



HAL
open science

Etude par spectrométrie de masse à étincelles de la répartition des éléments traces dans quelques gîtes alpins d'arsénopyrite

Robert Marie

► **To cite this version:**

Robert Marie. Etude par spectrométrie de masse à étincelles de la répartition des éléments traces dans quelques gîtes alpins d'arsénopyrite. *Minéralogie*. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1980. Français. NNT: . tel-00691231

HAL Id: tel-00691231

<https://theses.hal.science/tel-00691231>

Submitted on 25 Apr 2012

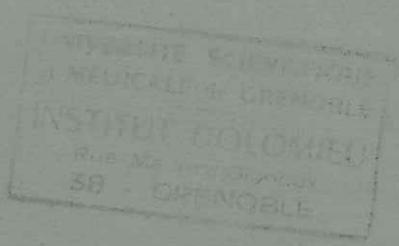
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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



MARIE (Robert)
per ex

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE



**ETUDE PAR SPECTROMETRIE DE MASSE
A ETINCELLES DE LA REPARTITION DES ELEMENTS
TRACES DANS QUELQUES GITES ALPINS
D' ARSENOPYRITE**

par Robert MARIE

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE
DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ
SPÉCIALITÉ : GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Soutenue le 27 JUIN 1980 devant la Commission d'examen :

- | | |
|-------------------|--------------|
| M. R. MICHEL | Président |
| M. H. DABROWSKI | } Examineurs |
| Mme A.M. ANDREANI | |
| M. M. SILVENT | |

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

**ETUDE PAR SPECTROMETRIE DE MASSE
A ETINCELLES DE LA REPARTITION DES ELEMENTS
TRACES DANS QUELQUES GITES ALPINS
D' ARSENOPYRITE**

par Robert MARIE

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE
DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ
SPÉCIALITÉ : GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Soutenue le 27 JUIN 1980 devant la Commission d'examen :

M. R. MICHEL	Président
M. H. DABROWSKI	} Examineurs
Mme A.M. ANDREANI	
M. M. SILVENT	

10082271

à P.A. POULAIN

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Gignoux
38 - GRENOBLE

10 JUIL 1980

Merci à Mesdames A.M. ANDREANI, F. GIORDANO

à Messieurs R. BOURGUILLOT, L. BURNOL,

A. CORNU, H. DABROWSKI, F. JAFFE, R. MICHEL,

M. SILVENT, ainsi qu'à CHRISTIANE et mes

parents.

<u>avant propos</u>	.....	1
<u>méthodes d'analyse</u>	.....	3
1.principe de l'appareil	.....	5
11.la source d'ions	.....	5
12.le système analyseur	.....	9
13.le détecteur	.....	9
2.analyse qualitative	.....	9
21.les différentes sortes d'ions.....		9
22.mode opératoire	.....	11
23.exemple	.....	11
24.calcul des teneurs	.....	11
3.préparation des échantillons	.....	13
31.le broyage	.....	13
32.le tri	.....	14
33.le pastillage	.....	14
4.critique de la méthode	.....	14
<u>Gitologie et géochimie</u>	.....	17
1.la mine de Salanfe	.....	21
11.historique	.....	21
12.les travaux	.....	21
13.le contexte géologique	.....	25
14.la minéralisation en arsénopyrite.....		25
15.résultats des analyses	.....	28
151.les arsénopyrites	.....	28
152.les biotites	.....	29
16.genèse du gisement	.....	30
2.la région nord-est du massif du Grand Arc..		37
21.le gisement de Saint Paul sur Isère....		37
211.historique	.....	37
212.les travaux	.....	37
213.le contexte géologique	.....	38
214.la minéralisation	.....	39
2141.microscopique	.....	39
2142.géométrie et extension.....		46
215.résultats des analyses	.....	47
2151.les arsénopyrites	.....	47
2152.les biotites	.....	49
2153.le problème du W	.....	51
2154.le problème de Au	.....	55
22.les indices de Tours sur Isère et de Saint Thomas	.....	65
221.l'indice de Tours sur Isère.....		65
222.l'indice de Saint Thomas	.....	65
223.résultats des analyses	.....	65
3.les indices de la chaîne des Huretières....		68
31.le filon de Noguillan	.....	68
32.l'indice du Clapier	.....	71
4.la mine des Chalanches	.....	75
41.historique	.....	75
42.géologie	.....	75
43.minéralisation	.....	78
5.les indices de l'Argentera	.....	82
51.l'indice du col Mercière	.....	82
52.l'indice de Slèse	.....	85
53.l'indice de Baraccone	.....	86
54.résultats des analyses	.....	86
<u>conclusion</u>	.....	92
bibliographie	.....	94

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

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

numéro	titre	page
fig.1	schéma de principe du SME.....	4
fig.2	photo du SME	7
fig.3	spectres d'arsénopyrite et de scheelite	8
tab.1	exemple partiel d'analyse qualitative d'un spectre d'arsénopyrite	12
fig.4	localisation des indices d'arsénopyrite	18
fig.5	schéma géologique de la région de Salanfe	20
fig.6	carte géologique de la mine de Salanfe	22
fig.7	dépilage Robert	23
fig.8	dépilage Robert	24
fig.9	dépilage Robert, coupe. Sections polies	26
tab.2	arsénopyrites de Salanfe, résultat des analyses	31
tab.3	biotites idem	32
tab.4	biotites, suite	33
tab.5	profil de répartition des lanthanides dans les biotites de Salanfe	34
tab.6	oligoclase et cipolin, résultat des analyses ...	35
fig.9	schéma géologique du nord du Grand Arc	36
fig.10	coupe AB	40
fig.11	sections polies de Saint Paul sur Isère	41
fig.12	photo aérienne de "	42
fig.13	rosace des linéaments d'après photo aérienne ..	43
fig.14	stéréogramme des pôles de plans de schistosité et de fracturation relevés en galerie	44
fig.15	schéma géologique du nord de Belledonne	45
tab.7	arsénopyrites de Saint Paul sur Isère	56
tab.6	" " " suite ...	57
tab.8	biotites " "	58
tab.9	biotites " " suite....	59
tab.10	granites de Belledonne, analyse des biotites....	60
tab.11	" " "	61
fig.17	profils de répartition des lanthanides dans les biotites des granites de Belledonne	62
fig.16	répartition des lanthanides dans une biotite de Saint Paul sur Isère	63
tab.12	scheelite de Saint Paul, résultat des analyses..	64
tab.13	arsénopyrite et biotite de Tours et Saint Thomas	67
fig.18	schéma géologique de la chaîne des Huretières..	69
fig.19	le filon de Noguillan	70
fig.20	arsénopyrites de Noguillan et du Clapier.....	73
fig.21	plan de la mine des Chalanches	76
fig.22	coupe "	77
tab.13	arsénopyrite des Chalanches, résultats.....	79
fig.23	position des indices de l'Argentera.....	81
fig.24	indices de Salèse et du col Mercière.....	83
fig.25	indice de Baraccone	84
tab.15	arsénopyrite de l'Argentera, résultats.....	88
tab.16	biotite " "	89
tab.17	quartz " "	90

1
A V A N T P R O P O S

L'étude géochimique par spectrométrie de masse à étincelles de paragéneses à arsénopyrite fait suite aux travaux sur les sidérites et les molybdénites effectués respectivement par R. LE SUAVE et M. VOISSET (23-34)

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Dolomieu et le service d'analyse physico-chimiques du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble.

Dans la première partie, nous exposons très brièvement le principe de la spectrométrie de masse à étincelles ainsi que le mode opératoire et la préparation des échantillons.

Dans la deuxième partie, nous décrivons les gîtes d'arsénopyrite étudiés. Les résultats des analyses et l'examen comparatif des teneurs des éléments trace font apparaître des anomalies géochimiques.

L'idée initiale était de préciser l'origine des minéralisations avec l'aide du profil de répartition des lanthanides dans les arsénopyrites et dans les biotites des intrusions granitiques proches ainsi que l'avait réalisé M. VOISSET pour les molybdénites. Malheureusement l'absence presque totale de lanthanides dans les arsénopyrites nous a amené à rechercher les corrélations possibles avec les autres éléments trace (moins de 1000 ppm). Leur nature ainsi que la comparaison de leurs teneurs nous renseignent parfois sur l'origine des minéralisations.

Des teneurs élevées en tungstène nous ont amené à la découverte de scheelite dans les gîtes de St Paul sur Isère et de Salanfe. Nous verrons que son analyse et le profil de répartition des lanthanides qu'elle contient nous permettent d'avancer une hypothèse métallogénique sur son origine. Enfin la fréquente association de l'arsénopyrite avec l'or nous a amené à poser le problème du mode de gisement de l'or.

METHODES D'ANALYSE

La spectrométrie de masse à étincelles est destinée à l'analyse élémentaire de traces dans des matériaux solides. Sans étalon on peut obtenir une analyse semi-quantitative simultanée de tous les éléments (Li à U) .

Son application à la géologie et plus particulièrement aux arsénopyrites nous permet d'inventorier les éléments trace et mineurs présents, et de relier leurs teneurs au contexte géologique.

Cette méthode ayant été décrite de façon détaillée (23 et 29) nous nous limiterons à une description succincte.

1 PRINCIPE DE L'APPAREIL

Un spectromètre de masse à étincelles comprend essentiellement 3 parties (fig. 1 et 2) .

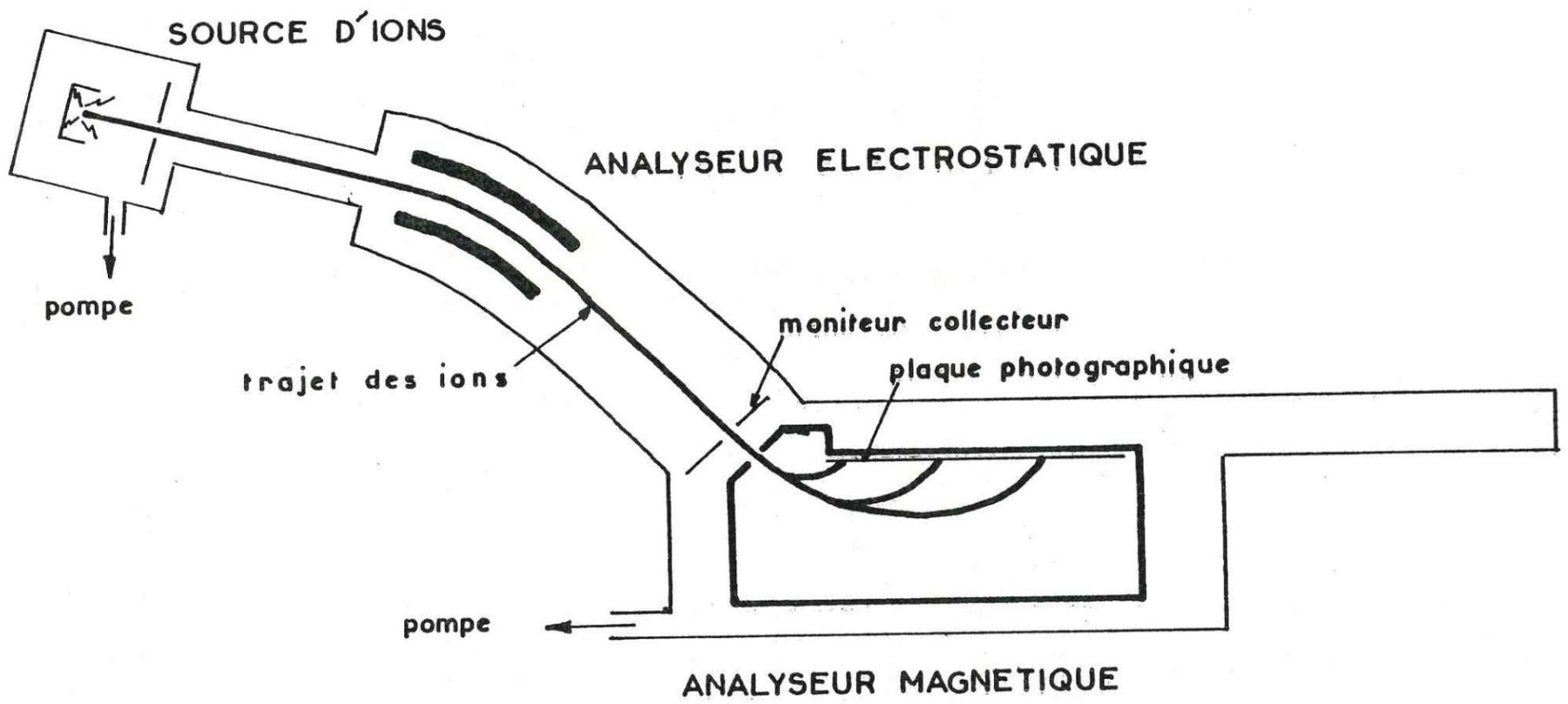
- une source à étincelles, qui fournit des ions représentatifs du matériau à analyser,
- un système analyseur, qui sépare les ions en fonction de leur rapport $\frac{M}{q}$ (M et q : masse et charge d'un ion),
- un détecteur photographique qui enregistre simultanément les différentes espèces d'ions.

11) La source d'ions

Une décharge électrique en régime d'étincelles à haute tension (réglable de 10 à 60 KV) et à haute fréquence (500 K H) ionise l'échantillon. On applique cette tension par trains d'impulsions de quelques microsecondes, avec un taux de répétition variable, entre deux électrodes conductrices distantes de quelques 0,1 mm, placées dans une enceinte où règne une pression inférieure à 10^{-7} Torr

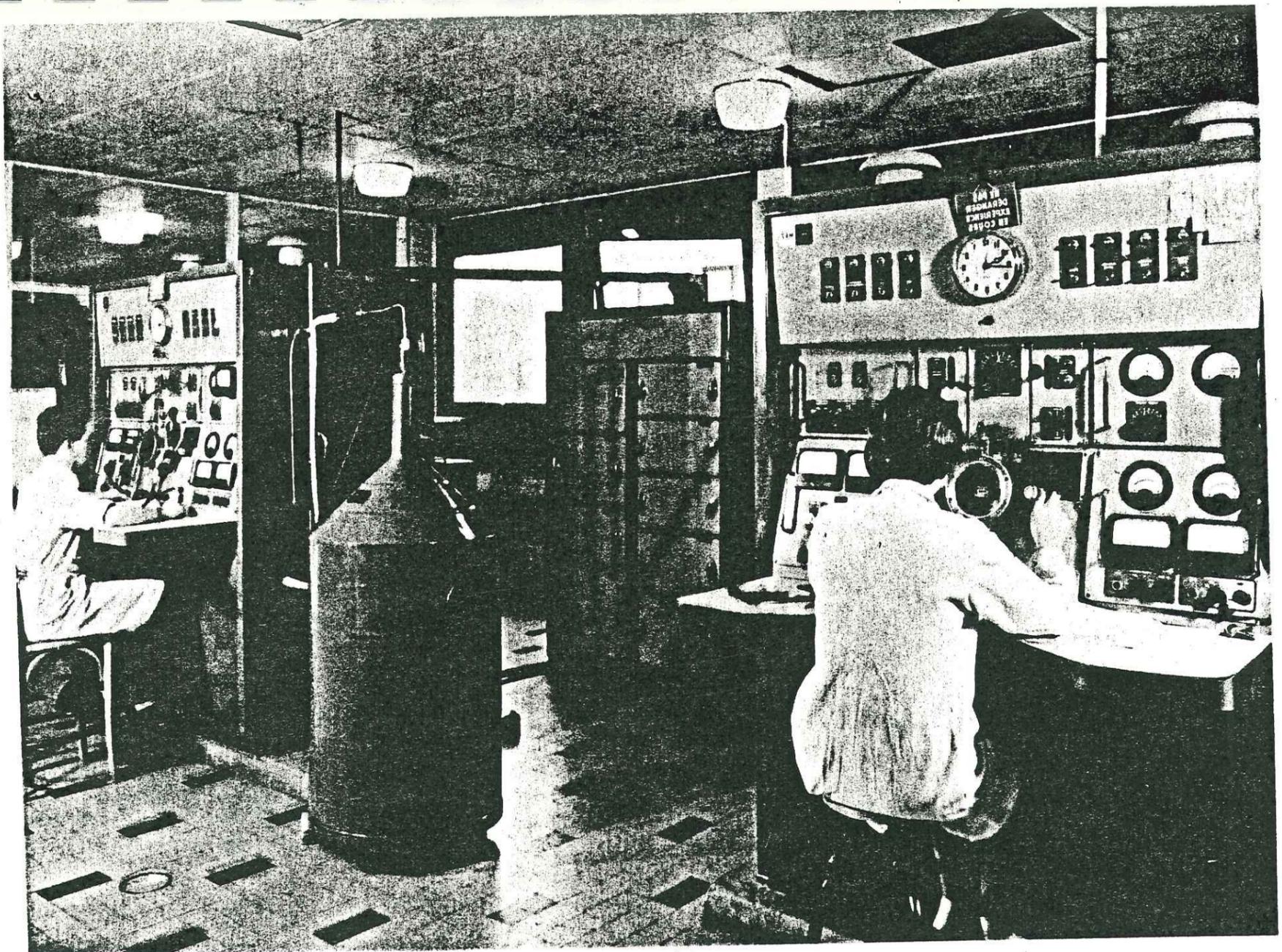
Les ions créés sont accélérés sous une tension de 25 KV vers le système analyseur.

