
- molybdène - manganèse
- cobalt - manganèse (wads cobaltifères ?)
- cuivre - nickel
- zinc - antimoine
- arsenic - molybdène
- arsenic - zinc
- étain - nickel
- cobalt - nickel
- nickel - zinc
- cobalt - molybdène
- plomb - arsenic
- plomb - antimoine
- molybdène - antimoine
- plomb - zinc
- étain - cuivre

Ces corrélations ont été représentées graphiquement :

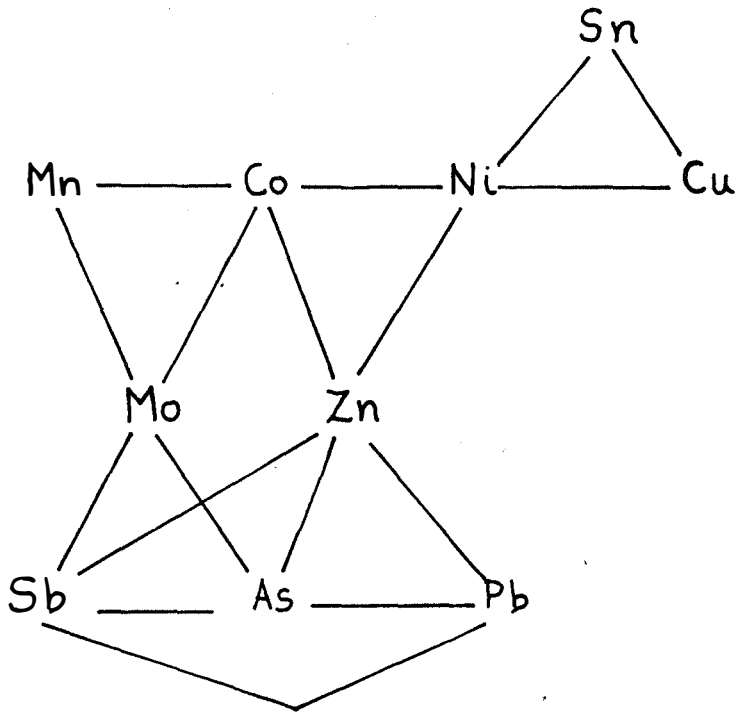


Figure VII-11 - Représentation graphique des corrélations communes aux populations B et C.

Le spectre géochimique apparait très soudé.

On remarque cependant un certain nombre de groupements privilégiés :

Etain - cuivre - nickel
cobalt - manganèse - molybdène
molybdène - arsenic - antimoine
zinc - plomb - arsenic - antimoine

Certains de ces ensembles présentent une tendance nette aux températures assez élevées (étain, cuivre, nickel, et cobalt, manganèse, molybdène)-D'autre part, l'association plomb, zinc, arsenic, antimoine est caractéristique de températures de formation, assez basses.

Ainsi le spectre rencontré semble-t-il couvrir un éventail assez vaste; entre le domaine des hautes températures, et celui des phases terminales des minéralisations à plomb-zinc.

e) Conclusion :

. L'étude des corrélations montre l'existence d'une minéralisation oxydée entre les côtes - 20 et - 30 mètres, évoluant en dessous de la côte - 30 mètres vers des paragénèses moins remaniées.

. La minéralisation primaire présente de nombreux groupements internes d'éléments, relevant de conditions thermiques de dépôts divers, échelonnées entre les domaines des hautes et basses températures.

. La dominante de la paragénèse est toutefois marquée par quatre éléments : le plomb, le zinc, l'arsenic, accessoirement le manganèse, et il semblerait que le pôle plomb-zinc prenne une importance de plus en plus accentuée avec la profondeur.

2 - Evolution horizontale des spectres géochimiques selon l'axe Est-Ouest.

a) Définition des populations étudiées :

Nous prendrons en considération au cours de cette étude, trois populations distinctes, représentées par les spectres géochimiques des sédiments de sondages percutants minéralisés implantés

- au voisinage de IM 4 (214 individus) soir PIM 4
- au voisinage de IM 6 (20 individus) soit PIM 6
- au voisinage de IM 8 (47 individus) soit PIM 8

b) la moyenne :

Les teneurs moyennes de chaque élément pour chaque population ont été reportées dans un tableau - Les résultats sont exprimés en ppm.

Eléments / Populations	Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb	Ag
P I M 4	50	145	225	1 674	23	1 026	1 350	1 601	6,4	29,7	209
P I M 6	35	101	123	839	13	416	915	586	2,0	20,1	124
P I M 8	26	81	129	319	3,25	215	180	452	1,7	0,1	413

Par simple lecture, des différences extrêmement marquées apparaissent entre les teneurs géochimiques enregistrées pour tous les éléments dans les différentes zones

Le spectre géochimique est de loin le plus riche aux abords de IM 4, il décroit régulièrement aux abords de IM 6 et IM 8, donc d'Est en Ouest.

- Nous avons tenté de représenter graphiquement cette évolution (cf. étude de la moyenne dans le paragraphe précédent).

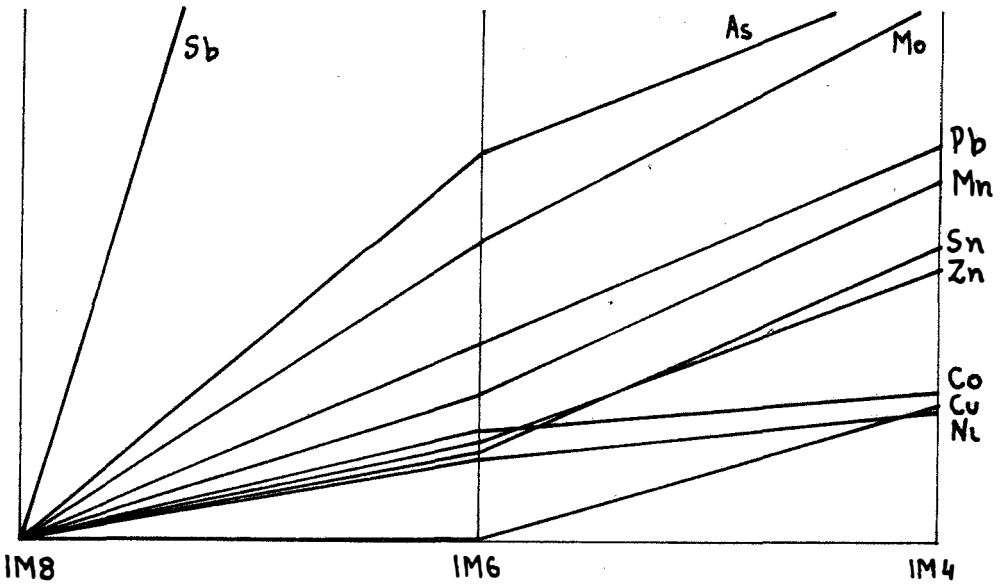


Figure VII-12 - Représentation graphique de l'évolution horizontale du spectre géochimique.

Les teneurs de tous les éléments augmentent de manière régulière entre PIM 8 et PIM 6 d'une part, PIM 6 et PIM 4 de l'autre.

On distinguera sur la base d'un gradient positif croissant les groupements suivants :

+ Cobalt, nickel, cuivre, zinc et étain.
  Le cobalt, le nickel, le zinc et l'étain subissent une évolution parfaitement similaire entre PIM 8 et PIM 6, puis se dissocient légèrement entre PIM 6 et PIM 4, le zinc et l'étain se concentrant plus fortement.

+ Plomb - manganèse.

+ Antimoine.

Le comportement de cet élément est assez particulier. Ses teneurs dans PIM 8 sont excessivement faibles (0,1 ppm) puis augmentent notablement dans PIM 6 (20,1 ppm) et dans PIM 4 (29,7 ppm).

Le spectre géochimique, si on en exclus l'argent, est nettement dominé par quatre éléments, plomb, zinc, manganèse et arsenic dont l'importance, cependant, évolue en fonction des populations.

PIM 4	Pb : 1 674 ppm	Zn : 1 601 ppm	As : 1 350 ppm	Mn : 1 026 ppm
PIM 6	As : 915 ppm	Pb : 838 ppm	Zn : 586 ppm	Mn : 416 ppm
PIM 8	Mn : 458 ppm	Pb : 319 ppm	Mn : 215 ppm	As : 180 ppm

c) paramètres de distribution : maximum, minimum, et coefficient de variation :

Nous avons reporté dans un tableau les résultats obtenus pour chacun de ces paramètres : l'unité de base est le ppm.