Les électrodes, de petite taille, parallélépipédiques sont composées de la poudre à analyser compactée avec un liant conducteur.



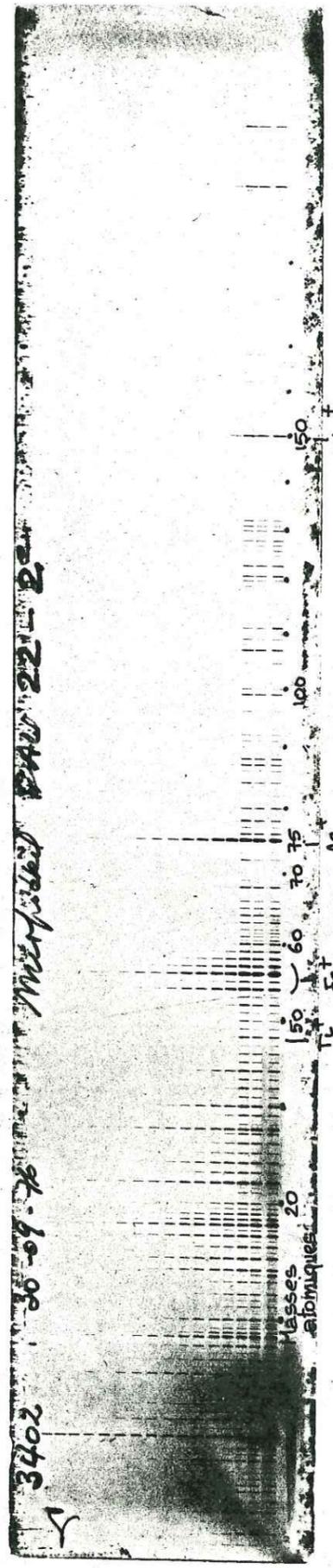
SCHEMA DE PRINCIPE DU
SPECTROMETRE DE MASSE A ETINCELLES

Fig 1

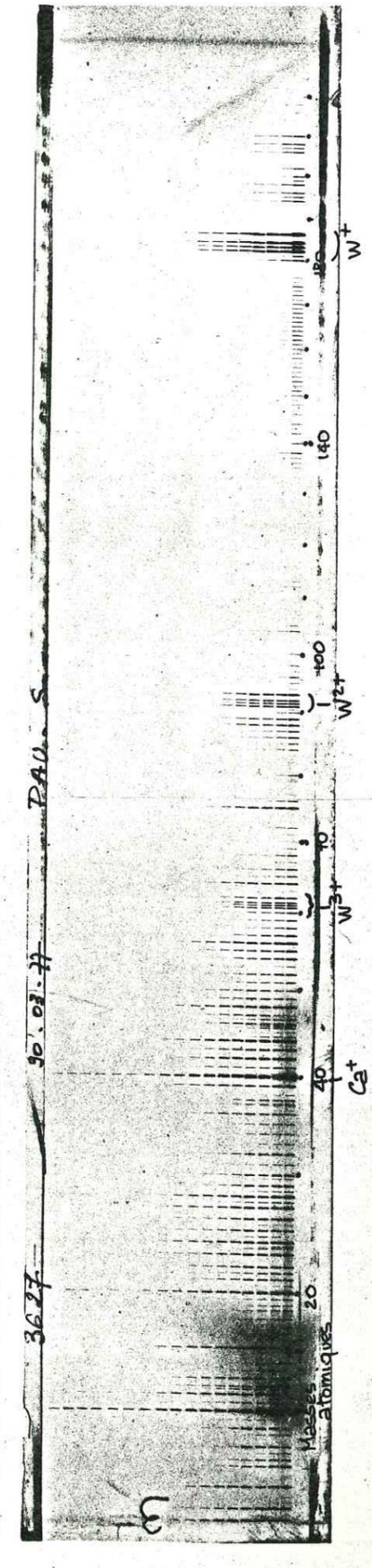


PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES

Arsénoxyrite de Saint Paul sur Isère :



Scheelite de Saint Paul sur Isère :



2 ANALYSE QUALITATIVE

21) Les différentes sortes d'ions

Les conditions d'ionisation dans l'étincelle sont très complexes et donnent naissance à plusieurs catégories d'ions :

211 - Les ions monochargés : par exemple le fer, élément matrice dans l'arsénoxyrite, possède 4 isotopes de masse = 54 , 56 , 57 , 58. Il apparaît à ces masses en donnant une raie saturée à la masse 56.

12) Le système analyseur

L'importante dispersion énergétique des ions émis nécessite une double focalisation. Elle est réalisée par l'optique de MATTAUCH et HERZOG, constituée d'un analyseur électrostatique et d'un analyseur magnétique (29) .

Une partie constante du faisceau d'ions est collectée et intégrée par le système moniteur - intégrateur situé entre l'analyseur électrostatique et l'analyseur magnétique, pour la mesure des expositions exprimée en nanocoulombs (n C b)

13) Le détecteur

Dans le plan image de l'optique de MATTAUCH et HERZOG est disposée une plaque photographique permettant d'intégrer les courants d'ions aléatoires émis par la source.

Le spectre ainsi obtenu est constitué par des raies dont la position est définie par $a = k \frac{M}{n}$ où M est la masse d'un élément, n le nombre de charges et k fonction de l'induction magnétique et de la tension d'accélération.

On enregistre 15 expositions d'intensités décroissantes de 100 à 10^{-4} n C b pour obtenir des raies mesurables à toute concentration. Le domaine de masse mesurable va généralement de 7 à 250 (fig. 3) .

212 - Les ions polychargés pour lesquels le rapport

$$\frac{\text{masse}}{\text{charge}} \text{ est égal à } \frac{m}{2}, \frac{m}{3}, \dots, \frac{m}{n}$$

Le fer apparaît donc également aux masses 27 ; 28 ; 28,5 ; 29 , en tant que Fe^{2+} mais à une teneur beaucoup plus faible.

213 - Les ions polyatomiques de formule générale A_n^+

Par exemple l'arsenic apparaît en tant que As_2^+ à la masse $2 \times 75 = 150$ (quelques ppm).

214 - Les ions de transfert résultant du choc d'ions polychargés avec des molécules résiduelles résultant d'un vide imparfait. Ces ions sont au niveau de quelques ppm.

215 - Les ions complexes formés par des associations. Il faut donc déterminer les associations les plus probables pouvant interférer avec les raies d'analyse. Elles peuvent se produire entre les éléments les plus abondants et les éléments les plus courants (C, H, O, ...). Ainsi dans une plaque d'arsénopyrite on peut avoir par exemple les associations suivantes :

SiO^+	aux masses apparentes	44 45 46
SO^+	"	48 49 50
SiC_2^+	"	52 53 54 55 56
FeC^+	"	66 67 68 69 70 71
AsSi^+	"	103 104 105
AsFe^+	"	129 131 132 133

Les teneurs des associations les plus abondantes peuvent aller jusqu'à une centaine de ppm. (Si O, Fe C, As Fe, SO,).

Les hydrocarbures ($\text{C}_x \text{H}_y$), toujours présents (quelques ppm), sont dus au résidu d'huile des pompes ; cependant le pouvoir de résolution de l'appareil permet de les séparer ; en effet ils sont toujours en léger excès de masse par rapport à l'élément susceptible d'être à la même raie.

22) Mode opératoire

Pour déterminer l'existence d'un élément on conjugue plusieurs méthodes :

- vérification de la présence de tous les isotopes et de leurs abondances.
- recherche des ions polychargés ; exemple : pour rechercher l'existence du fer aux masses 54 ; 56 ; 57 ; 58 ; on recherche la présence de Fe_2^+ aux masses 27 , 28 , 28,5 ; 29 . Or 27 est occupé par Al et 28 et 29 par Si, donc seule la raie 28,5 confirmera la présence du Fer.
- séparation lors d'une interférence entre deux raies de masse très voisines. L'utilisation du pouvoir de résolution du spectromètre permet parfois de lever l'interférence. Il est défini comme $R = \frac{M}{dM}$ avec $M =$ masse et $dM =$ différence entre les masses exactes des éléments interférants. Ce pouvoir de résolution varie de 2000 à la masse 30 à 4000 à la masse 200.

23) Exemple = dépouillement d'une plaque d'arsénopyrite (tab I)

24) Calcul des teneurs

R. LE SUAVE (23) et M. VOISSET (34) ont exposé le détail de la méthode de calcul des teneurs apparentes. Elle est uniquement comparative et comprend :

- la photométrie des raies qui donne les densités optiques en fonction des expositions.
- le tracé de la courbe de calibrage de la plaque photographique qui relie le noircissement des raies au nombre d'ions incidents et permet de transformer les densités optiques en intensités vraies (IV). Ces valeurs sont proportionnelles au nombre d'ions déposés sur la plaque.
- la détermination des teneurs des impuretés en ppm atomiques s'effectue en comparant leurs expositions à celles d'un élément de la matrice qui donneraient une même intensité vraie ; ce niveau est fixé à 40 IV par convention et la teneur de l'élément de référence est fixée à 10^6 ppm atomiques.

EXEMPLE PARTIEL D'ANALYSE QUALITATIVE D'UN SPECTRE
D'ARSENOPYRITE

tab.I

masse	ions	observations
23	$^{23}\text{Na}^+$ $^{46}\text{Ti}^{2+}$	
23,5	$^{47}\text{Ti}^{2+}$	Confirme la présence du Ti
24	$^{24}\text{Mg}^+$ $^{48}\text{Ti}^{2+}$	
24,5	$^{49}\text{Ti}^{2+}$	
25	$^{25}\text{Mg}^+$ $^{50}\text{Ti}^{2+}$ $^{50}\text{V}^{2+}$ $^{50}\text{Cr}^{2+}$ $^{75}\text{As}^{3+}$	
26	$^{26}\text{Mg}^+$ $^{52}\text{Cr}^{2+}$	
26,5	$^{53}\text{Cr}^{2+}$	Confirme la présence du Cr
27	$^{27}\text{Al}^+$ $^{54}\text{Fe}^{2+}$	
27,5	$^{55}\text{Mn}^{2+}$	Confirme la présence du Mn.
28	$^{28}\text{Si}^+$ $^{56}\text{Fe}^{2+}$ $^{118}\text{Sn}^{4+}$ CO^+ N_2^+	
29,75	$^{119}\text{Sn}^{4+}$	Confirme la présence du Sn
30	$^{30}\text{Si}^+$ $^{60}\text{Ni}^{2+}$ $^{120}\text{Sn}^{4+}$	
55	$^{55}\text{Mn}^+$ FeH^+	FeH en général négligeable devant l'abondance de Mn
56	$^{56}\text{Fe}^+$ $^{112}\text{Sn}^{2+}$	
57	$^{57}\text{Fe}^+$ $^{114}\text{Sn}^{2+}$ FeH^+	Raie de dosage du Fer.
57,5	$^{115}\text{Sn}^{2+}$	
58	$^{58}\text{Fe}^+$ $^{58}\text{Ni}^+$ $^{116}\text{Sn}^{2+}$	
58,5	$^{117}\text{Sn}^{2+}$	
60	$^{60}\text{Ni}^+$, $^{120}\text{Sn}^{2+}$, $^{180}\text{W}^{3+}$, $^{12}\text{C}^+$, AlS^+ , SiS^+	L'association SiS est présente. Si la résolution est < 3400 on ne peut pas doser Ni sur la raie 60.
60,5	$^{121}\text{Sb}^{2+}$	
62	$^{62}\text{Ni}^+$ $^{124}\text{Sn}^{2+}$ $^{186}\text{W}^{3+}$ SiS^+	SiS est généralement peu abondant. Il existe un triplet où Ni peut néanmoins être dosé si $R > 2500$

Le passage en ppm poids n'a pas pu être effectué faute du dosage précis des majeurs qui est à effectuer par ailleurs par des méthodes traditionnelles.

Nous avons choisi comme référence un élément majeur : le fer pour les arsénopyrites et les biotites, et le silicium pour les quartz. Nous avons pu vérifier que la teneur en Fe dans les arsénopyrites et en Si dans les biotites est constante dans les différents échantillons ; ceci nous permet de comparer directement les teneurs en impuretés à l'intérieur d'une même famille d'échantillons. Nous avons utilisé 46 éléments pour effectuer ces comparaisons, les autres étant inférieurs aux limites de détection.

3 PREPARATION DES ECHANTILLONS

Le choix de l'échantillon étant fait en tenant compte de sa représentativité géologique, il faut le conditionner pour en fabriquer 2 électrodes de 300 mg chacune. Ce conditionnement comprend 3 stades :

- le broyage,
- le tri,
- le pastillage.

Les techniques employées sont analogues à celles utilisées en géologie ; Cependant il faut prendre des précautions particulières : la très faible quantité d'échantillon analysée et les faibles teneurs recherchées (1 mg consommé lors de l'étincelage) implique d'une part une homogénéisation aussi parfaite que possible de la poudre constituant les électrodes et d'autre part une attention constante pour éviter toute pollution.

Pour les échantillons d'arsénopyrite, nous avons procédé comme suit :

3I) Le broyage

Il est effectué entre les mâchoires d'un étau recouvertes d'une forte épaisseur de papier filtre. Les morceaux recueillis sont tamisés et seul le refus du tamis 0, 160 mm est conservé. Cette fraction s'est avérée la meilleure pour concilier l'absence de

grains mixtes et une bonne séparation à la binoculaire.

Après un lavage à l'eau désionisée et un à l'acétone, la fraction est séchée à l'épiradiateur et triée.

32) Le tri

Il s'effectue par densité à l'aide de l'iodure de méthylène. La densité élevée de l'arsénopyrite (5,9 à 6,2) rend ce tri relativement aisé. Après un lavage à l'acétone et un séchage, un tri à la binoculaire est nécessaire pour obtenir une fraction d'arsénopyrite aussi pure que possible.

33) Le pastillage

Un broyage dans une pulvérisette à mortier en agate pendant 40 minutes environ donne une poudre qui peut alors être mélangée au liant. On a utilisé comme liant du graphite RWS dont un spectre a été préalablement effectué pour en contrôler la pureté.

Le plus grand soin a été apporté à l'homogénéisation du mélange graphite - poudre (50 - 50) réalisé à la main dans un mortier en agate, pour que l'ionisation des électrodes soit aussi régulier que possible. La poudre obtenue est ensuite introduite dans le moule à électrodes et compactée sous vide à une pression de 1.5 t/cm² pendant 10 minutes.

Nous avons donc insisté sur la pureté de la poudre à analyser. Cependant, l'examen des sections polies associées aux échantillons nous permet de déceler les inclusions possibles microscopiques et non triables d'autres minéraux apportant des impuretés sur le spectre.

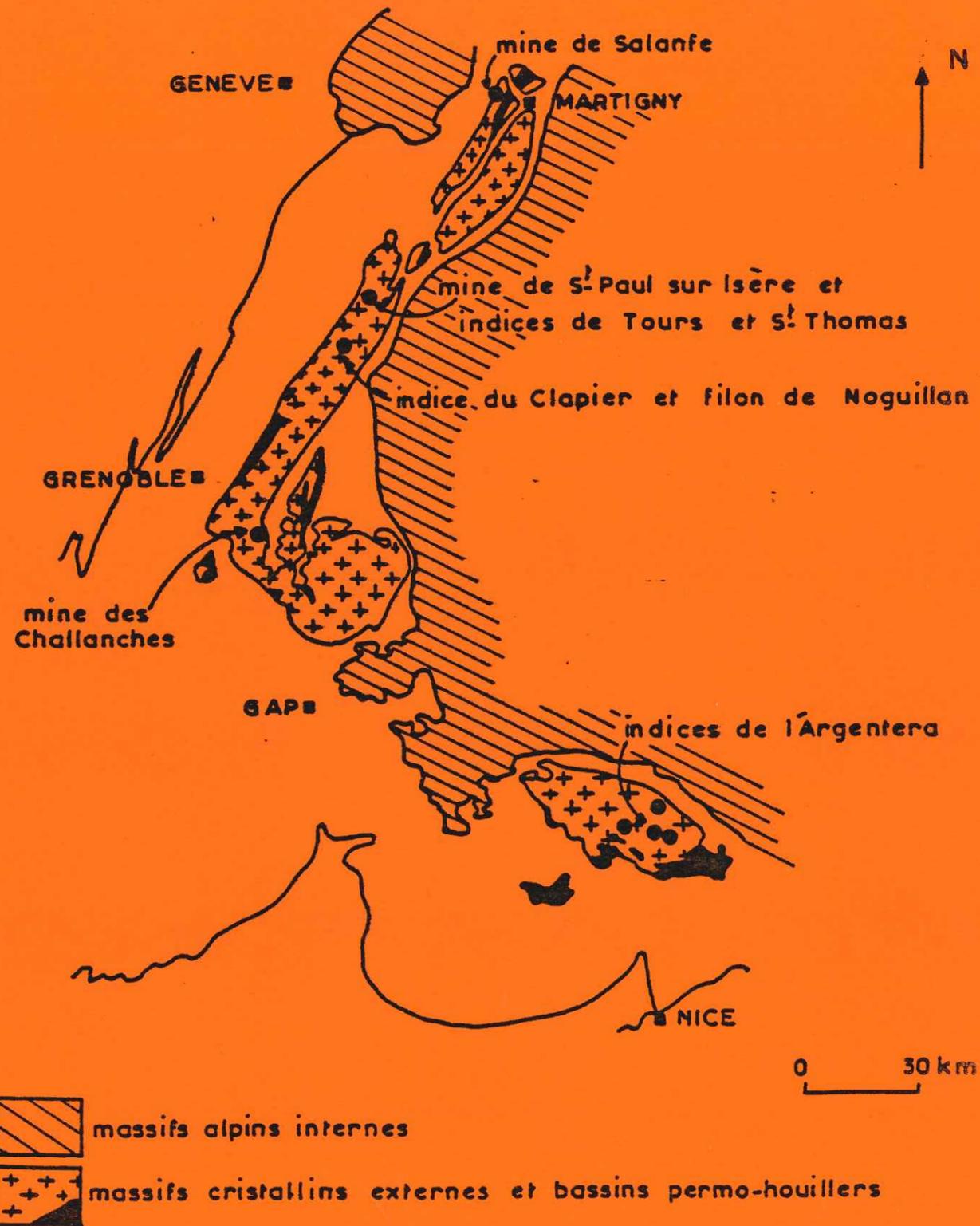
Les biotites ont subi les mêmes opérations ; sauf le tri qui a été effectué au séparateur électromagnétique FRANTZ.