Paramètre	Coefficient de variation σ_m			Minimum			Maximum		
Population	PIM 4	PIM 6	PIM 8	PIM 4	PIM 6	PIM 8	PIM 4	PIM 6	PIM 8
Co	0,79	0,62	0,39	6	10	10	300	100	60
Ni	0,53	0,64	0,41	20	20	30	300	200	150
Cu	0,56	0,62	0,61	20	20	20	600	300	300
Pb	1,28	1,72	0,67	60	70	100	10000	5000	1000
Mo	1,20	1,75	0,4	1	0,5	1	200	100	6
Mn	1,45	0,91	0,57	40	40	40	10000	1500	600
As	1,46	2,45	1,12	1	0,1	0,1	10000	10000	1000
Zn	1,4	1,57	1,05	70	50	40	10000	4000	2000
Sn	1,89	0,58	0,77	0,1	0,1	0,1	100	4,0	6,0
Sb	2,00	3,46	0,5	0,1	0,1	0,1	400	300	0,5
Ag	1,67	0,61	2,21	20	20	20	1910	258	4970

d) Etude des corrélations :

	Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Sn	Sb
Co	1									
	1									
	1									
Ni IM 4	0,60	1								
Ni 6	0,75	1								
Ni 8	0,67	1								
Cu	0,46	0,74	1							
			1							
	0,44	0,66	1							
Pb	0,22	0,40	0,40	1						
				1						
				1						
Mo	0,55	0,35	0,32	0,26	1					
	0,82				1					
				0,58	1					
Mn	0,70	0,40	0,28		0,68	1				
	0,79	0,84				1				
						1				
As	0,45	0,50	0,44	0,59	0,64	0,43	1			
	0,83				0,97		1			
					0,50		1			
Zn	0,50	0,64	0,45	0,66	0,30	0,23	0,65	1		
	0,84			0,76	0,94		0,96	1		
				0,46	0,55		0,48	1		
Sn	0,41	0,56	0,36	0,33	0,32	0,23	0,47	0,60	1	
			0,87						1	
		0,52	0,54			0,49			1	
Sb	0,54	0,49	0,43	0,56	0,52	0,38	0,81	0,64	0,38	1
	0,77				0,98		0,98	0,95		1
	0,49									1

Le tableau précédent rassemble les valeurs du coefficient de corrélation relatif aux éléments du spectre géochimique caractéristique des trois populations PIM 4, PIM 6, PIM 8.

La population PIM 4 présente les corrélations les plus nombreuses, puisque seuls le plomb et le manganèse sont indépendants l'un de l'autre.

Les populations PIM 6 et PIM 8 sont nettement moins soudées.

+ Les corrélations communes aux trois populations mettent en correspondance :

cobalt - nickel
cobalt - antimoine
cuivre - étain
plomb - zinc
molybdène - arsenic
molybdène - zinc
arsenic - zinc

Le groupement arsenic, molybdène, zinc ressort nettement, il est toutefois difficile à interpréter et pourrait provenir de remaniements supergènes.

+ Les corrélations mises en évidence dans PIM 6 sont reportées ci-dessous. Elles complètent l'association molybdène, arsenic, zinc par l'adjonction du cobalt et de l'antimoine.

De plus un groupement manganèse, cobalt, nickel semble se dessiner.

cobalt - nickel
cobalt - manganèse
manganèse - nickel
cobalt- molybdène
cobalt-arsenic
cobalt - zinc
arsenic - molybdène
plomb - zinc
zinc - molybdène
zinc - arsenic
étain - cuivre
antimoine - cobalt
antimoine - molybdène
antimoine - zinc
antimoine - arsenic

+ Les corrélations observées dans la population PIM 8 sont relativement peu nombreuses.

Deux groupements sont vaguement ébauchés.

cuivre - cobalt - nickel - étain
manganèse - molybdène - arsenic - zinc.

cobalt - nickel
cobalt - cuivre
cuivre - nickel
molybdène - manganèse
molybdène - arsenic
manganèse - zinc
zinc - molybdène
zinc - arsenic
étain - nickel
étain - cuivre
étain - manganèse
cobalt - antimoine

e) Conclusions :

Les résultats de l'étude statistique semblent mettre en évidence des différences notables tant dans les teneurs atteintes par les éléments du spectre géochimique correspondant à diverses zones de la carrière, que dans les corrélations entre éléments.

- Le spectre géochimique observé aux alentours de IM 4 est de loin le plus important sur un plan quantitatif.

Les corrélations qui s'y expriment montrent l'existence d'une paragénèse parfaitement soudée, dans laquelle seuls le plomb et le manganèse se comportent indépendamment.

- Les teneurs atteintes par les éléments-trace dans IM 6 sont plus faibles, et affectent une décroissance assez régulière entre la zone de IM 4 et celle de IM 6.

Les corrélations moyennes dans la population mettent en évidence des groupements :

étain - cuivre
manganèse - cobalt - nickel
cobalt - molybdène - antimoine - arsenic - zinc

- Les concentrations du spectre géochimique caractéristique des alentours du sondage IM 8 sont de loin les plus faibles. On constate une décroissance brusque des teneurs pour de nombreux éléments entre IM 6 et IM 8. (essentiellement antimoine, arsenic, molybdène). Les corrélations montrent deux associations :

étain - cuivre
manganèse - cobalt - nickel
cobalt - molybdène - antimoine - arsenic - zinc

On trouve également dans cette zone du mercure amalgamé à l'argent natif, d'origine supergène.

Cependant la présence de minéraux primaires de mercure, bien que non démontrée semble très plausible.

On pourrait donc penser que les concentrations rencontrées aux abords du sondage IM 8 relèvent d'une minéralisation plutôt "froide".

Il n'est malheureusement pas possible de distinguer d'évolution simple entre les spectres géochimiques caractéristiques des populations PIM 4, PIM 6 et PIM 8. Tout au plus, peut-on supposer que des corps minéralisés sont liés entre eux par une même origine minéralisatrice, dont l'expression finale, souvent remaniée par l'altération supergène, pourrait revêtir des formes sensiblement différentes.

CHAPITRE VIII : LE CHAMP FILONIEN D'IMITER : CONCLUSIONS.

Si on considère les corps minéralisés que nous venons de décrire, il peut sembler à première vue que beaucoup de caractéristiques les séparent.

Pourtant, des analogies se font jour, et permettent de situer les ensembles étudiés dans le cadre d'une unité tant structurale que minéralogique et géochimique au niveau du champ filonien d'IMITER.

I - LE CONTRÔLE STRUCTURAL -

Dans tous les anciens travaux du champ filonien d'IMITER que nous avons pu reconnaître apparaissent deux systèmes de fracturation qui conditionnent les minéralisations:

- un système de direction voisine de Est-Ouest à pendage redressé.
- un système de direction voisine de Nord-Sud à pendage redressé.

Le contrôle se manifeste à l'échelle du corps minéralisé, mais également à l'échelle du champ filonien.

A - *Le contrôle structural à l'échelle des travaux anciens* -

Si le contrôle structural par deux directions suborthogonales est constant dans toutes les anciennes excavations, ses effets sur les minéralisations varient avec l'encaissant.

Dans les schistes redressés, de direction moyenne Nord 80 degrés à pendage Nord 70 à Nord 80 degrés, les actions tectoniques ont pu amener des cisaillements, des glissements plan sur plan, un écrasement plus que des ouvertures nettes qui peuvent expliquer le caractère d'"imprégnation" des minéralisations observées.

Il semble que dans les deux types de formation, les fractures de direction Est-Ouest aient joué en cisaillement, et que le système orienté selon Nord-Sud résulte de tensions.

Cependant, une histoire tectonique complexe comportant des rejeux n'est pas à exclure.

En effet, on retrouve dans certaines fractures Est-Ouest un quartz à aspect gras, ancien (ante P II - III) indiquant clairement l'existence de ces fractures avant la minéralisation.

De plus, dans les travaux de la borne 3, des virgations des plans minéralisés de direction Nord-Sud prouvent des actions tectoniques post-minéralisation, peut être liées à des rejeux de la faille principale d'IMITER.

B - *Le contrôle structural à l'échelle du champ filonien* -

- Les anciens travaux s'alignent sur des directions structurales Est-Ouest.

La présence d'un quartz ancien (ante P II - III) dans ces structures montre qu'elles préexistaient aux minéralisations, et qu'elles ont pu servir de piège à ces dernières.

Mais le caractère discontinu des amas laisse soupçonner l'influence d'un facteur supplémentaire.

- Des filons de roches éruptives, d'axe Sud-Nord, empruntant parfois les fractures Est-Ouest peuvent avoir contrôlé la minéralisation.

Le faciès en échelon de ces dykes rappelle le faciès en arêtes de poisson développé au Sud d'une dorsale Est-Ouest que l'on a pu observer dans les anciens travaux.

De plus, des grattages anciens se localisent aux épontes des dykes, principalement dans les zones d'inflexion. On peut noter une concentration anormale de ces dykes dans la zone du gisement.

1 - Conglomérats, microconglomérats et grès très grossiers :

Dans les formations rattachées au bassin de conglomérats du précambrien II - III, les filons de direction voisine de Est-Ouest sont exprimés avec netteté. Leur puissance, toujours décimétrique peut atteindre trois mètres.

Les accidents orientés selon Nord-Sud, greffés sur l'éponte Sud de la fracture principale de direction Est-Ouest en arêtes de poisson sont minéralisées de manière continue en argent. Ils représentent des plans à minéralisation riche, de faible puissance (0,5 mètre environ) qui ont souvent fait l'objet de dépilages. Au Nord de la fracture principale, les éventuelles prolongations de ces structures sont stériles ou maigrement minéralisées.

2 - Schistes :

Dans les schistes rattachés au précambrien II, les structures sont beaucoup moins nettes. Des filons continus sont inexistants et les faciès d'imprégnation le long d'un axe prédominent - La minéralisation semble conditionnée par la rencontre de deux structures de direction Est-Ouest et Nord-Sud, provoquant des concentrations sous forme de colonnes de faible section (entre 2 et 12 m2).

On peut retrouver ce faciès à échelle centimétrique sur certaines sections polies. La rencontre de veinules de pyrite et d'argent se recoupant à angle droit conditionnent un enrichissement autour de l'intersection des filonnets.

3 - Conclusions :

Toutefois, cette apparente dualité dans la morphologie des zones riches peut s'expliquer par des réactions différentes des encaissants aux contraintes, dûes tant à la compétence des roches qu'à leur agencement.

En effet, les conglomérats sont généralement peu redressés (pendage de 20 à 50 degrés Nord) - Ils sont plus compacts que les schistes, de telle sorte que le système de contraintes a pu engendrer des ouvertures franches.

C - *Conclusions* -

1 - L'importance du contrôle tectonique se manifeste à toutes les échelles et dans toutes les formations minéralisées.

L'intersection de fractures Nord-Sud avec des structures Est-Ouest semble constituer une condition nécessaire à l'enrichissement.

Cette constatation devrait pouvoir être utilisée au cours des recherches d'extension et dans les interprétations tant des résultats de sondages que de géochimie.

2 - Un lien des dykes de roches éruptives avec les minéralisations peut être soupçonné. Toutefois, il ne saurait à l'heure actuelle être précisé.

Des études portant sur ces formations et leurs relations avec les minéralisations seraient utiles (exploration, géochimie, pétrographie(cf.ch.IX)).

II - ASPECT MINÉRALOGIQUE -

La présence d'une pyrite synsédimentaire ante-minéralisation, dans certains niveaux de schistes noirs se rattachent au précambrien II imprime aux minéralisations contenues dans ces terrains un caractère original.

En effet, la pyrite favorise les actions de remaniement supergène (phénomènes d'oxydation et de cémentation).

De plus, au niveau des minéralisations primaires, les lits pyriteux ont fait office d'écran chimique et conditionné un enrichissement (fahlbandes).

Toutefois, malgré cette originalité du P II, les paragénèses rencontrées sur l'ensemble du champ présentent des analogies.

A - *Les minéralisations supergènes* -

1 - Aspects microscopiques :

A IMITER, les phénomènes de remaniement supergène ont joué un rôle important dans l'enrichissement, dont l'ampleur ne peut encore être qu'appréhendée faute de connaissances sur le protore.

Certains minéraux peuvent être rattachés à la zone d'oxydation cependant que d'autres semblent provenir d'une cémentation.

a) Les faciès de la zone d'oxydation :

- cérusite,
- argentite en nuage dans la cérusite,
- argentite secondaire redéposée,
- argent natif.

b) Les faciès cémentés :

- lamelles de covelline,
- argentite cémentée en argent natif,
- pyrite cémentée par de l'argentite et de l'argent natif.

L'amalgame d'argent et de mercure observé dans les travaux du tas A se rattache vraisemblablement à des actions supergènes.

D'autre part, il est possible qu'une partie tout au moins de l'argent natif observé soit d'origine primaire.

2 - Aspects macroscopiques :

Le caractère d'enrichissement supergène se détache généralement à échelle macroscopique.

Les gisements exploités par les anciens étaient recouverts par un chapeau de fer présentant vraisemblablement des plaques d'argent natif.

De plus, la localisation des anciennes excavations (cf. J SKACEL) laisse à penser que les zones riches se situaient à proximité des oueds donc dans le voisinage d'un point bas du réseau hydrographique. Une telle configuration favorise les circulations des eaux météoriques, et le développement de zones enrichies.

B - *Les paragènes primaires* -

Les paragènèses présentent des analogies flagrantes tant au point de vue de la composition des gangues que des espèces minérales rencontrées.

1 - Les gangues :

Dans le P II comme dans le P II - III, des gangues accompagnent les minéralisations. Toutefois leur importance semble plus restreinte dans le P II que dans le P II - III, en raison du faciès en imprégnations caractérisant les concentrations dans cette formation. Les principaux minéraux de la gangue sont :

quartz - parfois en peigne -, dolomite - parfois manganésifère -
sidérite, ankérite, limonite,
wads (cobaltifères à la borne 3),
calcite rare.

Les épontes sont peu altérées mises à part une silicification et une chloritisation locales.

On trouve des leucoxènes à proximité des minéralisations aussi bien dans le P II que dans le P II - III.

2 - Les minéraux métalliques primaires :

Les minéralisations primaires se composent :

- dans le P II - III -

- borne 8 : galène - argentite.

des minéraux sulfoantimoniés de type tétraédrite peuvent être soupçonnés sur la base d'anomalies géochimiques.

- borne 3 : galène, chalcopyrite, blende, mispickel, tétraédrite, pyrite rare.

- dans le P II -

- tas A : pyrite,
galène, blende avec ou sans exsolutions de chalcopyrite, chalcopyrite, tétraédrite,
freibergite,
argent natif ?
minéraux de mercure ?

Monsieur SMEYKAL mentionne sur des études en section polie à partir de sondages carottés dans le protore.

Argent natif, stéphanite associée à la boulangérite,
dyscrase rare,
pyrrhotite, mispickel.

Une paragénèse commune ressort donc sur l'ensemble du gisement, caractérisée par l'abondance de la blende, de la galène et de la tétraédrite ainsi que des minéraux d'argent.

3 - Lien de la minéralisation argentifère avec la galène :

Les études minéralogiques menées sur les filons d'IMITER ne permettent pas de conclure à l'existence d'un lien privilégié entre la galène et la minéralisation argentifère.

Le plus souvent, la galène ne renferme pas d'inclusions de minéraux d'argent.

De plus, des minéraux d'argent primaires s'expriment indépendamment de la galène (argentite, freibergite, argent natif ? etc...) et postérieurement à celle-ci.

D'autre part, si on envisage dans les filons le rapport des teneurs géochimiques du plomb sur l'argent, ce paramètre est très irrégulier.

C - *Conclusions* -

1. L'étude minéralogique du minerai d'IMITER permet de conclure à la forte influence des phénomènes d'oxydation et de cémentation.

La connaissance du protore reste lacunaire. On peut toutefois penser que les minéralisations exploitées par les anciens constituaient des dépôts de remaniement supergène enrichis, et que le passage au protore risque de se traduire par une baisse des teneurs en argent.

Si des recherches d'extensions par travaux miniers s'effectuaient, une étude détaillée des paragénèses du protore pourrait être entreprise, qui permettrait de préciser cette hypothèse.

2. Une évolution spatiale des minéralisations ne ressort pas de notre étude.

Les éléments manquent pour déceler une zonalité minéralogique selon un axe vertical.

On peut remarquer que certaines associations minéralogiques rencontrées dans les travaux du tas A (recoupe du T.B.8) semblent appartenir à un domaine de plus basse température que l'ensemble des minéralisations du P II - III et de la partie médiane du tas A. En effet, la présence de mercure amalgamé à l'argent natif laisse prévoir l'existence de minéraux de mercure, rattachés aux très basses températures, qui n'ont pu cependant être décelés

3. Les minéralisations dans leur ensemble présentent un pôle galène - blende marqué, avec présence du cuivre (chalcopyrite) et passage à une minéralisation argentifère débutant dans le domaine des cuivres gris (freibergite).

Ces manifestations sont postérieures à la minéralisation à plomb-zinc, et pourraient se rattacher à un domaine de plus basse température.

III - ASPECTS GÉOCHIMIQUES -

Les corps minéralisés étudiés présentent des spectres géochimiques différents - Une zonalité à l'échelle du champ et des travaux anciens peut être envisagée, tant dans un plan horizontal que vertical.

Toutefois, l'interprétation des données géochimiques s'avère hasardeuse. Les analyses, réalisées au spectrographe de masse, par enregistrement sur plaque sont peu fiables, et présentent souvent des "effets de série". D'autre part, les effets des altérations supergènes sont importants et difficiles à mettre en évidence. Il est impossible de déterminer un spectre géochimique "primaire", dont les échantillons à notre disposition ne peuvent que constituer un "reflet" plus ou moins fidèle.

1 - Les données :

a) Nous avons reporté dans le tableau ci-dessous, les teneurs moyennes exprimées en ppm, des éléments-trace détectés dans les corps minéralisés.

	Co	Ni	Cu	Pb	Mo	Mn	As	Zn	Ag	Sn	Sb
Borne 8 (53 éch.)	97	250	140	3200	40	4600	850	3000	>>100	170	48
Borne 3 Est(7 éch)	520	490	690	2280	370	3900	380	1050	>>100	20	370
Borne 3 Ouest (93 éch)	490	600	980	4750	270	4430	1900	1400	>>100	27	465
Tas A (32 éch.)	45	120	180	1270	19	765	1000	1200	>>100	4,7	21

b) Les principales corrélations mises en évidence par une étude statistique font ressortir une assez grande unité du spectre géochimique sur l'ensemble des travaux.

Les corrélations observées peuvent se rattacher soit à des phénomènes hypogènes, soit à des phénomènes supergènes, sans que la distinction entre ces deux origines soit nette.

- Le lien (cuivre) plomb-zinc, particulièrement marqué est vraisemblablement caractéristique de la paragénèse primaire.

- Les associations plomb, cuivre, zinc, antimoine, arsenic (étain) semblent indiquer l'existence de minéraux complexes de type sulfosels, dont l'origine pourrait être aussi bien hypogène que supergène, et dont certains pourraient être argentifères (ex : freibergite du tas A, famatinite de la borne 3...)

- Les associations plomb, cuivre, zinc, molybdène pourraient résulter de la présence de molybdates vraisemblablement d'origine supergène - Toutefois, seul un molybdate de plomb, la wulfénite $Pb\ Mo\ O_4$ est mentionnée dans la littérature. Ce molybdate est, par ailleurs, connu au Maroc (Mibladen...).