4 CRITIQUES DE LA METHODE

Sans étalon cette méthode d'analyse physique permet avec un seul spectre le dosage semi quantitatif de presque tous les éléments (244) .

On peut doser jusqu'à environ 10^{-1} ppm et la limite supérieure est le pour cent. Pour les constituants principaux l'analyse chimique fournit des résultats d'une précision très supérieure.

Par contre le rendement de l'appareil est faible et cette méthode se prête mal à une analyse de routine et à l'utilisation des résultats par des statistiques. Elle est très utile cependant pour la mise au point et la comparaison des petites séries d'échantillons de même nature, notamment les minerais ; en effet ceux-ci représentent une anomalie géochimique où s'expriment à l'extrême les phénomènes de ségrégation et de différenciation. La spectrographie de masse à étincelles, par la faible quantité d'échantillon consommée, rend compte de ce caractère.



LOCALISATION DES INDICES D'ARSENOPYRITE

Les gîtes minéraux d'arsénopyrite étudiés sont tous localisés dans l'unité structurale des massifs cristallins externes, composée de séries métamorphiques et de granites ayant subi plusieurs orogènes.

Des grandes fractures longitudinales (Vallée du Trient des Aiguilles Rouges, Synclinal Médian de Belledonne et paléomylonites de l'Argentera) déterminent les structures et la morphologie.

Aucun de ces gîtes n'est exploité actuellement et seules la mine de Salanfe et celle de St Paul sur Isère fournissaient or et arsenic.

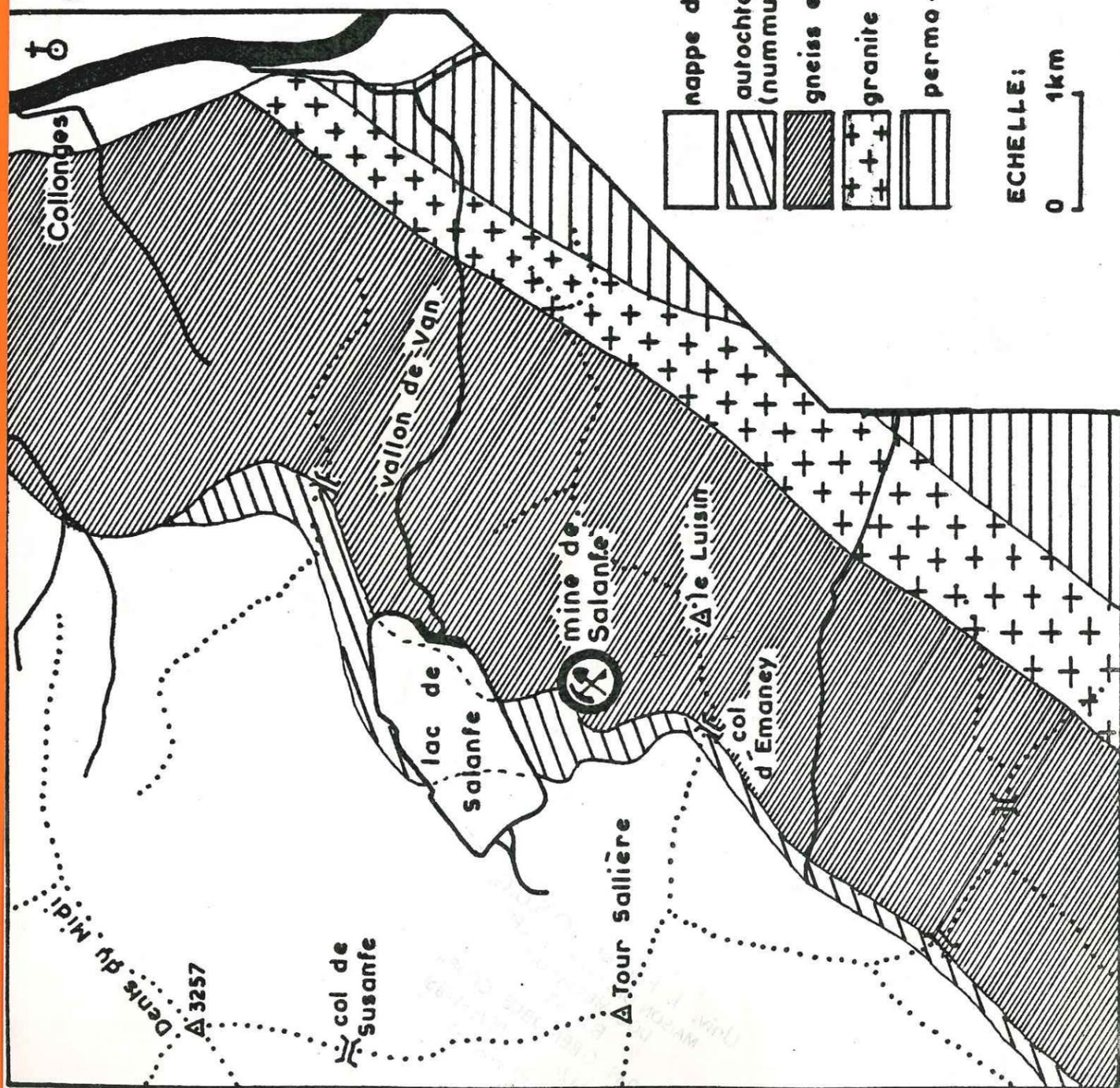
Nous étudierons successivement du Nord au Sud (Fig.4)

- la mine de SALANFE (Suisse)
- la région nord du massif du Grand Arc qui comprend :
 - la mine de ST PAUL SUR ISERE
 - l'indice de TOURS SUR ISERE
 - l'indice de ST THOMAS
- la chaîne des Haretières qui comprend :
 - l'indice du CLAPIER
 - le filon de NOGUILLAN
- la mine des CHALANCHES
- le massif de l'Argentera qui comprend :
 - l'indice du COL MERCIERE
 - l'indice de SALESE
 - l'indice de BARACCONE
 - l'indice de DUMINIERE

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

SCHEMA GEOLOGIQUE
de la région de
SALANFE
(Suisse)

d'après les cartes
géologiques au 1/25000
Val d'Iliez et Barberine



1 LA MINE DE SALANFE

La mine d'arsenic de Salanfe se trouve en Suisse ($x = 563,200$
 $y = 108,800$ $z = 2150$ à 2210 feuille 282 Martigny I/50 000)
près de la frontière française, dans le massif du Mont Ruan situé
entre Martigny (Vallée du Rhône à l'Est), Sixt (Vallée du Giffre
à l'Ouest) et Vallorcine (Vallée du Trient au Sud) (fig.5).

On y accède depuis Martigny en prenant la route du Vallon de Van
puis la piste menant au barrage de Salanfe dont la retenue noie
le Plan de Salanfe. La mine se trouve au Sud dans les pentes menant
au Luisin, à proximité du lac des Ottans.

11) Historique

Les travaux de prospection commencent en 1904 avec le
"Syndicat de prospection du Luisin" qui perce les galeries
Confrérie, Combarossa, Henri, Marguerite et Robert. Ce dernier
filon est le plus important : il produit 250 tonnes à 40 - 45 %
d'arsenic. Les résultats se révèlent néanmoins insuffisants et
les travaux sont abandonnés. En 1917 la concession revient à
l'ingénieur GIACOMETTI qui procède à des travaux d'approfon-
dissement. Il passe un contrat avec la Société Générale Métal-
lurgique de Belgique ce qui lui permet de monter sur place une
installation d'enrichissement qui fournit 28 tonnes de concen-
trés en 1921. Le manque de rentabilité et l'épuisement apparent
des filons entraînent l'arrêt de l'exploitation en 1928. Quelques
travaux ont lieu ensuite sur Confrérie et le défilage Robert
mais les faibles teneurs n'en permettent pas l'exploitation.

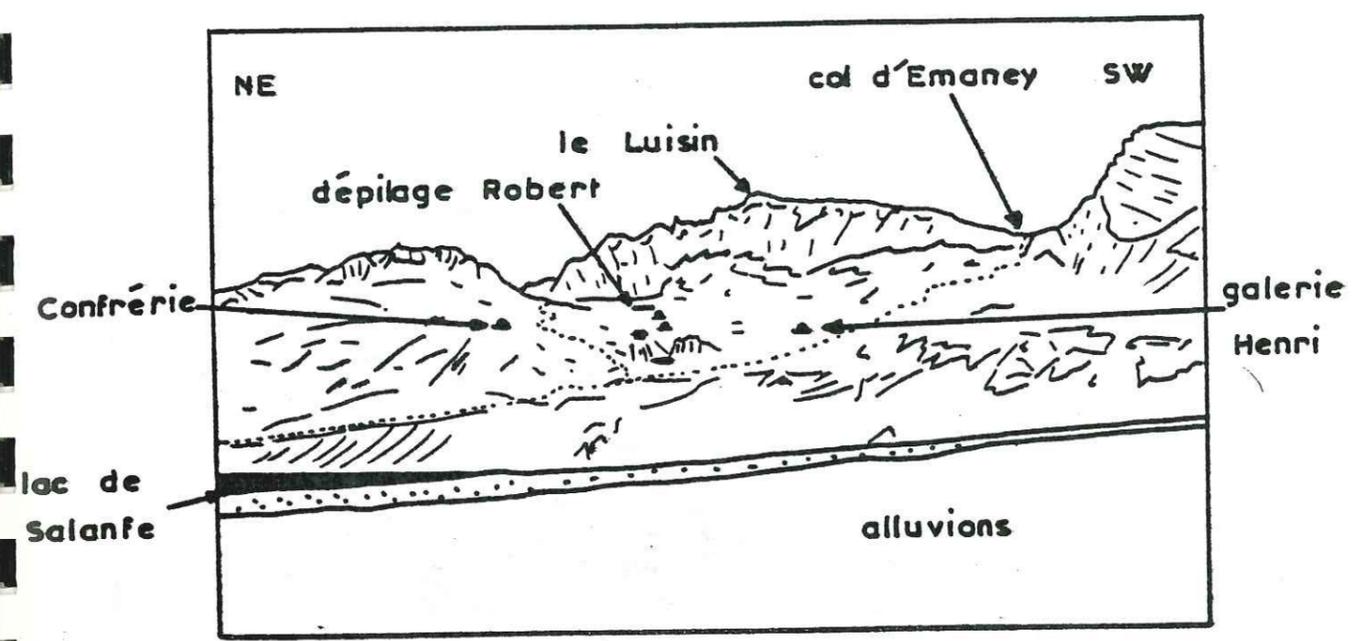
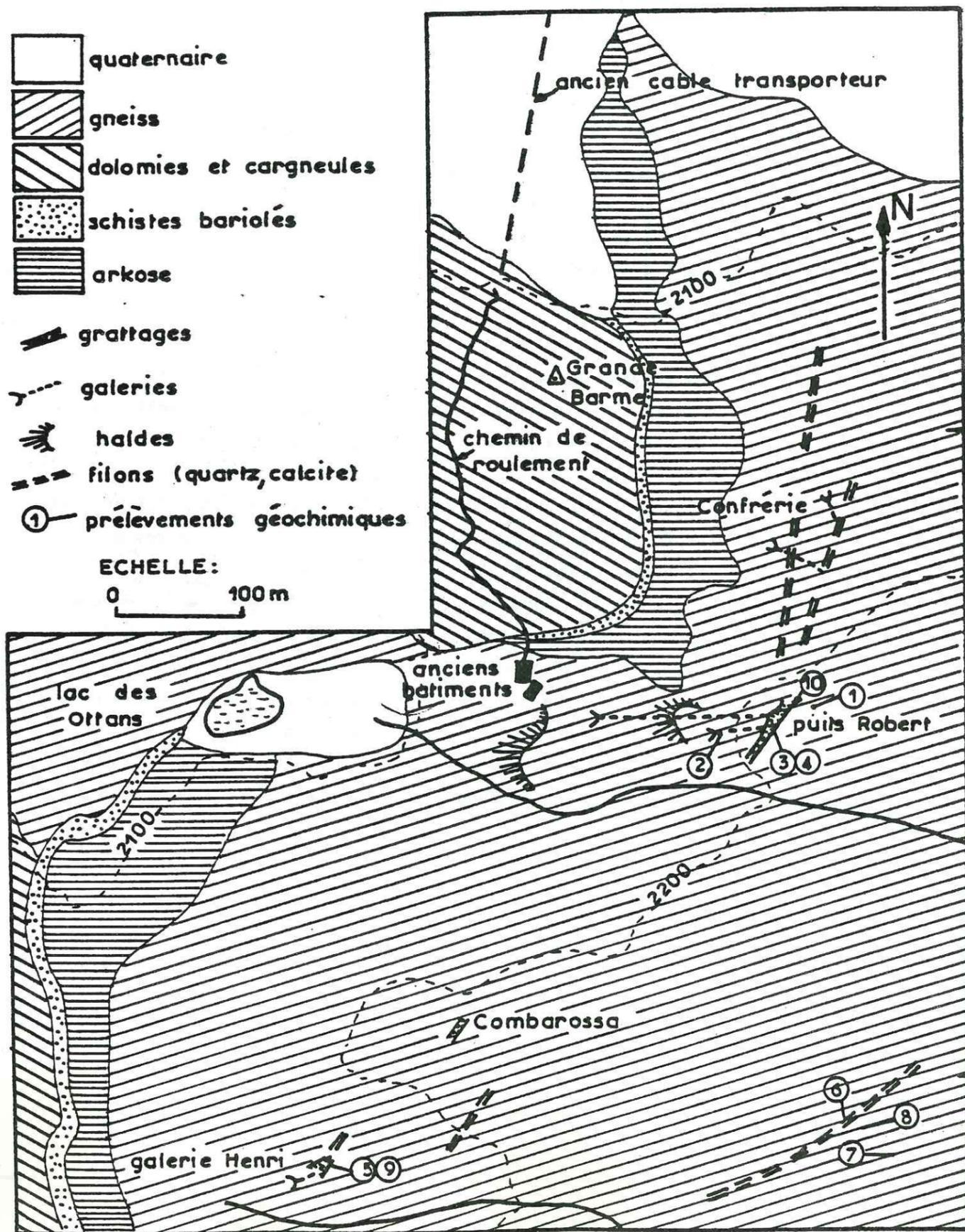
12) Les travaux (fig 6, 7, 8)

Ils sont actuellement tous accessibles et en bon état. La bonne
qualité du rocher a permis de percer les galeries sans néces-
siter de boisage. La mine de Salanfe comporte plusieurs travaux :

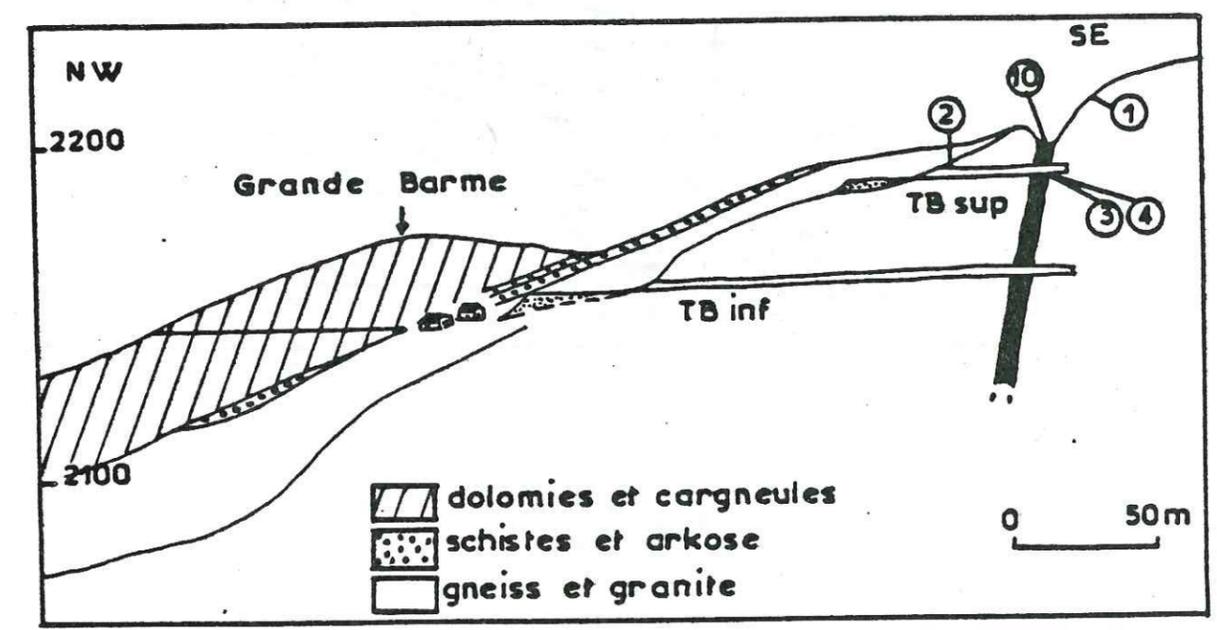
- les plus importants sont constitués par le défilage
Robert de 70 m de long, 5 m de large et 50 m de profon-
deur. Deux travers bancs de 140 m et de 45 m permettent
d'y accéder.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA MINE DE SALANFE