2 - Evolution horizontale du spectre géochimique :

- Les spectres géochimiques observés dans les travaux du P II - III sont plus intenses que ceux relevés dans le P II (tas A). On peut noter la prédominance tranchée

- à la borne 8 de l'étain et du zinc.
- à la borne 3 du cobalt, du nickel, du cuivre, du molybdène, de l'antimoine et de l'arsenic.
- au tas A, du mercure que l'on n'a pas pu déceler dans les minéralisations du P II - III.

Le bismuth se rencontre occasionellement surtout dans les anciens travaux encaissés dans le P II - III, à des teneurs pouvant atteindre 0,1%.

- Le spectre géochimique des minéralisations de la borne 8 semble le plus "chaud" en raison de la présence d'étain à des teneurs élevées.

. A mi chemin entre la borne 8 et la borne 3, on rencontre un grattage, implanté sur un filon de direction Nord 10 degrés, à quartz, malachite, chalcopyrite et galène accessoire dont l'analyse d'un échantillon a donné les résultats suivants :

Co : 700 ppm	Cu : 2,60%	
Sn : 50 ppm	Bi : 0,20%	Ag : 325 g/t
As : >1%	Pb : 0,55%	

. Les minéralisations de la borne 3, riches en cuivre et en molybdène semblent relever d'un domaine de plus haute température que celles du tas A où la présence du mercure (quoiqu'il n'ait pu être mis en évidence sous forme de minéral primaire) rappelle les caractéristiques d'une minéralisation "froide".

- Malgré ces distinctions, on ne peut parler de zonalité franche à l'échelle du champ.

L'évolution du spectre géochimique pourrait refléter des niveaux différents de la minéralisation, affleurant grâce à une érosion plus ou moins poussée. De plus, l'influence des phénomènes de remaniement supergène est difficilement distingable, bien qu'on puisse supposer qu'elle soit importante.

Enfin, la géochimie des zones oxydées et des chapeaux de fer est encore assez mal connue, et il ne semble pas possible, à partir de nos observations, de mettre en évidence un lien génétique soit avec le plutonisme, soit avec des dykes de roches filoniennes, soit avec des remobilisations de préconcentrations géochimiques à partir des sédiments.

3 - Evolution du spectre géochimique à l'échelle du corps minéralisé :

a) Evolution horizontale -

- Dans les anciens travaux du P II - III, on peut noter des différences de spectre géochimique entre les filons de direction Est-Ouest, et Nord-Sud respectivement.

En régle générale, le spectre géochimique des filons Nord-Sud semble se rattacher à un domaine de plus haute température que celui des filons Est-Ouest.

- à la borne 8, l'étain est concentré dans les filons Nord-Sud, l'antimoine dans les filons Est-Ouest.
- à la borne 3, molybdène et bismuth sont concentrés dans les plans minéralisés Nord-Sud.

- Cette constatation pourrait s'interpréter en imaginant un axe Sud-Nord des venues minéralisantes (qui seraient alors conformes en direction avec les dykes de roches filoniennes) - Ces venues recouperaient des fractures de direction Est-Ouest préexistantes où les minéralisations se déposeraient avec un effet de télescopage plus ou moins marqué.

Toutefois, cette hypothèse semble hasardeuse et ne saurait encore être prouvée.

- Il n'en reste pas moins que les différences de spectre géochimique entre fractures Est-Ouest et Nord-Sud permettent d'affiner les guides géochimiques et pourraient déboucher sur des améliorations de l'interprétation des résultats de prospection géochimique.

b) Evolution verticale :

. Cette évolution n'a pu être, faute de données, étudiée que dans le cadre des sondages percutants du tas A.

- Il semblerait que certains éléments croissent fortement avec la profondeur :

Plomb - zinc (antimoine, arsenic, étain)

. D'autre part, au niveau des associations d'éléménts, le pôle Plomb-zinc gagne en importance avec la profondeur, tandis que les liaisons faisant intervenir le molybdène (molybdates ?) l'antimoine et l'arsenic (sulfosels ?) décroissent - Ce passage pourrait refléter une évolution de la zone oxydée à une minéralisation moins remaniée.

. Les teneurs en argent restent constantes, tout au moins sur une relevée de 30 mètres environ.

IV - ASPECTS ÉCONOMIQUES -

1) - Les études menées sur les extensions possibles du gisement ancien d'IMITER sont encore loin d'être concluantes.

Quelques découvertes de minerai en place ont pu être réalisées sur le parement Sud du tas A et à la borne 3 Est. Toutefois, les tonnages mis à jour sont incertains, et apparemment, réduits. Il ne semble pas que l'on puisse s'attendre à la présence d'amas importants. Les corps minéralisés sont de faible taille - en puissance à la borne 3, en surface pour les colonnes riches du tas A.

- Une exploitation industrielle risque, à l'heure actuelle d'être problématique. Un dépilage en carrière ne parait pas possible en raison de la pauvreté des zones séparant les corps minéralisés.

Pourtant, la richesse des teneurs atteintes dans certains impacts par sondages percutants autorise quelque espoir, grâce aux cours élevés de l'argent, et à la présence, sur le domaine de tas importants de haldes pauvres.

- En effet, il semble douteux qu'une exploitation de minerai neuf puisse fournir à elle seule à l'usine d'IMITER un tonnage journalier de 200 tonnes de minerai à 300 grammes/tonne d'argent en teneur moyenne.

Il serait par contre possible de traiter des haldes pauvres, à teneur moyenne de 200 grammes/tonne (cette teneur étant supérieure à la teneur économique de coupure pour des haldes) en les enrichissant par addition de minerai riche extrait grâce à des travaux miniers de faible envergure (méthodes semi-artisanales).

Dans cette hypothèse, on pourrait traiter des haldes pauvres mais économiquement intéressantes, dans les conditions pour lesquelles l'usine a été conçue En effet, si les teneurs d'entrée dépassent ou sont nettement inférieures à 300-400 grammes/tonne, la récupération de l'argent par cyanuration devient soit techniquement difficile, soit mauvaise (diminution du coefficient de récupération)-

La solution proposée permettrait :

- de prolonger la vie de l'usine qui représente sur le marché local de l'emploi un nombre de postes relativement élevé (100 ouvriers).
- de développer les réserves par abaissement de la teneur de coupure de 300 à 200 grammes/tonne d'argent pour les haldes.
- de permettre la poursuite des recherches grâce à une exploitation sélective par travaux miniers (qui pourraient de ce fait s'autofinancer et apporter des renseignements géologiques importants sur le plan des contrôles et de la minéralogie).

2) - Toutefois, une telle solution ne serait applicable que dans la mesure où l'exploitation par travaux miniers semi-artisanaux se developperait dans un avenir très rapproché; les haldes riches s'épuisent, et un certain délai serait nécessaire pour aménager l'exploitation des quelques amas reconnus par sondages, dont il faudrait, au préalable vérifier les caractéristiques par un travers banc de recherche.

Les cours élevés de l'argent (autorisant la mise en valeur de cibles même réduites), conditionnent une recherche systématique conjointement à l'exploitation.

- par une géochimie de surface sur les alignements filoniens avec confirmation des principales anomalies au moyen de sondages percutants,
- par des explorations au marteau-perforateur pratiquées à maille très serrée (1 mètre ou 2 mètres) autour des galeries de recherche ou d'exploitation que l'on pourrait forer.Des levés de détail sont nécessaires en vue d'une étude des contrôles (lien avec la fracturation et les dykes de roches filoniennes).

3) - Un engagement très progressif des moyens semble impératif, dans la mesure où les objectifs, encore mal cernés paraissent peu importants - Dans un premier temps, une exploration par un travers banc à la côte - 40 mètres des plans

de direction Nord-Sud de la borne 3 s'impose.

On pourrait également forer un travers banc de reconnaissance sous les travaux du tas A, dans l'axe de la carrière à une profondeur relativement importante.

Une géochimie de surface sur les alignements filoniens à l'intérieur du domaine minier d'IMITER pourrait se réveler intéressante.

4) - Le problème des avals reste posé, mais une étude minéralogique de minerai en place, si possible non oxydé, devrait permettre de préciser la possibilité d'une minéralisation riche en profondeur.

Les travers bancs proposés pourraient constituer un élément de réponse à cette question - Ils devraient normalement permettre un abord direct des problèmes de contrôle (tectonique, lien avec les dykes de roches éruptives, lien avec les couches pyriteuses), pouvant déboucher sur une recherche plus fine (tant à IMITER qu'à ZGOUNDER, dont les analogies avec IMITER sont troublantes, cf. Ch.IX).

5) - Enfin, la recherche des haldes alluvionnées, entreprise en 1974, et qui a donné d'excellents résultats, devrait être poursuivie.

CHAPITRE IX : CONSIDÉRATIONS GÉNÉTIQUES.

I - HYPOTHÉSES GÉNÉTIQUES SUR LE GISEMENT D'IMITER -

Le gîte d'argent d'IMITER peut être rapproché d'un certain nombre de gisements mondiaux de par ses caractéristiques. Nous allons tenter par une comparaison de ces gisements de faire ressortir les principales hypothèses génétiques proposées, que nous tenterons d'appliquer au cas particulier d'IMITER.