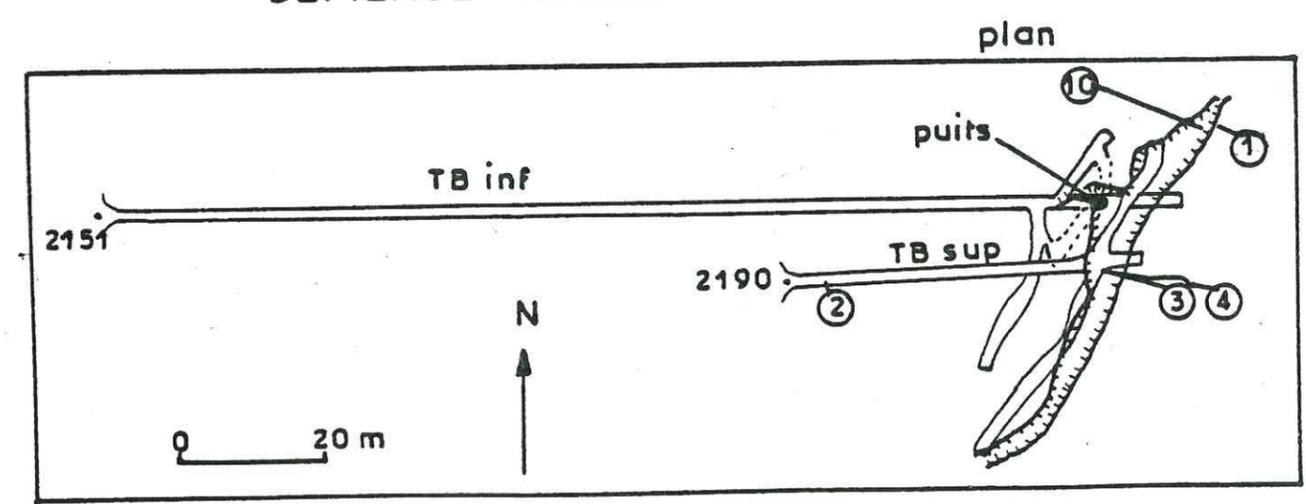
(d'après E. RICKENBACH et al.)



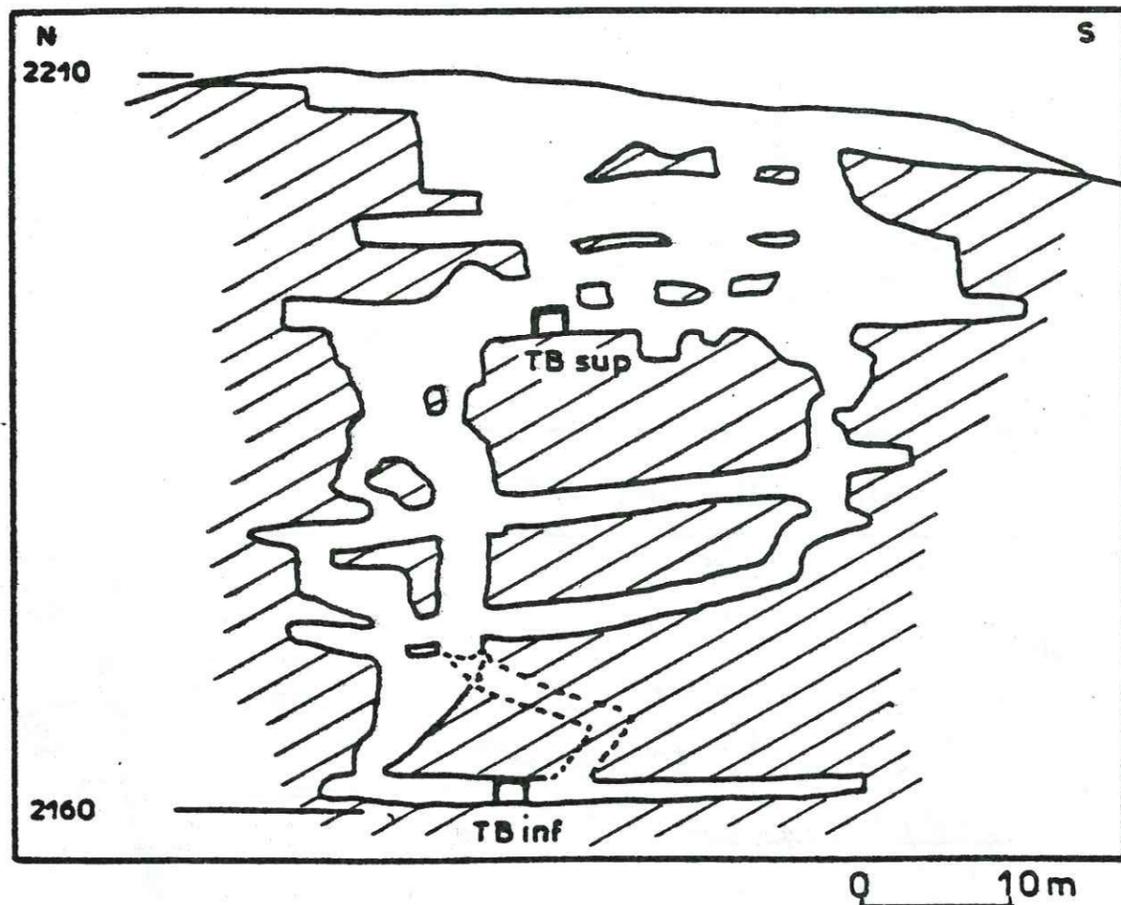
MINE DE SALANFE



coupe
DEPILAGE ROBERT



plan



coupe

DEPILAGE ROBERT

Les haldes sont importantes mais peu riches en beaux échantillons de minerai.

- de nombreux grattages et tranchées existent au Sud-Est et cherchaient des minéralisations dans les filons de quartz ou calcite.

I3) Le contexte géologique

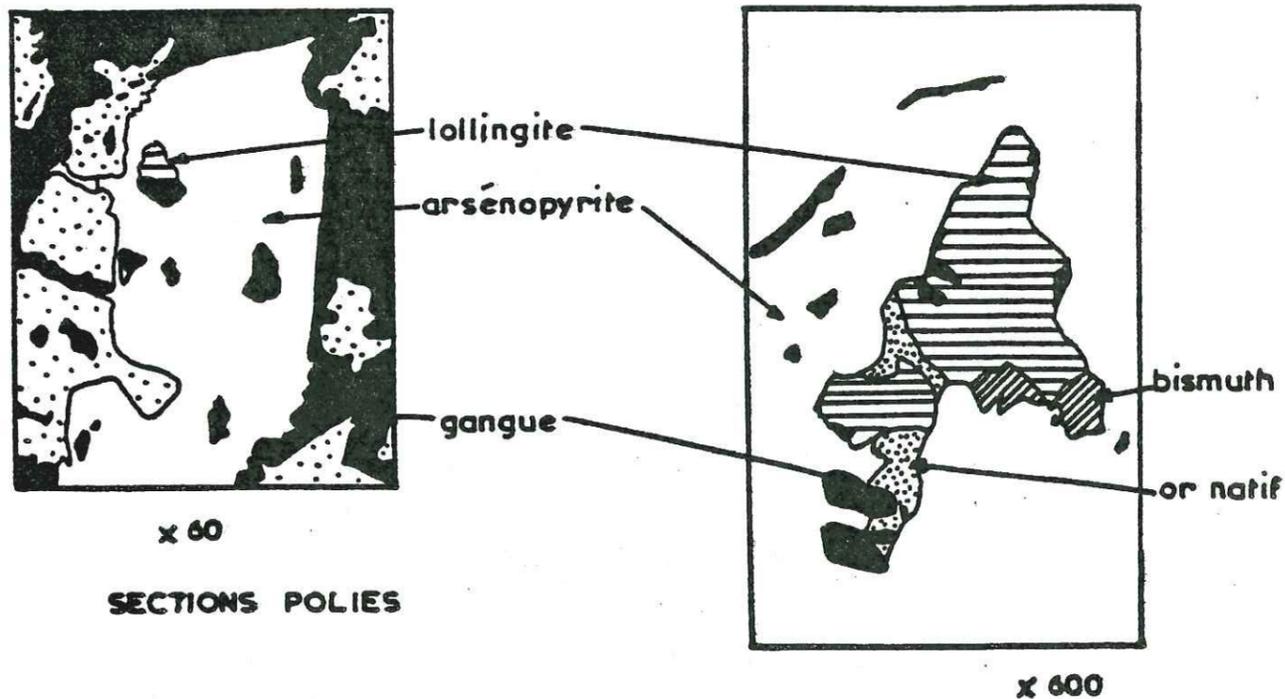
Le massif cristallin des Aiguilles Rouges comprend le granite de Vallorcine apparaissant comme un immense filon de 20 Km de long et 1500 m de large dirigé Nord Est, intrusif et légèrement discordant par rapport aux schistes cristallins qu'il traverse.

Les filons minéralisés de Salanfe affleurent dans la partie Nord des schistes cristallins à proximité du contact avec les terrains triasiques. E. RICKENBACH et al. (26) dans leur étude pétrographique et métallogénique de la mine décrivent en détail les différentes roches ; nous retiendrons simplement :

- la roche dominante est un gneiss amygdalaire à biotite à foliation $70/30$ et contenant : plagioclases, quartz, séricite, épidote, tourmaline, grenat, apatite, zircon avec parfois rutile, leucoxène et pyrite. Des imprégnations locales siliceuses riches en orthose, microcline et albite forment des amygdales d'une dizaine de mètres de long;
- les pentes Nord du Luisin où affleurent les minéralisations sont parcourues par des filons de microgranite rose, roche à deux temps de consolidation à texture généralement porphyrique. Leur puissance varie de quelques dm à 10 m et leur longueur n'excède pas 10 m;
- des calcaires anciens ont été recristallisés et forment des lentilles de cipolins souvent minéralisés (pyrite) et riches en minéraux. Ils sont fréquemment associés à des filonnets de quartz.

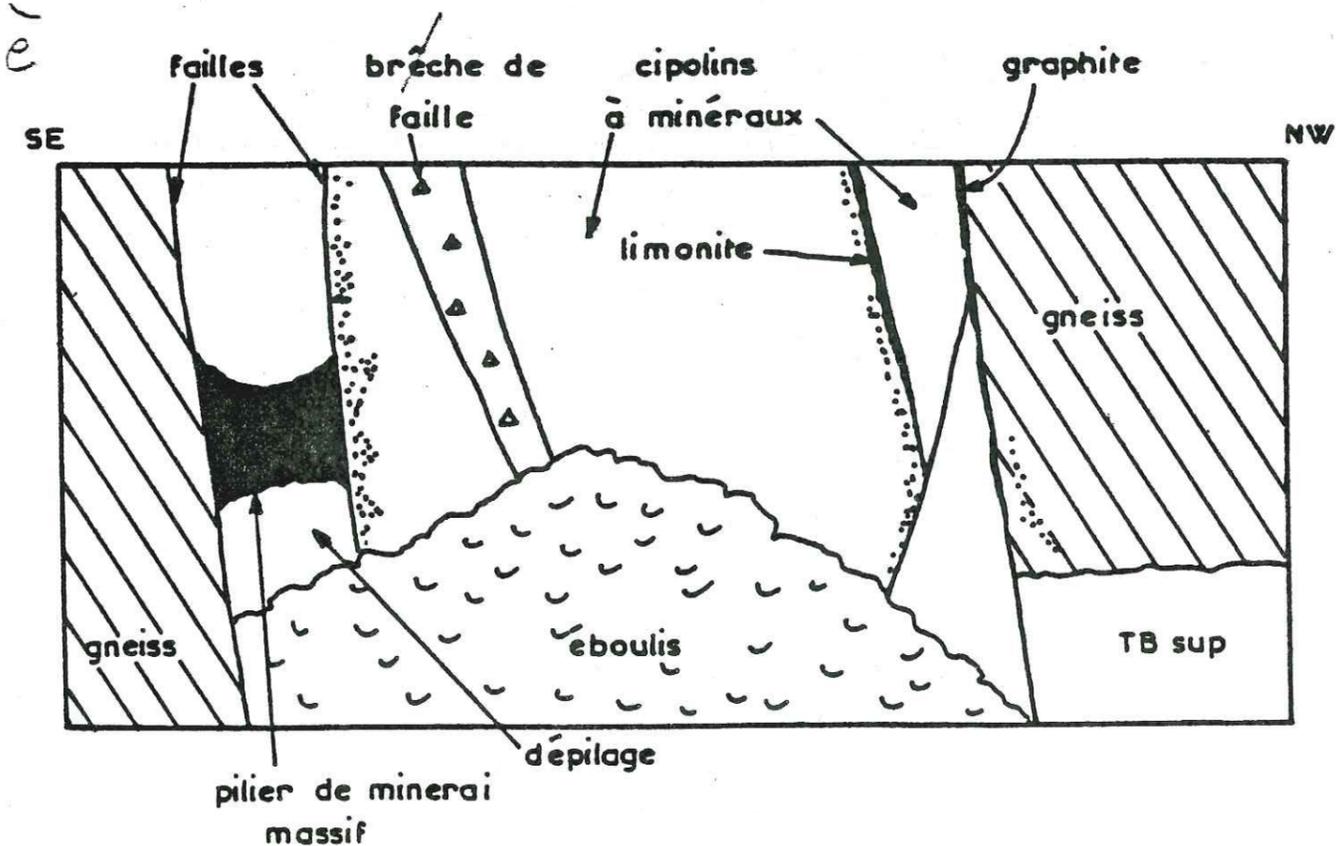
I4) La minéralisation en arsénopyrite

Elle est toujours localisée dans des filons de cipolins de direction générale Nord 10° Est et de pendage subvertical (fig 9).



SECTIONN POLIES

DEPILAGE ROBERT



coupe schématique au niveau du TB sup

Le plus important est celui du dépilage Robert : exploité sur 50 m de profondeur, on le suit sur 70 m. Les cipolins à minéraux (quartz, augite, hornblende, diopside, rutile, leucoxène, apatite, chlorite, séricite, serpentine, épidote, clinozoïsite, zoïsite, arsénopyrite, pyrite, magnétite), de 4m de puissance, environ sont en contact avec les gneiss avoisinants :

- à l'éponte Nord Ouest par un système de failles subverticales remplies de limonite et graphite;
- à l'éponte Sud Est par un filon de minerai massif dont l'exploitation a laissé des piliers de 50 à 70 cm de puissance constitués essentiellement d'arsénopyrite et lollingite.

Des sections polies provenant du minerai des piliers montrent (fig. 9) de l'arsénopyrite de couleur blanche fortement réfléchissante et facilement polissable en cristaux idiomorphes à sections rhombiques parfois légèrement corrodés. On observe de petites inclusions de chalcopryrite. La lollingite, également abondante possède un ton un peu plus jaunâtre. La pyrite, principal minerai accessoire est très corrodée et envahie par l'arsénopyrite.* Cependant il semble plus abondant dans la pyrite. Les autres minerais sont, par importance décroissante : chalcopryrite, tétraédrite, hématite, galène, blende, magnétite, cuivre gris, or natif, bismuth natif, bornite, covelline.

D'autre part, une prospection à la lampe ultraviolette nous a permis de découvrir de la scheelite sous forme de petits cristaux n'excédant pas 1 à 2 mm de diamètre et disséminés dans les piliers du minerai massif ; cependant ces zones sont peu étendues. Néanmoins une prospection ultraviolette de nuit serait à effectuer sur les filons de Salanfe.

Les autres filons sont beaucoup moins important :

- le filon de Confrérie semble être le prolongement de celui du dépilage Robert. On ne retrouve plus de minerai massif et la minéralisation en arsénopyrite est disséminée dans les cipolins;
- la galerie Henri a été ouverte dans un banc de quartzites de 2 m de puissance où l'arsénopyrite forme des amas de 20 cm de diamètre de beaux cristaux millimétriques.

* L'or est présent sous forme de particules visibles au microscope de 0,001 mm, liés intimement à l'arsénopyrite.

Les quartzites associées à des cipolins et à de la limonite jalonnent une zone broyée de direction N 30 E

15) Résultat des analyses

151 - les arsénopyrites

L'examen des analyses résumées dans le tableau 2 permet de dégager certains points communs :

- la présence de petites inclusions d'or et de bismuth, observées au microscope, est confirmée par les analyses (80 à 150 ppm atomiques / Fer de Bismuth). La teneur en or varie de 3 à 13 ppm atomiques / Fer et on observe que la teneur la plus basse apparaît dans l'arsénopyrite disséminée du défilage Robert. Par contre l'échantillon de la galerie Henri (9) avec 13 ppm atomiques / Fer d'Or confirme les observations de E. RICKENBACH selon lesquelles la galerie Henri présenterait une concentration intéressante en or (26).

Cependant les teneurs en or observées peuvent avoir une autre origine que les inclusions ; en effet KOROBUSHKIN (22) a prouvé que les atomes d'or peuvent remplacer des atomes d'arsenic dans l'arsénopyrite;

- les rapports $\frac{Co}{Ni}$ d'une part et $\frac{Rb}{Sr}$ d'autre part ont des valeurs, pour les 3 échantillons, inférieures à 1 : $\frac{Co}{Ni}$ varie de 0,4 à 0,7 et Rb/Sr de 0,14 à 0,3;

- les teneurs en plomb sont relativement faibles (5 ppm atomiques / Fer au maximum),

- les lanthanides sont en teneurs trop faibles pour être dosés.

Nous pouvons regrouper les échantillons (4) et (10) relativement semblables par leurs teneurs ce qui s'explique par une provenance identique. Ils possèdent tous deux des teneurs élevées en tungstène (1000 à 2000 ppm atomiques / Fer), teneurs qui nous ont amené à rechercher et à découvrir de la scheelite.

Cependant des différences existent notamment pour le Cuivre : l'échantillon (4) présente un net enrichissement, du peut-être à la présence de chalcopryrite. De plus il est à noter que cet échantillon

serait plutôt de la löllingite car les teneurs en arsenic (non représentées dans le tableau) indiquent un déficit assez net. Par contre l'échantillon (10) est caractérisé par une forte teneur en antimoine.

L'arsénopyrite de la galerie Henri (9) est différent des deux autres, notamment pour des teneurs élevées en zirconium et argent. Pourtant l'argent n'était signalé que dans la galène et en faibles teneurs (26). Le chlore apparaît ici à des teneurs élevées.

152 - Les biotites (tab.3 et 4)

Elles se ressemblent par

- teneurs élevées du phosphore, du chlore, du zinc, du rubidium et du césium;

- le bismuth, le thallium, le tungstène, l'antimoine et l'argent possèdent des teneurs faibles et comparables dans toutes les biotites;

- les profils de répartition des lanthanides (tab 5) tracés après normalisation aux chondrites (23) font apparaître une allure descendante générale correspondant aux profils classiques (34) en relation avec des venues magmatiques acides;

- en regroupant les échantillons (1) et (2) dont les teneurs sont du même ordre de grandeur, les biotites (5), (7) et surtout (8) possèdent des anomalies :

- l'échantillon (5) est remarquable par une teneur en molybdène élevée (1700 ppm atomique / Fer) et un enrichissement en baryum. Ceci est peut-être à rapprocher de la position de la galerie Henri qui se trouve proche d'une zone où le contact cristallin - Trias est soulignée par des filons fluoro-barytiques (26).

De plus le molybdène se concentrant préférentiellement dans les phases résiduelles hydrothermales (30), la région de la galerie Henri a peut-être subi les effets d'une manifestation hydrothermale tardive, absente dans la zone du défilage Robert.

- la biotite (7) provenant d'un filon de microgranite est enrichie en étain, césium, plomb. Il semblerait que ce filon de microgranite soit enrichi en étain car l'analyse

d'oligoclase de ce filon (tab.6) indique également une teneur élevée (1000 ppm atomiques / Fer) ainsi qu'en cuivre, zinc, arsenic, molybdène et plomb;

- enfin l'échantillon (8) provenant d'un gneiss à imprégnation siliceuse, riche en orthose microcline et albite, se distingue par un rapport $Co / Ni = 8$ et $Rb / Sr = 70$ ainsi que par un enrichissement en arsenic et baryum.

16) Genèse du gisement

La paragenèse présente à Salanfe un caractère hydrothermal de haute température de type hypothermal (300 à 350 °C.) (27) qui traduit les manifestations, d'âge anté-triasique, de solutions provenant du magma granitique ayant formé le granite de Vallorcine (26).

Il est probable que ces fluides ont emprunté une ancienne fracture jalonnée de calcaires anciens. Ceux-ci ont été le siège d'une métasomatose permettant la formation de certains minéraux (scheelite).

ARSENOPYRITES DE SALANFE

résultats en atomes pour 10^6 atomes de Fer

	④	⑩	⑨
	Dépilage Robert Arsénopyrite dans pilier de minerai massif	Dépilage Robert Arsénopyrite disséminée dans calcaires	Galerie Henri Arsénopyrite dans quartzites
P	250	1500	600
Cl	850	250	270
Ti	150	2000	1700
Cr	30	60	60
Mn	300	6000	500
Co	250	150	150
Ni	400	350	200
Cu	5000	70	800
Zn	30	70	12
Se	70	100	90
Rb	3,5	30	7,5
Sr	25	50	25
Y	2	10	5
Zr	4	4	90
Mo	< 1	7	< 1
Ag	6	10	70
Sn	1,5	6	2
Sb	6	45	7
Te	20	15	3
Ba	1,5	1,5	7
W	1000	2000	15
Au	12	3	13
Pb	5	1	2
Bi	80	120	150

BIOTITES DE SALANFE

résultats en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

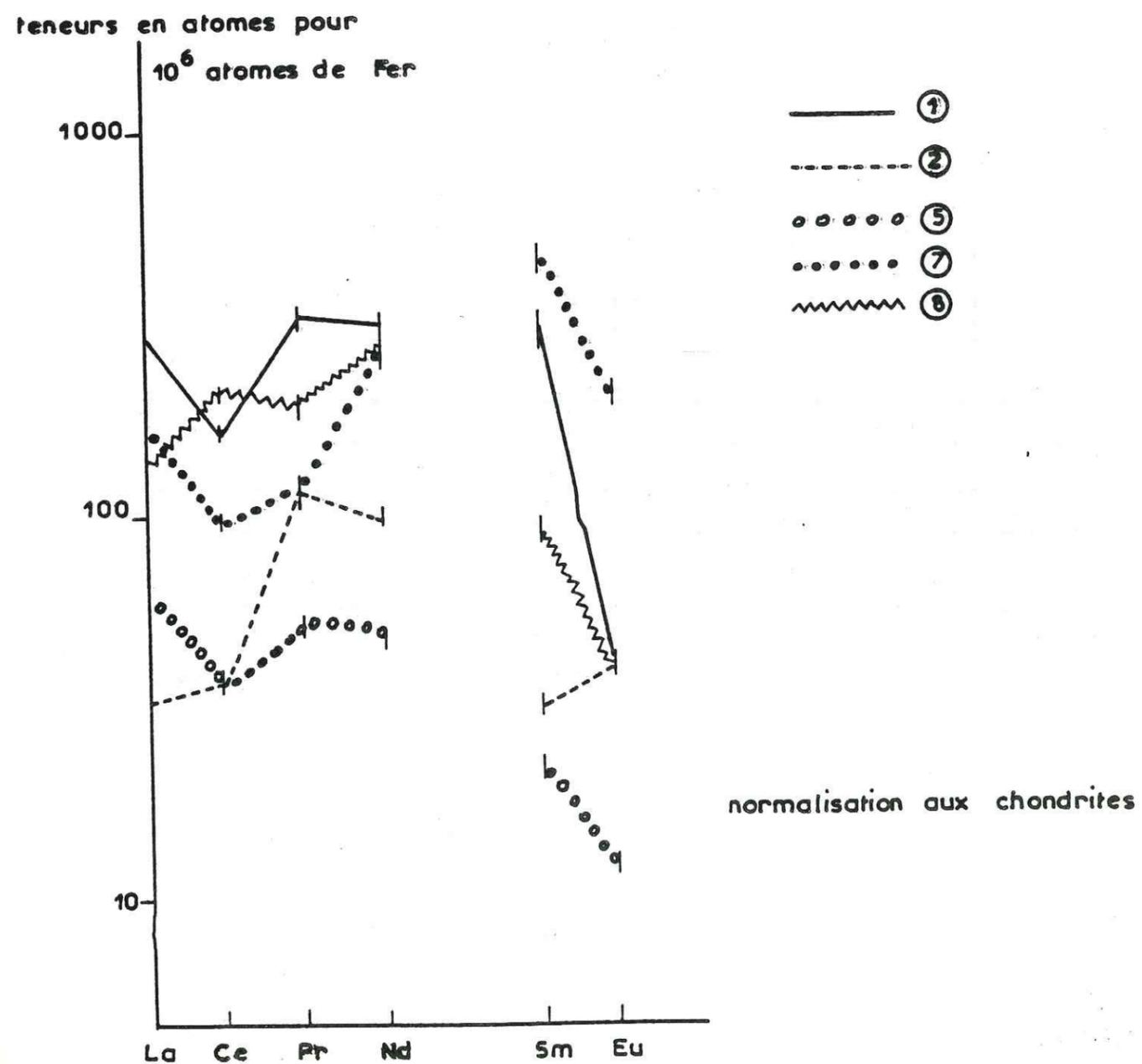
	① Biotite dans Gneiss à l'E du défilage Robert	② Biotite dans Gneiss à l'W du défilage Robert	⑤ Biotite dans Gneiss de la galerie Henri	⑦ Biotite dans un filon de microgranite 80-65	⑧ Biotite dans Gneiss siliceux
P	majeur	majeur	3500	majeur	majeur
S	4500	2000	1700	900	5000
Cl	majeur	majeur	majeur	majeur	1500
V	700	3000	2500	1700	1700
Cr	600	2000	2500	1200	3000
Co	120	350	100	400	4000
Ni	200	1500	800	900	500
Cu	170	120	170	250	500
Zn	450	2000	700	700	3000
Ga	350	350	350	1000	1000
As	250	200	80	300	2500
Se	50	70	40	100	700
Rb	2500	2000	6000	majeur	7000
Sr	120	250	1000	600	700
Y	200	600	2000	500	250
Zr	20	majeur	5000	900	4000
Nb	50	40	120	400	150
Mo	17	8	1700	20	7
Ag	4,5	2	1	10	1,5
Sn	12	30	4,5	150	35
Sb	2,5	4	12	1,5	1
Cs	25	120	250	1200	250
Ba	120	700	3000	600	2500
W	20	12	3	15	7
Tl	1,2	1	2	2	1
Pb	30	10	20	250	15
Bi	1	4	1,3	15	1
Tb	20	5	1,3	20	2

BIOTITES DE SALANFE (suite) :

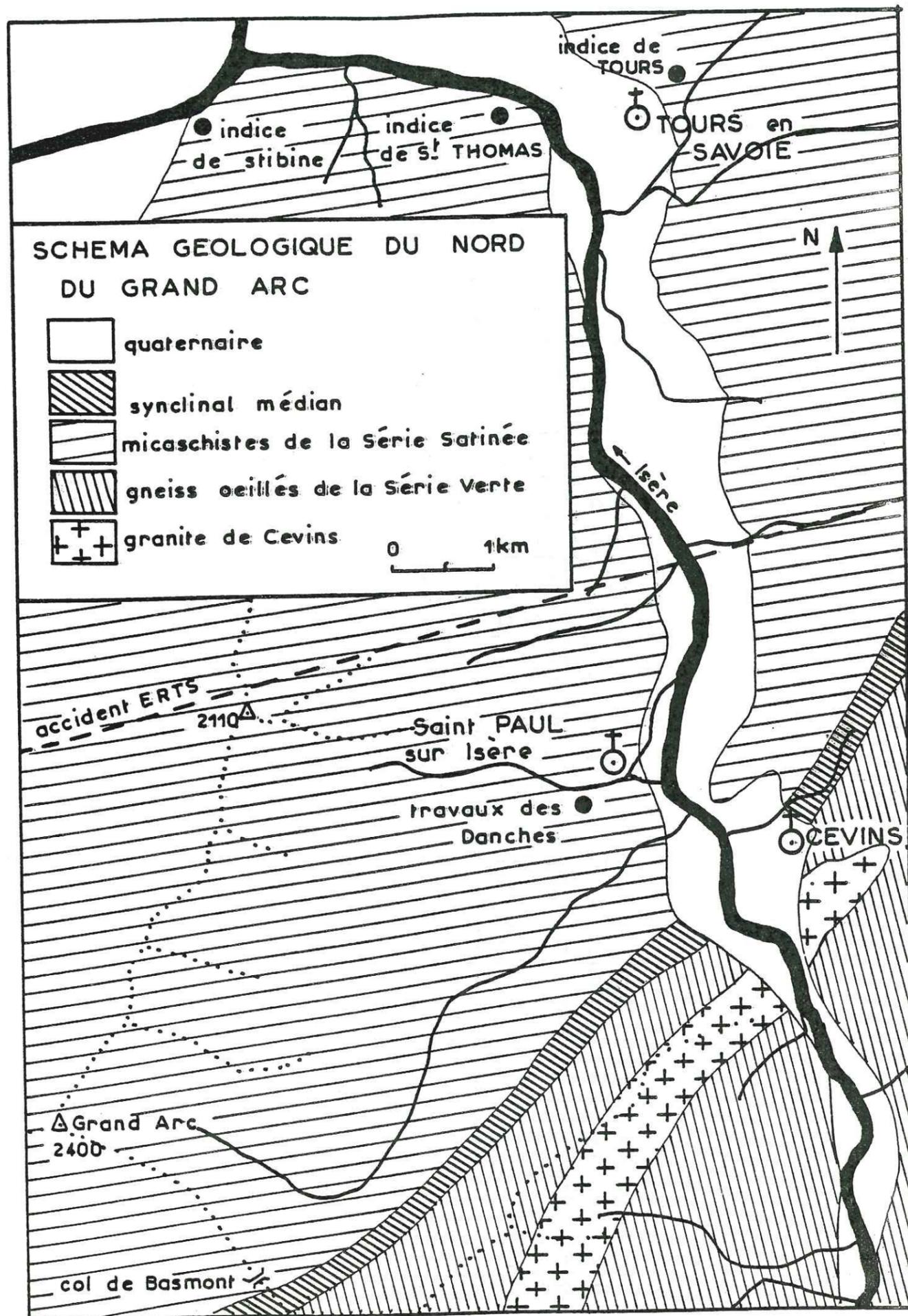
Lanthanides

	①	②	⑤	⑦	⑧
La	100	12	20	60	50
Ce	170	40	40	100	250
Pr	40	20	7	15	25
Nd	250	60	25	150	150
Sm	80	15	4,5	100	20
Eu	3	3	1	15	3

PROFIL DE REPARTITION DES LANTHANIDES
DANS LES BIOTITES DE SALANFE



	oligoclase dans microgranite	Cipolin du dépilage Robert
P	majeur	4500
S	majeur	3000
Cl	majeur	majeur
V	1200	250
Cr	120	1200
Co	450	3000
Ni	majeur	200
Cu	2500	80
Zn	8000	1000
Ga	4000	700
As	2500	350
Se	1000	500
Rb	majeur	170
Sr	majeur	1200
Y	450	30
Zr	1500	<1
Nb	250	<1
Mo	1500	<1
Ag	1	<1
Sn	1000	<1
Sb	70	<1
Cs	7000	15
Ba	majeur	35
La	350	7
Ce	1000	20
Pr	50	<1
W	150	<1
Tl	100	<1
Pb	300	<1
Bi	40	<1



2 LA REGION NORD EST DU MASSIF DU GRAND ARC

2I) Le gisement de ST Paul sur Isère

L'ancienne exploitation aurifère de ST Paul sur Isère se situe à 12 kilomètres au Sud d'Albertville, à l'entrée de la Tarentaise, en rive gauche de l'Isère (fig. 9).

211 - Historique

De 1910 à 1928, des travaux de recherche et d'exploitation pour l'or et l'arsenic ont été entrepris à plusieurs reprises par M. VERDOJA. 1200 à 1300 tonnes de minerai tout venant ont été extraites. Ce minerai, trié et lavé fournissait un concentré à 50 % d'arsenic et à 3-40 ppm d'or (2I). Depuis 1940, les travaux ont été abandonnés. Un permis de fouille a été accordé à Monsieur BACHASSON puis à Monsieur SILHOL.

212 - Les travaux (cf. plans en annexe)

On distingue 2 groupes de travaux :

2I2I les travaux inférieurs comprenant :

- la fouille du Séminaire ($x = 920,25$; $y = 74,07$; $z = 410$) constituée par une galerie de 40 mètres de long exécutée en allongement. L'entrée de cette galerie est actuellement obstruée par un éboulement.

- la galerie de ST Paul ($x = 919,82$; $y = 74,47$; $z = 410$) d'une soixantaine de mètres environ ayant servi de dépôt d'explosifs. Ces travaux n'ont pas été visités.

2I22 les travaux supérieurs situés au hameau des Danches ($x = 919,48$; $y = 74,43$; $z = 579$ à 630). On y accède en empruntant sur la D 66 la route menant au Replain. Ces travaux comprennent 4 galeries exécutées en allongement aux niveaux suivants :

- niveau 579 : une galerie de 74 mètres de long avec 2 recoupes et un montage (développement total = 160 m) qui ont recherché sans résultat l'aval pendage de la zone minéralisée exploitée au niveau 600;

- niveau 600 : une galerie de 82 mètres desservant 4 chambres de défilage par des montages. Ces défilages

sont situés à 3 niveaux différents. Il existe un niveau à 615 m, éboulé actuellement dont on distingue l'entrée;

- niveau 620 et 630 : ces deux galeries ont recherché l'amont pendage de la zone minéralisée.