A - *Description de quelques gisements d'argent filoniens, dans un encaissant sédimentaire.*

1 - THUNDER - BAY SILVER AREA (ONTARIO-CANADA) :

a) Les roches dans lesquelles s'inscrivent les gisements de cette région se rattachent au précambrien.

Une coupe des terrains fait ressortir =

- une série du KEEWATIN comportant des roches volcaniques des gneiss et des schistes recoupée par une intrusion granitique de l'ALGOMAN (Archéen Supérieur).

- Deux séries discordantes du KEWEENAWAN, la série d'ANIMIKIE (Protérozoïque inférieur) comportant des black shales, des argillites, des grauwackes ou des argillites, des conglomérats et des taconites.
  La série de SIBLEY composée de conglomérats, de grès, de calcaires et de tufs repose en discordance sur la série précédente.

- Des diabases en sills et en dykes recoupent l'ensemble des formations - Elles sont datées du KEWEENAWAN terminal.

b) Les minéralisations se rencontrent sous forme de filons.

La gangue comporte calcite, sidérite et dolomite manganésifère.

Les minéraux métalliques sont : argent, galène, blende, chalcopyrite, pyrite, marcasite, tétraédrite, cobaltite, smaltite, et des sulfures mal distingables d'arsenic, d'antimoine, de cobalt, de nickel et d'argent.

Le graphite est abondant à proximité des minéralisations.

c) - Le granite a largement précédé la minéralisation.

- Les diabases coupent les veines à angle droit et il semble qu'elles aient pu constituer un site structural privilégié pour la minéralisation BOYLE pense que ces roches pourraient être à l'origine de la gangue ainsi que du nickel et du cobalt.

- La présence de graphite entraine ce même auteur à faire des sédiments la source la plus probable de la minéralisation.

- Le contrôle structural est important.

2) COEUR D'ALENE (IDAHO-USA) :

a) Les roches encaissant le gisement sont des quartzites, des phyllites et des argillites précambriennes, fortement plissées et faillées, ainsi que des schistes noirs rattachés aux séries du Belt.

Ces formations sont parcourues par des intrusions sous forme de stocks et de dykes, de monzonites datant du crétacé.

b) La minéralisation comporte : galène argentifère, sidérite, quartz, freibergite, blende, chalcopyrite, pyrite, boulangérite, pyrrhotite, marcasite, arsénopyrite - On rencontre également bornite, chalcocite, jamesonite, polybasite, proustite, hematite, uraninite et scheelite. Des minéraux de cobalt et de nickel comme la gerstdorffite sont rares.

Le minerai titre de 3 à 12% en plomb

3 à 6% en zinc

60 à 300 g/Tonne argent

c) Le gisement fait partie de la zone orogénique des Cordillères.
Une relation des minéralisations avec les intrusions monzonitiques semble logique. Ces intrusions correspondraient à la phase tardive d'une évolution de caractère granodioritique. Les teneurs géochimiques en antimoine et en arsenic sont élevées. Le rapport Pb/Zn est de 2.
Ce gisement, rattaché au type 7 par Mr. BAUCHAU aurait cependant des liaisons avec le type 11 à sidérose - en raison de son chimisme (Sb-As-Ag-Bi) - Le caractère filonien est dominant, ainsi que le contrôle structural.

3 - KONGSBERG (NORVEGE) :

a) Les formations dans lesquelles s'inscrit la minéralisation se rattachent au Précambrien.
On rencontre des schistes et des gneiss. Certains niveaux schisteux se caractérisent par leur richesse en pyrite, pyrrhotite ainsi que chalcopyrite, arsenopyrite et galène. Ils se poursuivent sur de grandes distances et ont reçu le nom de FAHLBANDES.

b) Les filons de Kongsberg ont été minéralisés en deux venues d'âges différents :
- Quartz, pyrite, pyrrhotite, blende,galène.
- Calcite, arséniures de cobalt et de nickel, argent.

les principaux minéraux rencontrés sont :

Argent, argentite, dyscrase, argents-rouges, stéphanite, pyrite, pyrrhotite, rammelsbergite, safflorite, chalcopyrite, galène pauvre en argent.

La gangue se compose de calcite, fluorite, quartz et chlorite.
On rencontre également de la matière organique liée aux minéralisations.
Le Bismuth n'est pas signalé. Par contre on peut noter la présence épisodique de l'arsenic natif.
L'argent contient généralement du mercure, et les caractéristiques minéralogiques sont proches de celles de COBALT (Ontario-Canada).

c) Les minéralisations de KONGSBERG sont rattachées aux roches ignées de la série d'OSLO, datant du Paléozoïque tardif.
Toutefois, les fahlbandes exercent sur la minéralisation un contrôle physico-chimique net, qui a amené certains auteurs à se demander s'il ne fallait pas voir en elles la source de la minéralisation.

En effet, les Fahlbandes contiennent du cobalt et du molybdène - à des distances relativement grandes du gisement. Près de SKUTTERUD, on a pu trouver dans ces formations de la cobaltite, de la pyrite, de l'arsénopyrite, de la chalcopyrite, de la pyrrhotite, de la galène et de la molybdénite.
Dans le gisement de KONGSBERG, les diabases sont absentes tout au moins à l'affleurement.
Un contrôle structural se superpose au contrôle physico-chimique des fahlbandes, ce qui rappelle nettement le cas d'IMITER.
Le gisement a été rattaché par Mr BAUCHAU au type 11 à sidérite.

4 - JACHYMOV (TCHECOSLOVAQUIE) :

a) Le gisement s'inscrit dans une série préhercynienne de schistes grossiers, de gneiss et de calcaires métamorphisés.
Dans les parties les moins métamorphisées, les schistes passent à des phyllites ou à des schistes graphiteux.
Des intrusions de granite porphyrique précoce traversent cette série.

Un plissement intense se produit sous l'influence de granites tardi-varisques, accompagnés de lamprophyres.

On rencontre également dans le district des dykes basaltiques et des tufs tertiaires.

Les veines minéralisées recoupent les porphyres précoces, et sont elles mêmes traversées par les basaltes du tertiaire.

b) On peut distinguer dans la minéralisation de nombreuses phases.

- Quartz, fluorite, molybdène, arsénopyrite, wolframite, cassitérite, tourmaline. Ces minéralisations se localisent à proximité du granite et sont recoupées par les deux systèmes de veines suivant :
- quartz, galène, blende, bornite, chalcopyrite dans des filons à tendance Nord-Est.
- quartz, calcite, ankérite, fluorite, skuttérûdite, rammelsbergite, safflorite, löllingite, argent natif, bismuth natif, arsenic natif, proustite, réalgar, argentite, bismuthinite, pyrite, blende, galène, chalcopyrite, arsénopyrite (filons Nord à Nord Ouest).

Le mercure est absent de la paragénèse.

c) Le lien des minéralisations avec les sédiments semble ténu.

Le caractère géochimique tranché des paragénèses à bismuth - cobalt - nickel - argent (et minéraux uranifères accessoires) permet de définir la formation dite Bi - Co - Ni (Ag - U).

Le gisement est rattaché par Mr. BAUCHAU au type 11 à sidérose.

Une origine génétique semble difficile à établir, mais le lien de la minéralisation avec le granite tardi-varisque est généralement admis.

5 - <u>COBALT (ONTARIO - CANADA)</u> :

a) La stratigraphie des terrains dans lesquels s'inscrit la minéralisation de cobalt est donnée dans le tableau ci-après traduit de BOYLE.

Discontinuité majeure

Paléozoïque

Silurien et Ordovicien : Dolomite, calcaire, shales

Discontinuité majeure

Précambrien

KEWEENAWAN
- Diabases à olivine en dykes
  contact intrusif
- Sills de Nipissing diabase
  contact intrusif

HURONIEN
- Lorrain Formation — quartzites, arkoses
- Firstbrook Formation — grauwakes
- Coleman Formation — conglomérats, grauwakes quartzites

Discontinuité majeure

MATACHEWAN
- Roches intrusives, mélanocrates

ALGOMAN
- Granite, gneiss granitisés

HAILEYBURIAN
- Lamprophyres intrusifs

TIMISKAMING
- Conglomérats, grauwakes, quartzites.

Discontinuité majeure

KEEWATIN
- Roches sédimentaires litées
- Coulées de laves acides
- Coulées de laves basiques et intermédiaires interstratifiées dans les sédiments.

Les dépôts minéralisés se rencontrent :

- dans le Huronien
- dans le Nipissing diabase
- dans le Keewatin

Les veines sont courtes et ramifiées.

Un lien très net apparait avec les failles mineures (THOMSON 1957) contrôlées par les structures anciennes du KEEWATIN, les contacts lithologiques et les bassins de la NIPISSING diabase.

b) L'assemblage des minéraux est complexe : on rencontre

- Calcite rose ou blanche, dolomite, quartz, hématite.
- argent natif, dyscrase, argentite, smaltite, löllingite, safflorite, skutterudite, arsénopyrite, gerstdorfitte, cobaltite, miccolite, chalcopyrite, galène, pyrite, pyrrhotite, blende, tétraédrite, bismuth natif, pentlandite, polybasite, argents rouges, stromeyerite.

L'argent natif et le dyscrase contiennent du mercure.