2I3 - Contexte géologique

L'étude pétrographique de C. BORDET (5) permet de subdiviser la chaîne de Belledonne en plusieurs unités. Cette distinction se retrouve dans le massif du Grand Arc où l'on reconnaît du Sud au Nord :

- une série verte métamorphique d'origine volcano - sédimentaire à caractère basique;
- le granite de Cevins à caractère intrusif;
- une série satinée métamorphique d'origine sédimentaire à caractère acide;
- une couverture sédimentaire de l'époque secondaire au Nord.

De plus, un des traits marquants de la chaîne de Belledonne est l'existence d'un grand accident longitudinal Nord Est : le synclinal médian, probablement d'âge hercynien, renfermant des terrains carbonifère et triasique pincés et ayant rejoué à l'Alpin.

La zone minéralisée de St Paul sur Isère se situe dans la série satinée à 2 kilomètres du granite de Cevins, dont elle est séparée par le synclinal médian (fig.9).

L'encaissant est constitué de micaschistes sériciteux et chloriteux à passées quartzo-feldspathiques et biotitiques possédant une schistosité moyenne de $\frac{40}{50}$ (5). DE MESTRAL (12) décrit ainsi ces micaschistes : " la structure est grano-lépidoblastique. Les principaux minéraux sont : séricite, muscovite, quartz, albite, calcite, chlorite, avec sphène-leucoxène, apatite en minéraux accessoires. L'albite a en général entre 0 et 10 % d'anorthite. Elle se transforme parfois en damourite. La chlorite est le plus souvent riche en fer ".

Des lames minces effectuées dans l'encaissant des niveaux supérieurs des travaux des Danches nous ont permis d'observer de la tourmaline verte en cristaux automorphes et de l'ilménite en petits cristaux très corrodés.

2I4 - La minéralisation

Elle est localisée dans une zone fracturée de direction N 100 marquée sur le terrain par un thalweg et par de petits niveaux graphiteux de 2 centimètres de puissance. Elle comprend essentiellement de l'arsénopyrite. En galerie, elle apparaît sous deux formes :

- en imprégnation diffuse de petits cristaux dans les micaschistes formant des amas pouvant atteindre 8 m de puissance et plusieurs dizaines de mètres d'extension;
- dans les filonnets de quartz  recoupant la schistosité où l'arsénopyrite apparaît en beaux amas décimétriques.

La minéralisation la plus importante apparaît au niveau 600. Les autres niveaux ne contiennent que des zones d'imprégnation peu minéralisées et peu étendues.

Une prospection à la lampe ultra-violette dans la mine nous a permis de découvrir de la scheelite (cf. plans en annexe). Elle apparaît en imprégnation dans les micaschistes à la faveur de fractures N 20 à N 30 E. Elle se présente en mouchetures de quelques millimètres à 3 centimètres. Les zones imprégnées affectent la forme de lentilles atteignant 10 mètres de long et 2 mètres de large. Une concentration massive a été observée sous forme d'un filonnet de 20 centimètres de long et 2 centimètres de puissance de direction N 20 E.

Le niveau 579 est le plus riche ; il présente une zone bien minéralisée avec de grosses mouches de scheelite.

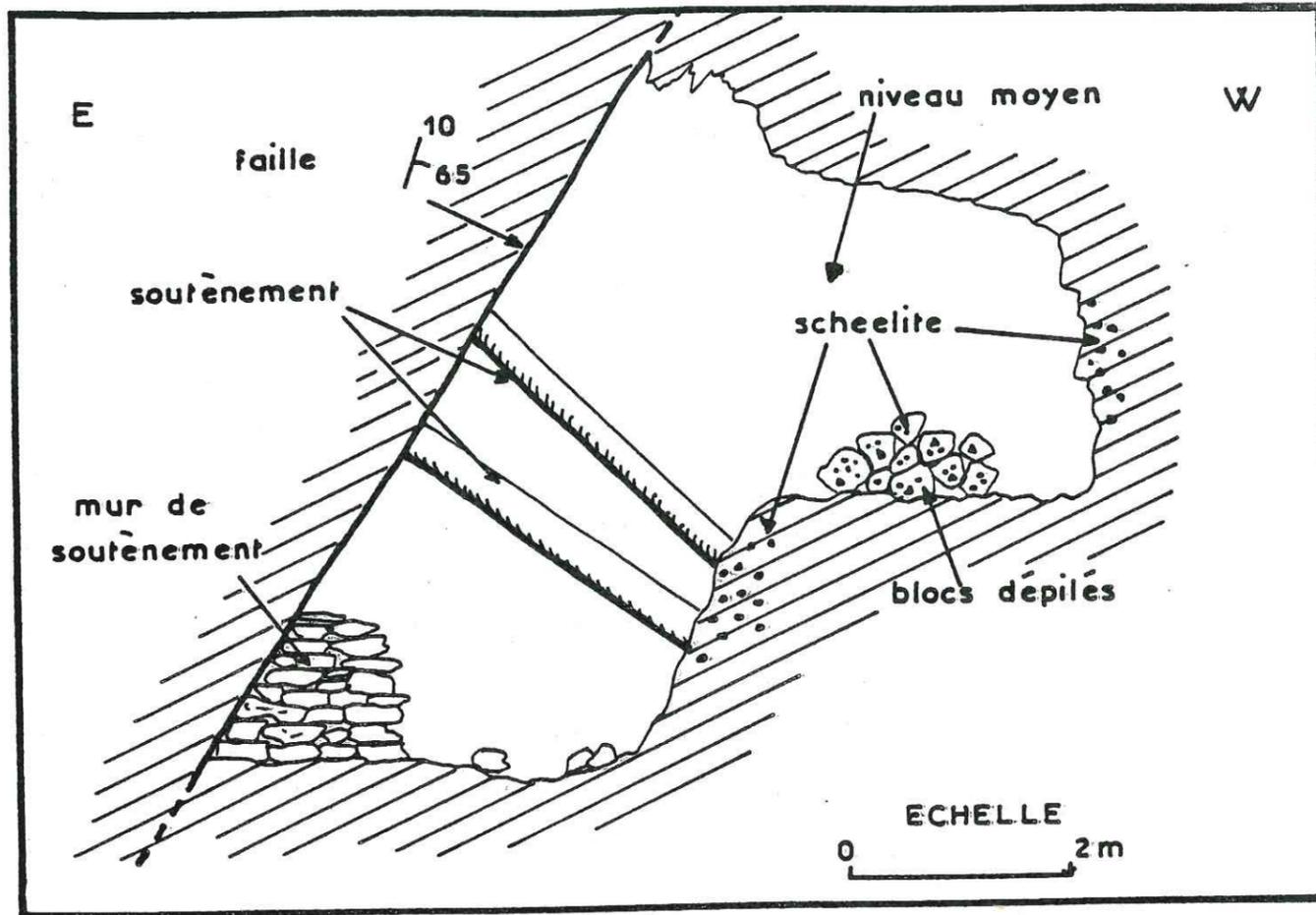
Le niveau 600 possède, dans son embranchement Sud Ouest, une lentille bien minéralisée ainsi que des blocs dépilés à scheelite (fig 10).

Les niveaux supérieurs n'ont révélé aucune minéralisation en scheelite à la lampe ultra-violette.

2I4I Examen microscopique (fig II)

Des sections polies effectuées dans des zones où la minéralisation est diffuse montrent :

- de l'arsénopyrite très abondante se présentant, soit en grands cristaux subautomorphes craquelés et fissurés

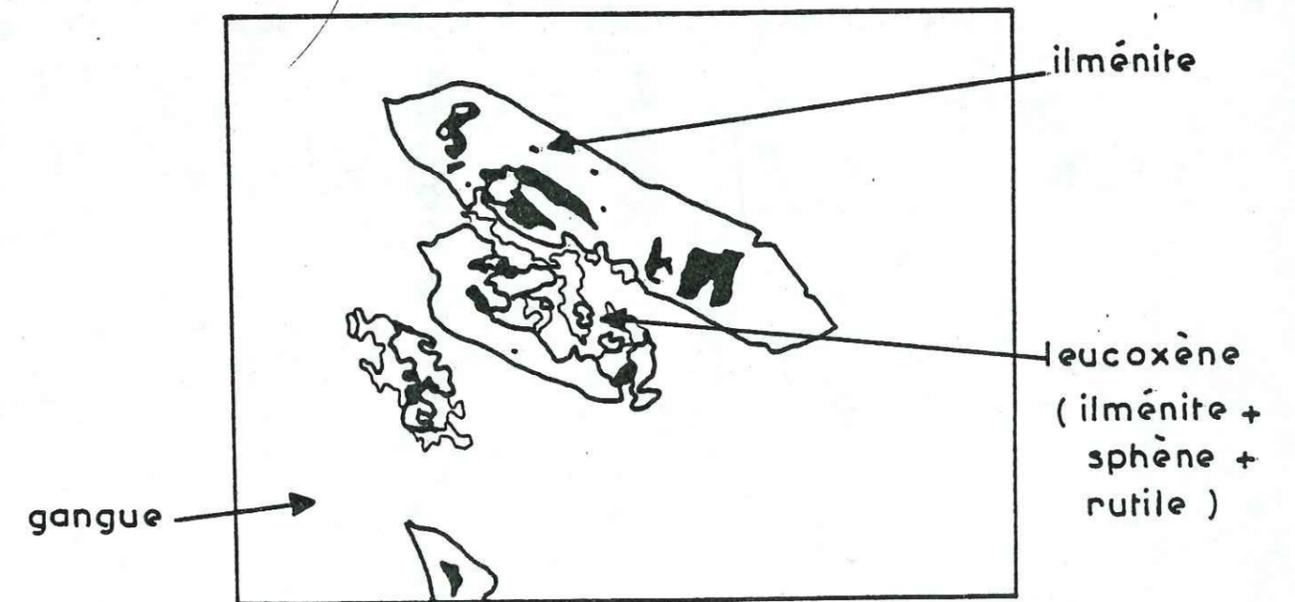


COUPE A-B

fig 10



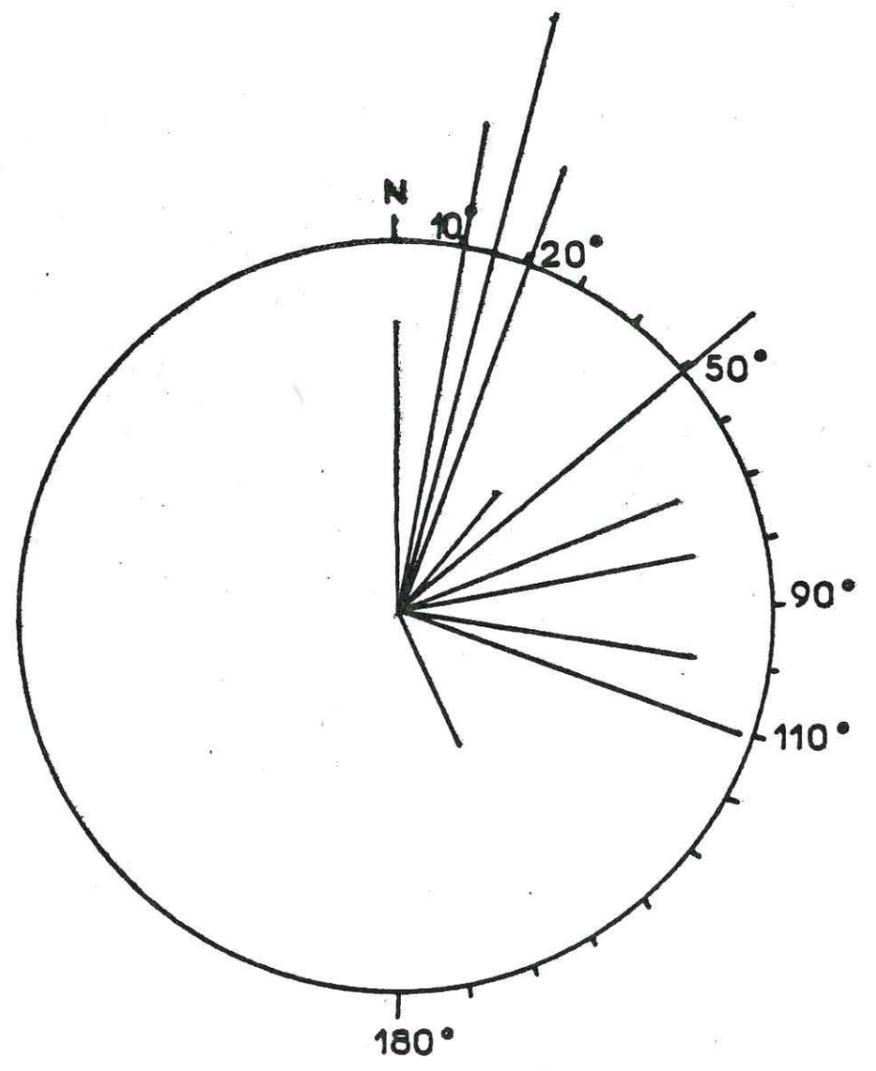
SECTION POLIE. grossissement: 120
galerie inférieure



SECTION POLIE. grossissement: 400
galerie inférieure



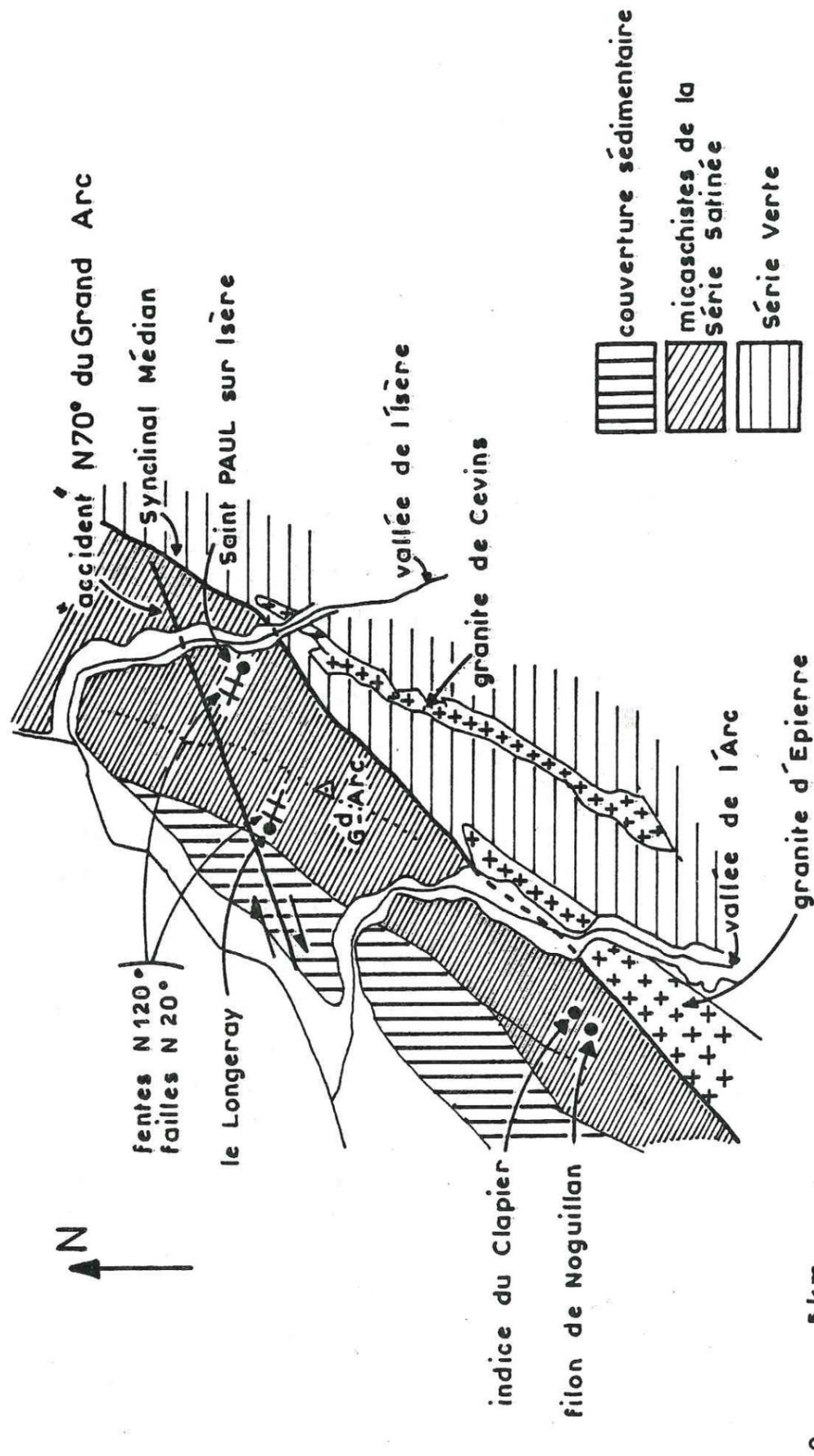
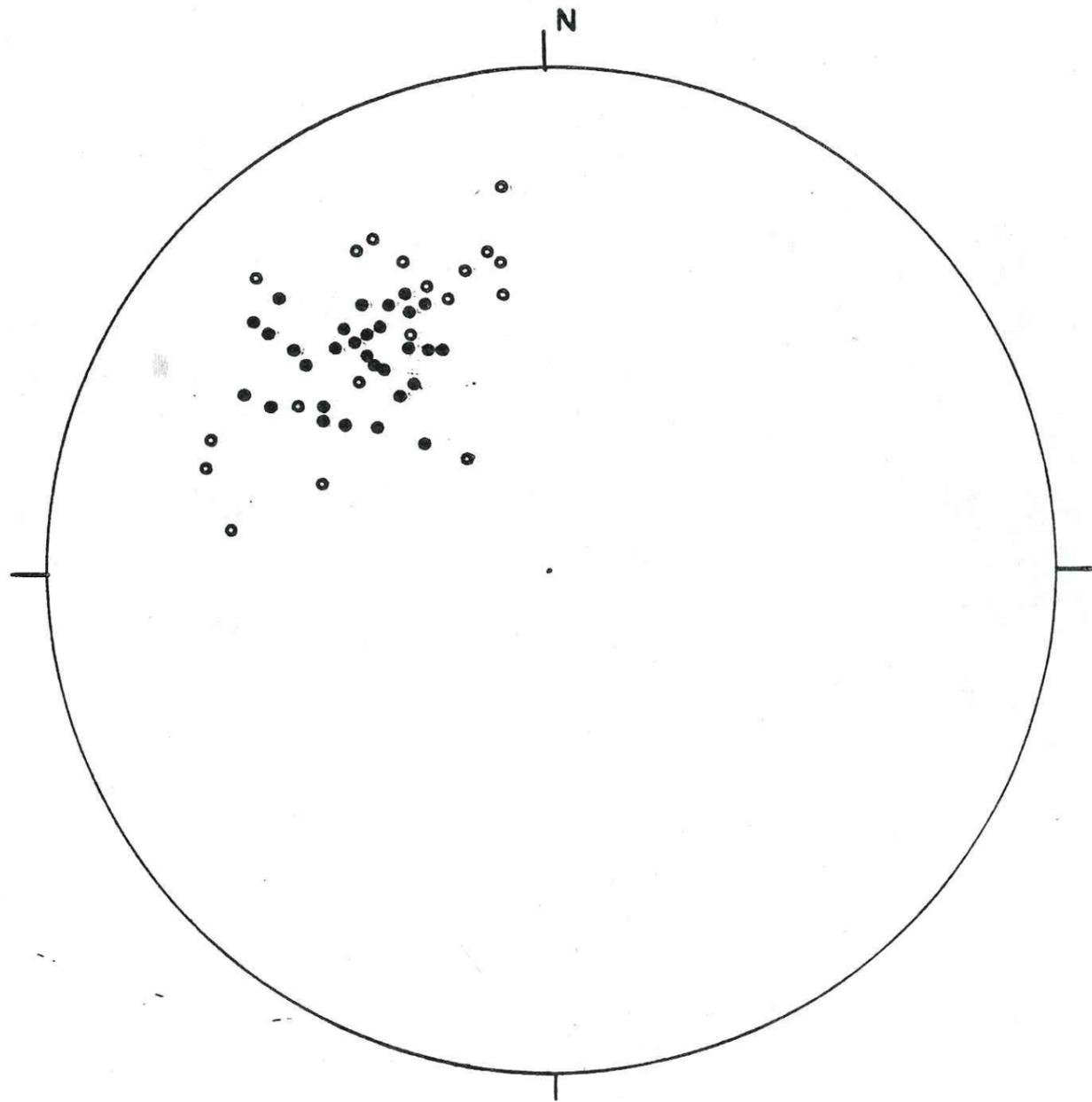
ROSACE DES LINEAMENTS
D'APRES PHOTO AERIENNE