Il semble y avoir une association de l'argent avec les arséniures de cobalt et de nickel. En effet, le long des diabases (PETRUK, H.A. MOORE et DW ATCHISON 1972) se manifeste une zonalité. On rencontre à une extrémité de la veine des arséniures de nickel; à l'autre des arséniures de fer. Dans la partie médiane des arséniures de cobalt - Les plus hautes concentrations en argent se trouvent dans la zone à nickel-cobalt, des teneurs plus faibles apparaissent dans les zones à cobalt et à cobalt-fer, les teneurs réduites se rencontrent dans les zones à fer et à nickel.

c) L'origine des minéralisations est controversée; les principales hypothèses génétiques émises font intervenir comme source :

- les diabases.
- une source profonde de composition plus acide que celle de la NIPISSING diabase.
- une différenciation d'un magma tholéitique en profondeur (SAMPSON and HRISKEVICH 1957).

b) Les principaux minéraux rencontrés sont

- argent natif, argentite, tétraédrite argentifère, galène argentifère, proustite, pyrargyrite - éventuellement dyscrase.
- blende, chalcopyrite, pyrite, galène.
- minéraux de cobalt et de nickel.
- localement, on peut rencontrer la cassitérite et le bismuth natif. Le mercure est parfois lié à l'argent (Kongsberg-cobalt).
- les minéraux de gangue sont calcite, sidérite, dolomite, quartz.

c) Le spectre géochimique se caractérise par des éléments

- à forte teneur : Pb, Zn, Cu, Ag, Fe, Mn, Mg, Sb, As, S
- à moyenne teneur : Ba, Sn, Au, Co, Ni, Bi,Se, Te, Zn, Cd
- à faible teneur ou absents : W, U.

2 - LES HYPOTHESES GENETIQUES :

Les sources possibles des minéralisations pourraient être =

+ des différenciations d'un magma granitique. Toutefois, dans certains cas, on ne peut mettre en évidence de lien avec un granite, ou même trouver de granite à proximité. De plus, les minéralisations sont souvent post-granitiques.

+ Des exhalaisons à partir de magmas diabasiques.
Pourtant, la présence de diabases n'est pas générale. (KONGSBERG), et les minéralisations recoupent parfois les filons de roches intrusives.

+ Des remobilisations d'éléments contenus sous forme de préconcentrations géochimiques dans des sédiments du type black-shales, sous l'effet thermique soit des intrusions diabasiques, soit du métamorphisme de contact lié aux granites intrusifs.

- une remobilisation des teneurs géochimiques élevées contenues dans les schistes pyriteux des différentes séries sédimentaires, sous l'effet des intrusions magmatiques successives.

B - *Principales caractéristiques et interprétations génétiques des gisement d'argent filoniens à encaissant sédimentaire* -

Si on analyse les différents gisements décrits, un certain nombre de traits ressortent, ainsi que trois interprétations génétiques principales.

1 - Les caractéristiques communes.

a). Les gisements étudiés sont généralement à plomb-zinc dominant et présentent des teneurs élevées en argent.

. L'encaissant, fréquemment une série sédimentaire précambrienne, a subi un métamorphisme léger, et renferme des niveaux pyriteux ou riches en matière organique.

. La série est souvent recoupée par des dykes porphyriques, des diabases, ou des sills plus ou moins basiques.

. On rencontre parfois à proximité des gisements, des pointements granitiques ou granodioritiques intrusifs, dont la mise en place et éventuellement la consolidation ont précédé la minéralisation.

. Le contrôle de l'enrichissement est essentiellement tectonique.

Les structures filoniennes en stockwerk sont guidées par des fractures ou des zones broyées.

Un contrôle physico-chimique, lié à la présence de bancs pyriteux ou riches en matière organique (fahlbande) détermine parfois des concentrations en colonnes riches.

Des analyses géochimiques effectuées par BOYLE sur les formations de Cobalt semblent indiquer que les schistes noirs du Keewatin pourraient renfermer originellement un stock métal important. Par comparaison, les fonds géochimique de la Nipissing diabase paraissent faibles.

All values in parts per million except where noted
NF — not found
ND — not determined

Description of Samples	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Bi	Ag	As	Sb	S	Au
Composite sample of Keewatin greenstone, South Lorrain area	330	<5	95	130	67	NF	0.30	15	2.5	1,700	ND
Composite sample of Keewatin greenstone, Cobalt area	120	<5	215	105	69	NF	0.19	2	0.5	775	ND
Composite sample of Cobalt conglomerate and greywacke, Cobalt area	20	<5	20	60	25	NF	<0.05	<2	<1	180	ND
Nipissing diabase: average values computed from 36 samples from drill-hole through diabase, Henwood twp., Cobalt area	83	<2	70	128	40	<0.05	0.11	<2	<1	590	ND
Composite sample of Keewatin black pyritiferous slate, schist and greywacke, Cobalt area	420	75	2,400	160	74	0.83	0.83	140	12.5	~6%	ND
Sulphides (mainly pyrite with some pyrrhotite, chalcopyrite, etc.) separated from above sample	750	200	4,400	570	217	NF	5.7	1,150	46	ND	0.128
Sulphides (mainly pyrite and pyrrhotite) separated from Keewatin greenstone, South Lorrain area	ND	ND	ND	1,500	3,000	NF	7	ND	ND	ND	ND
Composite sample of black pyritiferous slate, schist, greywacke, tuff, etc. Yellowknife area (range in ppm)	<5—400	<5—20	10—1,600	10—110	<5—110	ND	0.33—1.6	<5—15	<1—1.0	~5%	0.01—0.07

Gold analyses by Mines Branch, Ottawa; other analyses by Geochemical laboratories, Geological Survey of Canada

Tableau extrait de BOYLE.R.W. The geochemistry of silver and its deposits.

En dehors des zones minières, certaines fahlbandes se caractérisent par la présence de minéraux sulfurés (galène, blende, chalcopyrite) d'origine vraisemblablement synsédimentaire (KONGSBERG).

De plus, la présence fréquente du graphite associé aux minéralisations vient étayer l'hypothèse d'une remobilisation.

Les sédiments fourniraient nickel, cobalt, arsenic, argent, bismuth, soufre, les diabases ajouteraient à la paragénèse du cobalt et du nickel, l'effet thermique d'une intrusion engendrerait ainsi des concentrations par diffusion à travers des solutions.

C - *IMITER et les différentes hypothèses génétiques* -

1 - Le lien avec les massifs d'IGOUDRANE et du TAOUSACHT :

Les massifs granodioritiques du TAOUSACHT et d'IGOUDRANE pourraient être invoqués comme source des minéralisations d'IMITER.

La présence d'étain dans les travaux anciens de la borne 8, proches du Taousacht, à des teneurs géochimiques élevées (200 ppm), les concentrations enregistrées pour le cuivre et le molybdène dans les travaux de la borne 3 (700 ppm, 200-600 ppm) et la découverte du mercure (en amalgame avec l'argent) dans la paragénèse du tas A tendraient à indiquer un lien avec les intrusions granodioritiques - La zonalité ébauchée à l'échelle du champ semble caractéristique du type 7 de Mrs PELISSONNIER - BAUCHAU (gisements filoniens en liaison avec des intrusions tardi-orogéniques, subvolcaniques, acides à neutres à (Cu) Pb, Zn,Ag, riches en As et Sb).

Les spectres géochimiques se rapprochent fortement.

Toutefois, la nature des associations géochimiques observées à IMITER reste douteuse car nos observations se rapportent surtout à des zones oxydées - Le caractère hypogène ou supergène des spectres est souvent difficile à établir.

D'autre part, les altérations hydrothermales ne sont pas très intenses.

Enfin, les minéralisations peuvent être datées post ou syn P II - III terminal - Les massifs granodioritiques sont anté P II - III, vraisemblablement tardi P II.

Il semble donc qu'à l'époque où s'est déposée la minéralisation, les massifs d'IGOUDRANE et du TAOUSACHT aient déjà été consolidés.

L'hypothèse d'un lien avec les pointements granodioritiques du P II semble donc peu probable.

2 - Le lien avec les sédiments du P II :

La série schisto-gréseuse du P II renferme des schistes pyriteux riches en matière organique.

Peut-on envisager une origine de la minéralisation par remobilisation d'éléments en préconcentrations géochimiques synsédimentaires dans ces niveaux ?

. Les formations pyriteuses n'existent que dans le P II, et on n'en trouve pas de forme équivalente dans le P II - III. Or les formations du P II - III renferment des concentrations argentifères.

On peut cependant lever cette contradiction en invoquant des phénomènes de transport après remobilisation thermique, soit verticaux (à partir de niveaux schisteux situés sous les formations du P II - III) soit latéraux (à partir du P II affleurant).

Dans ce cas, les spectres géochimiques des minéralisations du P II - III devraient être moins intenses (surtout pour des éléments tels que le cuivre, le molybdène et l'étain) que ceux du P II dont ils seraient, en quelque sorte, une émanation.

Or, le spectre géochimique des minéralisations du Tas A est nettement moins riche que celui des travaux de la borne 8 ou de la borne 3.

. D'autre part, aucune observation ne met en évidence l'existence, au sein des couches pyriteuses, de minéraux d'origine synsédimentaire autres que la pyrite.

Les teneurs en argent enregistrées par J. SKACEL dans les schistes varient entre 1 et 20 ppm sans qu'une corrélation lithologique des résultats ressorte de cette étude.

Il n'est donc pas possible de déterminer si les anomalies géochimiques associées aux couches de schistes pyriteux sont liées à des minéralisations synsédimentaires ou à des phénomènes épigénétiques.

De ce fait, l'existence d'un stock géochimique initial reste problématique.