STEREOGRAMME DES POLES DE PLANS DE
SCHISTOSITE ET DE FRACTURATION
RELEVÉS EN GALERIE

(hémisphère inférieur)

- pôles des plans de schistosité
- pôles des plans de fracturation



SCHEMA GEOLOGIQUE DU NORD DE BELLEDONNE

pouvant atteindre 15 millimètres et contenant des inclusions de bismuth, bismuthinite, cosalite, chalcopryrite, or, cubanite ; soit en petits cristaux automorphes. Les grandes plages d'arsénopyrite très corrodées sont souvent associées à des zones riches en biotite;

- de la pyrrhotine altérée;
- de la pyrite subautomorphe;
- de la scheelite sous forme de belles plages craquelées et plurimillimétriques (jusqu'à 20 mm). Des fissures renfermant de la gangue et des petits cristaux d'arsénopyrite. Les contacts avec l'arsénopyrite sont francs;
- de l'ilménite très abondante dans la roche sous forme de petits cristaux tabulaires subautomorphes de dimensions maximales 10 microns, allongés suivant la schistosité et très corrodés. Elle est souvent associée à du sphène et du rutile;
- de la blende, très rare;
- l'or n'a été vu qu'au fort grossissement et sous forme de petits grains de 1 micron contenus dans l'arsénopyrite.

2142 Géométrie et extension de la minéralisation

L'examen de photos aériennes (fig. I2) nous fournit des indications sur les fractures de la région de ST Paul sur Isère. La figure I3 montre 3 directions principales de linéaments :

- les N 10 à N 20 E sont les plus nombreuses. Elles correspondent certainement aux fractures $\begin{matrix} 10 \text{ à } 20 \\ / \\ 50 \end{matrix}$ observables en galeries à la faveur desquelles apparaît la minéralisation en scheelite;
- les N 50 E correspondent à la direction de schistosité des micaschistes;
- les N 100 à N 120 E ; c'est notamment sur une de ces failles que se situent les travaux des Danches et la fouille du Séminaire.

Nous avons relevé en galerie les plans de schistosité et les fracturations ; les résultats portés sur le stéréogramme (fig. I4) permettent de retrouver la schistosité ($\begin{matrix} / \\ 50 \\ / \end{matrix}$). La fracturation oscille entre N 20 et N 80 E avec le même pendage de 50 ° S E.

L'examen d'une photo prise par satellite (ERTS) permet de mettre en évidence un "accident" bien visible, de direction N 70 E (fig I5), traversant le massif du Grand Arc.

Ainsi le gisement de St Paul sur Isère se présente sur une zone fracturée N 100 E découpée par des failles N 20 E. Il est intéressant de noter que le gisement du Longeray (commune de Bonvillard - Savoie), à minéralisation de blende, galène, et barytine est situé sur le flanc Ouest du Grand Arc sur ce même "accident". Ce gisement possède une structure analogue ; panneaux de direction N 130 E découpés par des failles N 10 à N 20 E (21). Ces zones fracturées et minéralisées de direction moyenne N 120 E peuvent représenter les fentes de tension (33) disposées en échelon de l'"accident" N 70 E, celui-ci jouant comme un décrochement dextre.

Nous avons cherché à retrouver l'aval et l'amont-pendage de la minéralisation. Une prospection à la lampe ultraviolette de nuit sur les affleurements en bordure des routes situées au-dessus et au-dessous des travaux s'est révélée négative. Aucune extension n'a donc été reconnue actuellement.

215 - Résultat des analyses

2151 Les arsénopyrites

Les 6 échantillons analysés, dont le lieu de prélèvement est indiqué sur les plans en annexe, et dont les teneurs sont reportées dans les tableaux 6 et 7, possèdent des points communs :

- les lanthanides sont à des teneurs trop faibles pour être dosés (0, 1 ppm atom. / Fer) ;
- les corrélations entre les teneurs et la position topographique ne ressortent pas. Il semble cependant se dessiner une évolution des teneurs en tungstène : les

parties amont (4 et 6) étant enrichies;

- on note un enrichissement général en titane dû probablement à de très fins cristaux d'ilménite non triables à cause de leurs dimensions;

- l'or n'est présent que dans l'échantillon (4) et à des teneurs faibles (3 ppm atom./Fer) pour un échantillon provenant d'une mine d'or !. Ceci pose le problème de l'or, son origine et son mode de gisement.

Le tellure suit la répartition de l'or ; en effet, l'arsénopyrite (4) contient la plus grosse quantité (200 ppm atom./ Fer). Il serait néanmoins nécessaire de le voir confirmer sur d'autres échantillons.

L'examen des teneurs ainsi que le lieu de prélèvement nous conduisent à regrouper certains échantillons :

- les échantillons (1) et (6) ont des teneurs comparables (mis à part le tungstène) ; ils possèdent tous deux un enrichissement en cuivre important (1200 à 1300 ppm atom./ Fer) et des teneurs moyennes pour les autres éléments. Ce sont les échantillons les plus extrêmes au point de vue topographique;

- les arsénopyrites (2) et (3) sont les seuls échantillons à ne montrer aucun enrichissement pour tous les éléments. Ce sont les seuls à ne pas appartenir à une zone à biotite;

- le tungstène n'apparaît que dans (4) et (6) et en quantités importantes. (1700 à 2700 ppm atom./ Fer). L'examen de sections polies montre que l'arsénopyrite ne contient pas d'inclusions de scheelite et donc que le tungstène est contenu dans les cristaux sous une forme qui reste à déterminer;

- les rapports Co / Ni et Rb / Sr permettent de distinguer l'échantillon (3) provenant d'arsénopyrite en amas dans un filon de quartz. En effet le tableau suivant nous donne une valeur variant de 0,2 à 1 pour Co / Ni et une valeur de Rb / Sr voisine de 0,2 sauf pour (3).

	1	2	3	4	5	6
Co / Ni	0,23	0,40	11	0,75	1	0,32
Rb / Sr	0,18	0,20	0,0006	0,20	0,60	0,30

2152 Les biotites (tab 8 et 9)

L'échantillon (10) est enrichi notamment en Cl, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Ba, et W, à comparer des trois autres biotites. Par contre les lanthanides sont en faibles quantités et seuls sept éléments ont pu être dosés. La courbe de répartition des lanthanides, représentée sur la figure I6, a été tracée avec les teneurs de la biotite (7) après normalisation avec les coefficients chondritiques (23). Ce profil montre :

- une allure descendante que l'on peut caractériser par le rapport des terres cériques (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) aux terres yttriques (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu);

$$\frac{\sum \text{terres cériques}}{\sum \text{terres yttriques}} \approx 10$$

- une rupture nette entre les terres cériques et les terres yttriques, ces dernières ayant un profil en dents de scie avec notamment une anomalie négative du Gallium;

- les rapports Co / Ni et Rb / Sr sont comparables pour les quatre biotites ;

	7	8	9	10
Co / Ni	0,28	0,15	0,1	0,14
Rb / Sr	2,8	2,3	2,6	1

Nous avons analysé une biotite du granite de Cevins ainsi que des biotites appartenant aux différents granites de Belledonne (Epierre, Outray, Rocheray, Beaufort) tous possédant des minéralisations à leur proximité (Fe, Cu, Zn pour les granites d'Epierre et de Beaufort, fluorine pour celui du Rocheray, uranium et cuivre pour Beaufort et Outray) (tab. 10 et 11) ;

- les rapports Co / Ni et Rb / Sr permettent de différencier le granite de l'Outray par Co / Ni = 6 et Rb / Sr = 5,3 ;

	Epierre	Outray	Cevins	Rocheray	Beaufort
Co / Ni	0,30	6	0,28	0,02	0,24
Rb / Sr	2,50	5,30	3,50	10	10

- tous ont des teneurs élevées en baryum (2000 à 10 000 ppm atom/ Fer) ;

- le granite de l'Outray se caractérise par une forte teneur en thorium (170 ppm atom/ Fer) ;

- le granite de Cevins est enrichi en Pb et U ;

- Cu, Zn, Ni, Se, Nb, Mo, Cs, Ag, U montrent des teneurs plus élevées dans l'échantillon de biotite du granite du Rocheray ;

- aucune relation semble se dessiner entre les arsénopyrites de St Paul sur Isère et la biotite du granite de Cevins ;

- les différents profils de répartition des lanthanides ont été tracés (fig. 17) ; ils montrent tous une allure descendante analogue aux profils des biotites des granites du Pelvoux (34). Seul le gadolinium permet peut-être de séparer les granites d'Outray et d'Epierre d'une part, avec une anomalie positive du Gd, des granites du Rocheray et de Cevins d'autre part, avec une anomalie négative du Gd.

2153 Le problème du tungstène

La minéralisation en scheelite est localisée dans la partie basse des travaux des Danches (cf. plans en annexe) Cependant les analyses des arsénopyrites montrent un enrichissement en tungstène, non exprimé minéralogiquement, dans les galeries supérieures.

Ainsi la minéralisation en scheelite des zones inférieures semble diminuer vers le haut et donner lieu, par contre, à un enrichissement en tungstène des arsénopyrites sans qu'il nous soit possible actuellement de préciser sous quelle forme il s'y trouve.

L'analyse de la scheelite est donnée dans le tableau 12. Outre les éléments constitutifs majeurs de la scheelite, le titane n'y figure pas sa teneur étant trop élevée (quelques pour cent). On remarque que Si, Fe, As, Sr, Y sont très abondants. Certaines de ces anomalies peuvent provenir en partie de minuscules cristaux de quartz, arsénopyrite, ilménite et sphère non séparables.

Le profil de répartition des lanthanides, tracé après normalisation aux chondrites se caractérise par un rapport

$$\frac{\sum \text{terres cériques}}{\sum \text{terres yttriques}} \approx 0,5 \quad \text{indiquant un enrichissement en Terres lourdes, fait renforcé par la forte teneur en yttrium. On note également l'anomalie positive de l'euporium.}$$

sement en Terres lourdes, fait renforcé par la forte teneur en yttrium. On note également l'anomalie positive de l'euporium.

Ce profil peut suggérer une origine sédimento-métamorphique de la scheelite ainsi que l'indique parfois l'enrichissement en Terres lourdes (23) ; en effet, BALASHOV (2) a constaté que des sédiments marins déposés au niveau de zones profondes étaient enrichis en Terres lourdes. Par ailleurs une comparaison du gisement de St Paul sur Isère à d'autres gisements connus de scheelite permet de faire ressortir certains caractères pouvant évoquer une origine volcano-sédimentaire :

- En Autriche, le gisement exploité de Felbertal près de Mittersill possède une minéralisation en scheelite localisée dans une série datant du Paléozoïque et métamorphisée à l'Alpin.

Les minéralisations en scheelite présentant un caractère économique sont connues dans les 300 derniers mètres d'une épaisse série volcanique (3000 m) comprenant des cycles d'amphibolites et des schistes à hornblende. La scheelite se rencontre dans différents types de roches mais affecte essentiellement des quartzites.

R.HOLL (20) distingue trois générations de scheelite :

1) une génération primaire de formation syngénétique-diagenétique due à l'interaction de solutions hydrothermales et de processus de sédimentation. Les quartzites à scheelite, formant 90 % du minerai, appartiendraient à cette première génération;

2) une seconde génération avec des porphyroblastes de scheelite, formée à partir du tungstène de la première génération au cours du métamorphisme régional alpin;

3) une troisième génération de type fissural mise en place au cours des phases tectoniques, postérieures au métamorphisme, lors du soulèvement de la série.

- Des indices de scheelite ont été découverts durant les dix dernières années dans le Midi de la France dans des gneiss et des micaschistes, loin de tout massif granitique (4). Parmi eux les indices de St Pons et de l'Arize possèdent des analogies avec celui de St Paul sur Isère :

- l'indice de St Pons (Cévennes) est constitué de scheelite disséminée dans des micaschistes à biotite, déposée préférentiellement dans les plans de schistosité;

- l'examen de l'indice de l'Arize (Ariège) suggère l'existence d'un niveau porteur au sein de micaschistes biotitiques situés à la base du paléozoïque métamorphique.

Quels que soient ces indices, il faut admettre l'existence de facteurs de concentration très puissants. BEZIAT et TOLLON (4) invoquent les forts gradients thermiques engendrés par la mise en place de granites.

- Des analyses de sédiments ont été effectuées pour préciser les teneurs en tungstène : ISAYEVA () a montré que des sédiments marins peuvent être enrichis en tungstène (12 à 20 ppm alors que la moyenne est de 1 à 2 ppm)

lorsqu'une activité volcanique est proche.

Des analyses à la microsonde effectuées sur des grès minéralisés du "Tungsten Belt rovandais" par L. VAN WAMBECKE () font apparaître des concentrations de tungstène dans les inclusions microscopiques de leucoxène (adsorption lors du dépôt). Ce tungstène n'est pas exprimé minéralogiquement.

- Les gisements de pyrite de Tchécoslovaquie ont été étudiés par CAMEL et JARKOVSKY (9) ; une de leur principale conclusion est que les règles de distribution de Ni et Co dans la pyrite apparaissent comme un facteur décisif de détermination de l'origine sédimentaire de la pyrite : une nette prédominance de Ni sur Co a été constatée dans la majorité des pyrites sédimentaires étudiées actuellement. Cependant il faut être prudent en généralisant ces conclusions sur les pyrites aux arsénopyrites bien que ces minéraux soient de composition voisine.

On voit donc que les analogies ne manquent pas avec le gisement de St Paul sur Isère :

- L'existence de micaschistes à biotite, dans lesquels l'arsénopyrite est enrichi en tungstène.

- Minéralisation concordante, mis à part des filonnets résultant de remobilisations tardives.

- Présence d'une série volcano-sédimentaire ; la forte teneur en Ti pouvant indiquer un épisode volcanique. En outre le tellure, élément typique des gîtes liés au volcanisme ou aux séries volcano-sédimentaires est abondant.

- Relation peu évidente avec le granite de Cevins, ce dernier pouvant cependant jouer le rôle de facteur de concentration.