. Enfin, le métamorphisme de contact ne peut être considéré comme le moteur de la remobilisation.

Les lits pyriteux semblent avoir subi un remaniement lors du métamorphisme. Toutefois, les minéralisations recoupent parfois les filons pyriteux.

De plus, la présence de galets de schistes à andalousites dans les conglomérats du P II - III permet de situer le métamorphisme anté P II - III. Or des minéralisations argentifères se rencontrent dans le P II - III.

Les minéralisations argentifères d'IMITER sont donc postérieures au métamorphisme.

Toutefois, on peut invoquer l'échauffement provoqué par l'intrusion des dykes traversant le P II et le P II - III comme un mécanisme possible de la reconcentration.

Si l'hypothèse génétique d'une remobilisation de concentrations géochimiques à partir des lits pyriteux par effet thermique reste douteuse, l'influence de ces "fahlbandes" sur l'enrichissement est nette dans le P II :

Un effet physico-chimique conditionne la formation de colonnes riches à l'intersection de fractures de direction Nord-Sud et des couches de schistes pyriteux.

3 - Le lien avec les dykes :

- Une liaison génétique entre les minéralisations d'IMITER, et les dykes traversant les formations du P II et du P II III est envisageable.

- . Les dykes - kératophyres dérivant de trachytes, ou andésites -pourraient s'être formés à la même époque que les minéralisations. Toutefois, cette hypothèse n'a pu être démontrée.
  . Le faciès en échelons selon les directions Sud-Nord et Est-Ouest qui caractérise le tracé des dykes répond à la morphologie des concentrations argentifères en arêtes de poisson se développant au Sud d'une dorsale de direction Est-Ouest.
  . Enfin, des anciens travaux se localisent aux épontes de certains dykes.

- . Toutefois, des concentrations argentifères peuvent exister sans que l'on rencontre de dyke affleurant à proximité.
  . De plus, les dykes ne semblent pas présenter d'anomalies géochimiques nettes en argent. Toutefois les résultats dont nous disposons sont très lacunaires.

- . Une étude approfondie des roches filoniennes d'IMITER sous l'angle de la pétrographie et de la géochimie pourrait s'avérer utile. Cependant, l'influence de ces roches sur la fracturation et leur lien spatial avec d'anciens travaux permettent de penser qu'elles ont pu servir de structures-guides à défaut de représenter la source même de la minéralisation.

D - CONCLUSION -

. Si aucune hypothèse génétique tranchée ne peut être formulée sur le gisement d'IMITER, les analogies relevées sur le plan de la pétrographie, du contrôle, de la minéralogie et de la géochimie permettent de rattacher ce gisement au type 11 de Mrs PELISSONNIER-BAUCHAU : gisements à plomb-zinc - argent-sidérose.

. Un passage vers le type 7 (gisements filoniens ou en amas en liaison avec des intrusions subvolcaniques tardi-orogéniques acides à neutre à (Cu) Pb, Zn, Ag riches en As et Sb) ne peut être exclu en raison de la richesse du spectre géochimique en arsenic et en antimoine, et de l'environnement géologique (massifs granodioritiques d'IGOUDRANE et du TAOUSACHT, dykes de keratophyres).

. Des relations avec le type 12 (gisements à mispickel ou à pyrrhotite et or - type Salsigne), semblent probables, en raison de la présence du cobalt, du nickel et accessoirement du bismuth, dans le spectre géochimique.

Un passage du type 11 au type 12 pourrait s'effectuer selon la zonalité verticale, dans la mesure où dans certains gisements du type 11, les éléments mineurs, or et bismuth, augmentent avec la profondeur. Toutefois, le passage au type 12 s'effectue aussi latéralement (Salsigne), et les prolongements de certains filons d'IMITER pourraient receler de faibles teneurs en or.

Un échantillon prelevé sur un chapeau de fer à l'Ouest du tas A a accusé des teneurs en or de 9 grammes/tonne au spectrographe, mais ce résultat n'a pu être confirmé. Un échantillonnage géochimique des filons en dehors de la zone centrale des travaux pourrait se réveler intéressant.

II - UN GÎTE VOISIN D'IMITER : ZGOUNDER -

Le gisement d'IMITER présente des analogies nombreuses avec un autre gisement ancien du Sud marocain : ZGOUNDER.

Le gîte de ZGOUNDER se situe dans l'Anti-Atlas, sur le flanc occidental du DJEBEL SIROUA à une dizaine de kilomètres au Nord Est d'ASKAOUN.

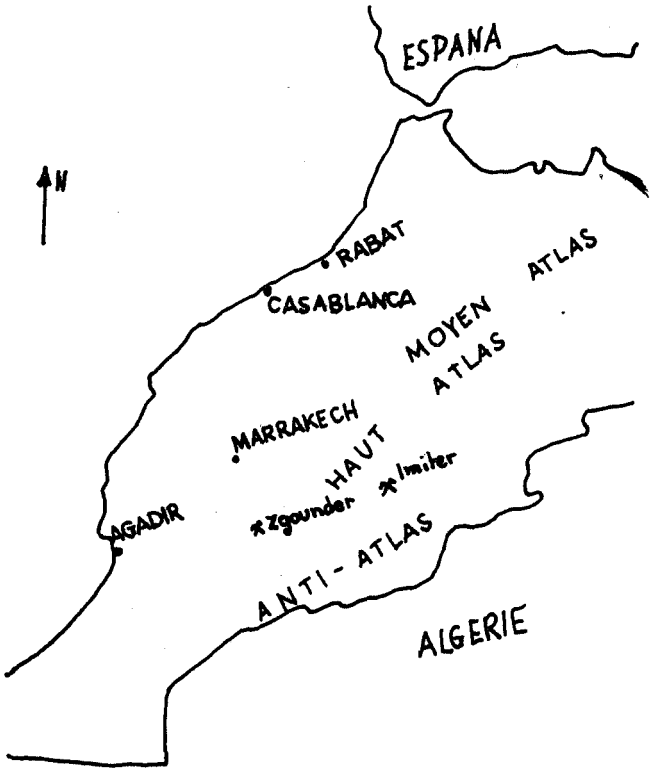


Figure IX-1 - plan de situation d'IMITER et ZGOUNDER

Le gisement remonte à l'époque ALMOHADE : une mine d'argent est mentionnée sur ce sîte dès le 10ème siècle - A l'heure actuelle, des activités de recherche se poursuivent par à coups sans que des conclusions définitives aient pu être tirées (SACEM -BRPM).

Le gisement est encaissé dans une série précambrienne dite série de ZGOUNDER, à caractère volcanique et sédimentaire étudiée par M. DEMANGE (1973), ressemblant à la série d'IMITER.

De plus, des analogies se font jour, du point de vue de la minéralogie, et des contrôles structuraux.

A - *Le cadre géologique.*

1) La série volcanique et sédimentaire dans laquelle s'encaissent les minéralisations de ZGOUNDER est rapportée au précambrien II-III (M. DEMANGE).

La partie sédimentaire présente les caractéristiques des turbidites distales ainsi qu'à IMITER. Des lits de schistes pyriteux jalonnent la série.

Les manifestations volcaniques sont plus nombreuses qu'à IMITER : essentiellement ignimbrites appartenant à une série spilite-kératophyre dérivée d'une série high-alumina à affinité tholéitique, riche en titane.

Cette série, redressée et plissée en des structures d'axe Est Ouest (70 à 80°N) est recoupée par des filons de dolérites intrusives de caractère tholéitique.

2) Les filons de roches intrusives se caracterisent par une direction Est-Ouest représentée par un sill discontinu qui constitue un encaissant du gisement, et par des directions Nord-Sud. Les filons de direction Nord-Sud, de puissance métrique recoupent la plupart des formations, y compris le sill précédent - Toutefois, les analogies pétrographiques entre les roches appartenant aux deux systèmes sont très grandes.

3) Un massif granodioritique dit "granite d'ASKAOUN",tardi P II-III, donc tardi série de ZGOUNDERdéveloppe un métamorphisme de contact et des actions hydrothermales.

Cette granodiorite, située à 1,5 km à l'Ouest du gisement pourrait oonstituer une apophyse du pluton de l'OUEZELLARH.

Les caractéristiques pétrographiques du granite d'ASKAOUN sont proches de celles des granodiorites d'IGOUDRANE et du TAOUSACHT.

4) Une série du P III, volcano sédimentaire de type alcalin surmonte en discordance la série de ZGOUNDER.

Cette série n'est pas minéralisée.

5) Les principales directions tectoniques représentées à ZGOUNDER sont :

- Nord-Sud accompagnées de zones broyées et de roches filoniennes.
- N 150° 60° E et N 60° 60°N
- N 110° 70° E et N 10° 60°E

  que l'on rencontre dans les travaux miniers.

- Est Ouest, tardives, décalant les fractures Nord-Sud.

6) Ainsi, une grande ressemblance dans le contexte géologique se manifeste entre IMITER et ZGOUNDER Toutefois, la série schisto-gréseuse d'IMITER semble se rattacher au P II, alors que celle de ZGOUNDER est attribuée au P II - III. L'incertitude sur les âges des séries anciennes, et les analogies de faciès tendent cependant à raporter les deux séries à une même époque. Une étude plus fine serait souhaitable en vue de lever ou de confirmer cette différence de datation.

B - *Les contrôles*.

1) Les minéralisations argentifères de ZGOUNDER se rencontrent dans des sîtes largement contrôlés par les éléments structuraux. Elles se présentent sous forme de poches entourées par un encaissant à peu près stérile, que l'on peut localiser.

- au contact des dolérites et des sédiments en amas discontinus.
- au contact des rhyolites et des sédiments.
- dans les sédiments situés sous les dolérites, en poches séparées par des roches stériles, mais en alignement sur une structure de direction Est-Ouest.
- dans les sédiments en relation avec des failles de direction Est-Ouest.
- dans les sédiments et les dolérites en relation avec des failles de direction Nord-Sud.

La forme rectangulaire de certaines poches minéralisées, que l'on retrouve à échelle microscopique dans les sections polies tend à rapprocher les zones enrichies de ZGOUNDER des colonnes minéralisées du P II d'IMITER.

2) D'autre part le contrôle physico-chimique par lits pyriteux (fahlbandes) semble exister à ZGOUNDER).

C - *La minéralogie* -

Les études minéralogiques menées par W. PETRUK à ZGOUNDER font ressortir une parenté étroite avec les paragénèses observées à IMITER.

Les minéraux des gangues sont essentiellement :

Quartz, dolomite, chlorite, sidérite, leucoxènes ainsi qu'à IMITER. On peut cependant noter la présence du graphite à ZGOUNDER.

L'argent natif semble concentré dans des failles de direction Nord Sud, mais des minéraux argentifères se rencontrent en association avec des sulfures de direction Est Ouest.

Les principales associations minéralogiques sont :

- pyrite isolée synsédimentaire ou remobilisée.
- pyrite et argent natif amalgamé au mercure (cf. Tas A'IMITER).
- blende, galène, pyrite, chalcopyrite, cuivre gris, argentite, minéraux à cuivre, argent, antimoine, non déterminés à ZGOUNDER en raison de leur faible taille (0,1μ) mais qui pourraient se rapprocher de la freibergite très argentifère mise en évidence dans les travaux du tas A à IMITER.
- blende, galène, chalcopyrite, cuivre gris, pyrite, argent natif, pearceite, argentite.
- sulfures d'argent (argentite, pearcite) et sulfoarséniures ou sulfoantimoniures d'argent (pyrargyrite et proustite).
- argent natif en feuilles.
- La pyrrhotite est très rare. Le mispickel se rencontre à proximité des dolérites.

D - *Conclusions* -

Des informations sur les spectres géochimiques des minéralisations de ZGOUNDER n'ont pu être obtenues.

Toutefois, les analogies entre les gisements d'IMITER et ZGOUNDER sont flagrantes.

Une recherche en parallèle pourrait être menée sur ces deux gisements selon des méthodes ayant fait leurs preuves dans l'un ou l'autre cas (sondages percutants, études géochimiques). Une même genèse peut être envisagée, ainsi qu'un même type : le type 11 de Mrs PELISSONNIER - BAUCHAU avec éventuelle ouverture sur le type 12.

- BIBLIOGRAPHIE -

-=-=-=-=-=-=-

PARTIE I -

CHOUBERT G. (1952 a) Géologie du Maroc : Histoire géologique du domaine de l'Anti Atlas-
Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc n°100.

CHOUBERT G (1963)- Histoire géologique du Précambrien de l'Anti Atlas (tome1)
Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc n°162.

CHOUBERT G (1967)- Divisions du Précambrien, en particulier dans l'Anti-Atlas.
C.R. Somm. Soc. Géol. Fr. 17 avr, 4,pp. 129-131.

CHOUBERT G et FAURE MURET A (1970) Colloque international sur les corrélations du Précambrien - livret guide -
Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc n°229.

COLLOQUE INTERNATIONAL sur les corrélations du Précambrien (1972)
Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc n° 236.

DECHOMETS R, ELSASS P, KERJEAN M, et al (1972)- Recherche des possibilités minières du Djebel Sarho Central entre Boumalne et Nekob - Anti Atlas - Maroc.
Rapp. P.N.U.D. Etude des ressources minérales de l'Anti Atlas (inédit).

ELSASS P (1973) - Analyse tectonique du Graben de Tagmout Tine Ouayour
Rapp. Centre de Géol. Min, Ecole des Mines de Paris

ELSASS P - Gîtes stratiformes de cuivre de l'Anti-Atlas marocain
Thèse Docteur Ingénieur Paris VI 1975.

HINDERMEYER J. - (inédit) Etude du Djebel Sarho.

SEBBAG I (1968) - Les minéralisations en Cu, Pb, Mn, Au, Ag, du Sarho oriental et leur cadre géologique - Serv. Et. Gîtes Mine. Ouarzazate rapp n° 9 - 106p. inédit.

WALKER (1967) - Turbidite sedimentary Structures and their relationship to proximal and distal depositional environment - journal of sedimentary petrology vol 37, n° 1, p 25-43,fig 1-11.

LE GISEMENT D'IMITER -

AMADE E, (JUIN 1959) : Etude du gîte argentifère d'Imiter (Djebel Sarhro). BRPM Cl. 431-17, Ga 1,01.

AMADE E, (AVRIL 1961): Programme de recherches sur le gisement d'IMITER. BRPM, CL. 413-17 Ga 2, 02.

AMADE E, (MAI 1961) : Le gîte argentifère d'IMITER (Djebel Sarho) BRPM, Cl. 413-17, Ga 1, 02.

AMADE E, (MARS 1963) : Bilan des travaux effectués sur le champ filonien d'IMITER (Djebel Sarho). BRPM-Cl. 431-17, Ga 3, 01.

AMADE E, (OCTOBRE 1964) : Bilan provisoire de l'échantillonnage des haldes D'IMITER. BRPM, Cl. 431-17, Ga 3, 02.

RUDOLPH P (JUIN 1964) : Rapport final des travaux sur la campagne d'échantillonnage à IMITER. BRPM, Cl. 431-17, Ga 1,06.

SKACEL J (AVRIL 1974) : Explorations géologiques sur le gîte argentifère d'IMITER (Djebel Sarho) BRPM Cl. 431-17, Ga 1, 07.

SMEYKAL S (OCTOBRE 1964): Etude microscopique de la minéralisation du gîte argentifère d'IMITER (Djebel Sarho). BRPM Cl. 431-17, Ga 1,04.

SMEYKAL S (FEVRIER 1967): Bilan définitif des réserves des haldes argentifères à IMITER. Etude microscopique de la minéralisation argentifère - Cl. 431-17 Ga 3, 03.

SMEYKAL S (OCTOBRE 1967): Programme de travaux à réaliser sur les gîtes argentifèfères d'IMITER - BRPM. 431-17, Ga 2, 08.

SMEYKAL S (MARS 1967) : Valorisation des haldes argentifères d'IMITER Note n°275 Cl. 431-17.

METALLOGENIE -

BAUCHAU C - (1971) - Essai de typologie quantitative des gisements de Pb-Zn avec la répartition de l'argent. Thèse à la faculté des sciences de Lausanne- BRGM Orléans 1971.

BAUMANN (1967) - Sur le problème de la minéralisation hercynienne et post hercynienne dans l'Erzgebirge, Saxe (R.D.A). Freiberger Forschungshefte ,C 209, Leipzig 1967 ,pp. 15-38.

BOYLE RW (1968) - The geochemistry of silver and its deposits with notes on geochemical prospecting for the element Geol Sur. Canada Bull. 1968 num. 160 p. 1-264.

J. CHRT, H BOLDUAN et al. (1968) Relations spatio-temporelles de la minéralisation endogène du massif de Bohème avec le magmatisme et la tectonique cassante. Zeitschrift für angewandte Geologie, vol 14 Jull. 1968, fasc. 7.

COOKE HC (1913) - Secondary enrichment of silver ores - J. Geol - Chicago, vol 21.

DEMANGE M. (1972) - Typologie et dimensions des gisements plombo-zincifères français. Thèse de Docteur Ingénieur - Paris Sud Centre d'Orsay. 1972.

DEMANGE M. (1973) - Le cadre géologique du gisement argentifère de ZGOUNDER. Centre de Géol. Min. Ecole des Mines de paris 1973.

GARRELS R.M. (1960) Mineral equilibra at low temperature and pression - New York - Harper ed (Harper's geoscience series) 1 vol. 254 p.

LAUNAY L (de) (1913) - Traité de Métallogénie - gîtes minéraux et métallifères. C. Béranger, Paris et Liège, 3 vol.

PELISSONNNIER H (1972) - Les dimensions des gisements de cuivre du monde. Mémoires BRGM n° 57.

PELISSONNIER H (1956) - Essai d'interprétation tectonique du champ filonien de Chibraz près Taouz (Maroc).
Annales des Mines. Déc 1956 p 25-40.

PELISSONNIER H (1975) - Tectonique cassante et minéralisations. Centre géol. Min. Mines de Paris.

PETRUK (1974) - Minéralogie, géologie et enrichissement minéral du gîte de ZGOUNDER au Maroc.
Rapport de recherches inédit.

ROUTHIER P (1963) - Les gisements métallifères - géologie et principes de recherche- 2 t. 1282 p. Masson S Cie - Paris.

K.A. VLASOV (1968) - Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits.
1968 - Translated from Russian - Published by the Israelian Service for Scientific Translations.

Précambrian géology and mineral deposits of the TIMAGAMI - COBALT - KIRKLAND-LAKE and TIMMINS region ONTARIO - guidebook.

Intern. geological congress 24 th Session - CANADA 1972.