- Des rapports Co / Ni des arsénopyrites inférieurs à 1.

Ainsi on peut, en résumé, proposer l'hypothèse suivante :

- Dépôt d'une série volcano-sédimentaire avec enrichis-

sement de certains horizons en W et As non exprimés minéralogiquement. L'ilménite caractérisant les séquences volcaniques subira par la suite tous les épisodes métamorphiques ce qui explique son intense corrosion.

- Au cours de l'orogénèse hercynienne, des phénomènes métamorphiques et des granitisations permettent, par l'intermédiaire de gradients thermiques forts et de fluides hydrothermaux sulfurés, une minéralisation disséminée dans les micaschistes de scheelite, arsénopyrite, pyrrhotite, chalcoppyrite, or, ..., dans des zones de tension (N 100 E) peut-être liées à un décrochement ("accident du Grand Arc").

- Les mouvements alpins découpent la zone minéralisée par de petites failles (N 20 et N 50 E et remobilisent les minéralisations en donnant des amas d'arsénopyrite dans des filons de quartz ainsi que des filonnets à scheelite.

Il ne faut pas oublier que cette hypothèse est basée sur quelques analyses de minerais et sur la comparaison avec d'autres gisements reconnus d'origine sédimentaire. Cependant, rien n'a été observé permettant d'infirmier cette proposition.

L'hypothèse filonienne est, bien sûr, toujours possible et met en jeu des fluides de type pneumatolytique de haute température qui permettent la minéralisation disséminée avec apparition de la biotite dans les micaschistes de la série satinée (12). Ces fluides circulent à la faveur des fentes de tension de l'"accident du Grand Arc" en donnant à St Paul sur Isère des minéralisations chaudes, et, au Longeray, des venues plus froides. Des remobilisations tardives donnent lieu à la formation d'amas d'arsénopyrite et de filonnets de scheelite. Enfin des failles N 10 à N 20 E découpent ces gisements. Cette hypothèse filonienne semble renforcée par les travaux en cours de A. RICHARD

En résumé les deux hypothèses ne diffèrent entre elles que par la préconcentration possible de tungstène et d'arsenic lors du dépôt de la série volcano-sédimentaire. Cette différence, apparemment minime, est très importante, cependant, du point de vue économique : l'hypothèse sédimento - métamorphique ouvrirait des perspectives beaucoup plus intéressantes que l'hypothèse filonienne.

2154 Le problème de l'Or

Les analyses géochimiques et l'examen des sections polies montrent qu'à St Paul sur Isère l'or n'est présent dans l'arsénopyrite qu'à des teneurs faibles (3 ppm atom./Fer). Cependant les travaux étaient menés pour l'exploitation de l'arsénopyrite aurifère (chapitre 21) : deux solutions se présentent :

- soit l'arsénopyrite aurifère a été dépilée,
- soit l'or est contenu dans d'autres minéraux notamment dans la pyrite.

Il ne faut pas oublier en effet que l'or et l'arsénopyrite ne sont pas toujours associés ; on peut trouver l'or

- soit dans des paragenèses sans arsénopyrite (quartz et pyrite surtout) exemple : Alagna (Italie) La Gardette (Isère),
- soit dans des paragenèses à arsénopyrite :
 - contenu dans l'arsénopyrite comme au Chatelet dans le Massif Central,
 - en dehors du minéral lui-même comme à Salsigne (Aude) (31)

Aux U.S.A., dans les mines Cortez et Carlin (Névada) à paragenèse or, pyrite, chalcoppyrite, arsénopyrite, blende, des analyses à la microsonde effectuées sur les grains de pyrite ont révélé que l'or, non visible au microscope, se concentre dans les cristaux de pyrite de petite dimension (< 5 microns). Des analyses semblables sur les pyrites de St Paul sur Isère seraient à effectuer.

Quant au transport de l'or, les études menées par SEWARD (28) montrent que l'or peut être transporté dans les fluides hydrothermaux sous forme de thiocomplexes : $Au_2 (HS)_2 S^{2-}$ dans les solutions alcalines, $Au (HS)_2^-$ dans les solutions neutres et $Au (HS)$ en milieu acide. Il est permis de penser que l'or a pu précipiter sur les sulfures à partir de chlorure d'or (31)

résultats en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

	① niveau 579 arséno pyrite dans micaschiste à biotite	② niveau 600 arséno pyrite au croisement de failles	③ niveau 600 arséno pyrite dans filon de quartz
P	1200	3000	8
Cl	800	350	800
Ti	majeur	majeur	1000
V	120	100	110
Cr	450	120	150
Mn	4000	2000	700
Co	350	600	700
Ni	1500	1500	60
Cu	1200	130	70
Zn	170	150	6
Se	120	80	30
Rb	45	150	1
Sr	250	800	1500
Y	20	10	1
Zr	90	60	1
Nb	< 1	< 1	< 1
Mo	17	12	15
Ag	45	20	4
Sn	7	2	5
Sb	200	200	45
Te	25	45	20
Cs	5	< 1	< 1
Ba	35	60	1
W	2	4	3
Au	< 1	< 1	1
Pb	25	15	2
Bi	20	12	30

	④ niveau 600 arséno pyrite dans micaschiste à biotite	⑤ niveau 620 arséno pyrite dans micaschiste à biotite	⑥ niveau 630 arséno pyrite dans micaschiste à biotite
P	2500	1700	500
Cl	800	200	350
Ti	majeur	6000	majeur
V	200	60	150
Cr	250	200	450
Mn	230	200	2000
Co	450	2000	800
Ni	600	1700	2500
Cu	12	200	3000
Zn	60	50	270
Se	40	60	50
Rb	250	5	500
Sr	1200	8	1500
Y	5	6	10
Zr	50	50	170
Nb	< 1	5	< 1
Mo	45	< 1	12
Ag	11	17	27
Sn	2	1	4
Sb	150	60	200
Te	200	50	35
Cs	< 1	< 1	< 1
Ba	80	4	120
W	1700	3	2700
Au	3	1	< 1
Pb	45	1	7
Bi	40	6	70

BIOTITES DE S^t PAUL sur ISERErésultats en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

	⑦ niveau 600 biotite dans micaschiste	⑧ niveau 600 biotite dans mica- schiste broyé par pailles	⑨ niveau 600 biotite dans mica- schiste	⑩ niveau 630 biotite dans micaschiste
P	majeur	10000	8000	majeur
S	2500	majeur	majeur	majeur
Cl	6000	1500	1700	majeur
V	2500	2000	3000	2500
Cr	5000	2000	5000	8000
Mn	majeur	2500	majeur	majeur
Co	700	70	17	170
Ni	2500	450	170	1200
Cu	40	60	9	3000
Zn	2500	700	1200	8000
Ga	1500	300	450	3000
As	1000	majeur	5000	majeur
Se	70	80	10	80
Rb	10000	3500	4000	majeur
Sr	3500	1500	1500	10000
Y	250	120	100	400
Zr	2000	200	450	8000
Nb	150	30	170	500
Mo	12	25	3,5	20
Ag	3	1	1,4	30
Sn	70	20	7	40
Sb	450	20	15	250
Cs	1000	250	350	2000
Ba	3000	700	1700	10000
W	45	30	15	120
Tl	1	8	<1	5
Pb	5	2	<1	40
Bi	1	6	<1	3
Th	2	3	1	2
U	3	1	1	1

BIOTITES DE S^t PAUL sur ISERE (suite)

Lanthanides :

	⑦	⑧	⑨	⑩
La	170	25	35	120
Ce	200	70	120	350
Pr	40	90	8	25
Nd	100	400	45	250
Sm	17	<1	<1	35
Eu	10	20	"	170
Gd	2	<1	"	80
Tb	25	<1	"	<1
Dy	1	<1	"	"
Ho	8	<1	"	"
Er	1,2	<1	"	"
Tm	12	<1	"	"
Yb	1	<1	"	"
Lu	1	<1	"	"

GRANITES DE BELLEDONNE : ANALYSE DES BIOTITES

résultats en atomes pour 10^6 atomes de Fer

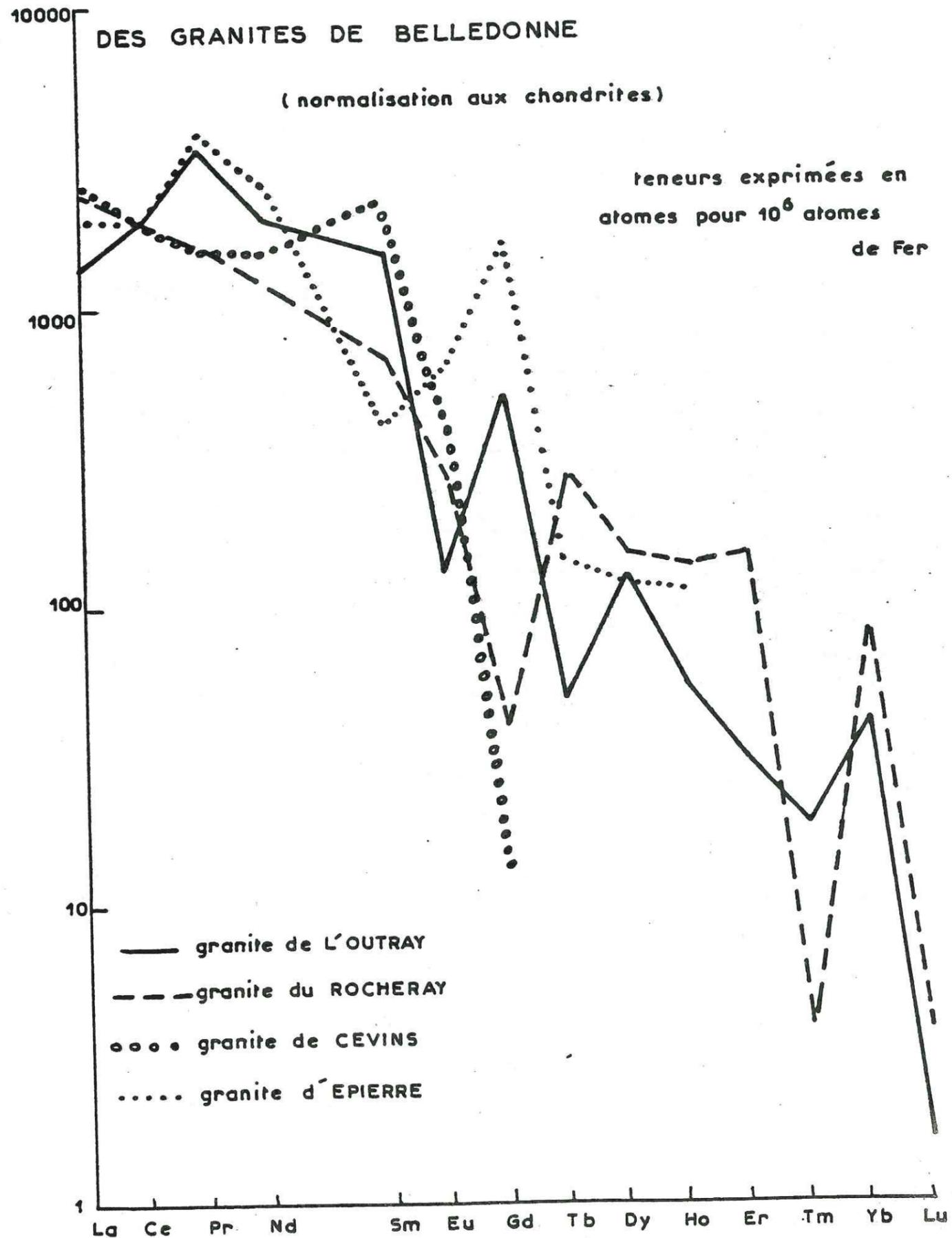
	EPIERRE biotite	OUTRAY biotite	CEVINS chlorite	ROCHERAY biotite	BEAUFORT biotite
P	2500	majeur	majeur	10000	majeur
S	150	1700	4000	2500	500
Cl	250	7000	6000	2000	2000
V	3500	1700	700	3500	7000
Cr	2000	4000	350	4000	majeur
Mn	7000	9000	majeur	majeur	majeur
Co	100	1500	170	90	120
Ni	300	250	600	4000	500
Cu	70	50	700	1500	35
Zn	700	1000	1200	4000	500
Ga	1000	1000	1700	1000	300
As	200	170	1700	800	20
Se	20	40	20	120	45
Rb	2000	9000	6000	majeur	majeur
Sr	800	1700	1700	600	700
Y	60	300	120	600	45
Zr	450	1000	450	1500	150
Nb	60	120	100	400	100
Mo	20	17	12	100	20
Ag	0,6	2	1	10	2
Sn	70	60	90	70	45
Sb	3	8	4	5	2
Cs	70	250	350	1200	400
Ba	2000	1700	10000	5000	10000
W	6	8	6	10	5
Tl	1	3	10	3	7
Pb	35	50	350	70	100
Bi	1	2	6	1	2
Th	5	170	35	20	1
U	2	4	15	12	2

GRANITES DE BELLEDONNE :
ANALYSE DES BIOTITES (Lanthanides)

	EPIERRE	OUTRAY	CEVINS	ROCHERAY	BEAUFORT
La	100	450	700	400	80
Ce	300	2000	1500	1000	170
Pr	70	400	170	100	25
Nd	250	1200	800	300	45
Sm	12	300	350	70	
Eu	7	8	25	10	
Gd	80	170	3,5	7	
Tb	1,2	1,2		7	
Dy	6	40		25	
Ho	1,2	4		5	
Er		6		15	
Tm		0,6		0,7	
Yb		8		10	
Lu		0,5		1	

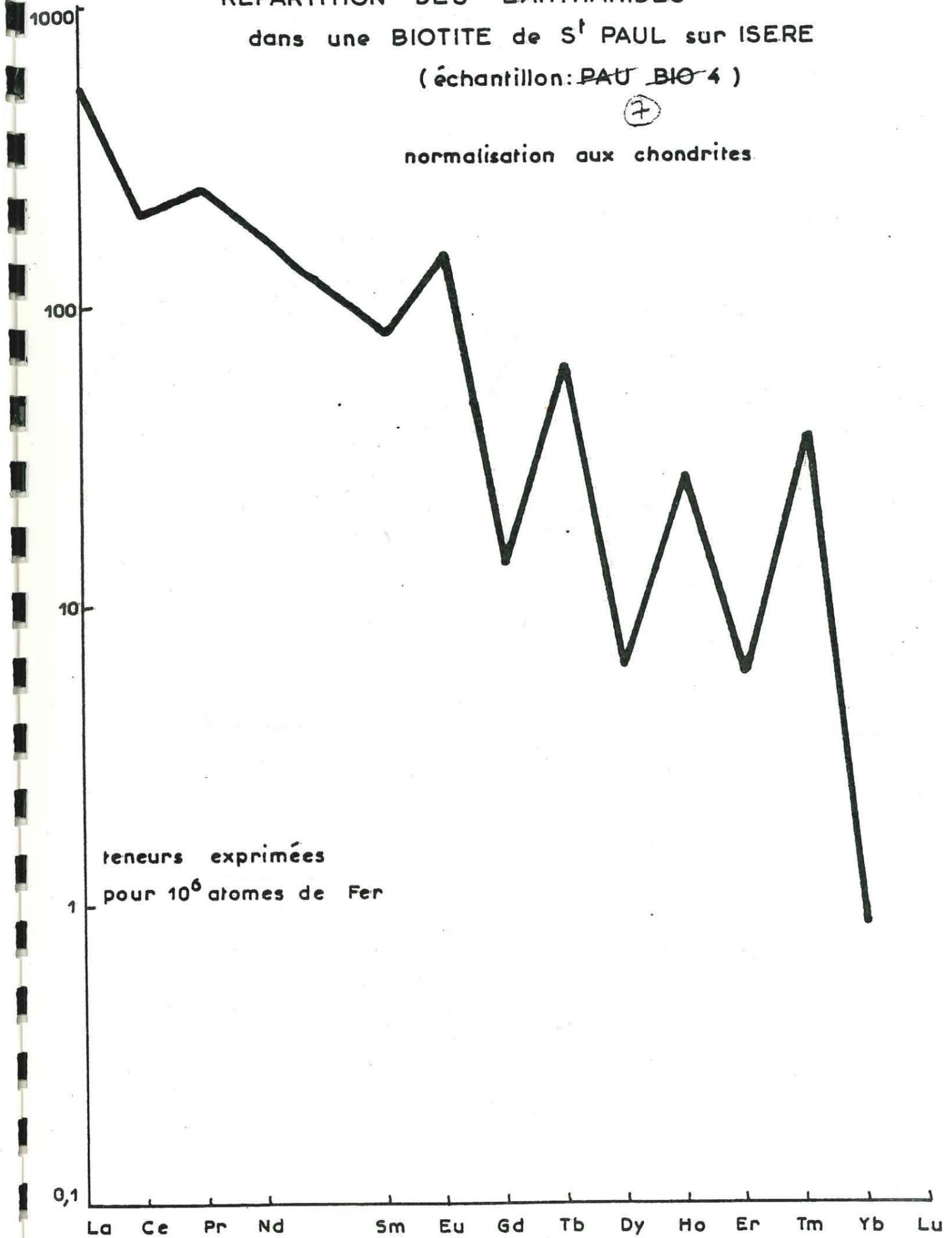
REPARTITION DES LANTHANIDES DANS LES BIOTITES
DES GRANITES DE BELLEDONNE

(normalisation aux chondrites)

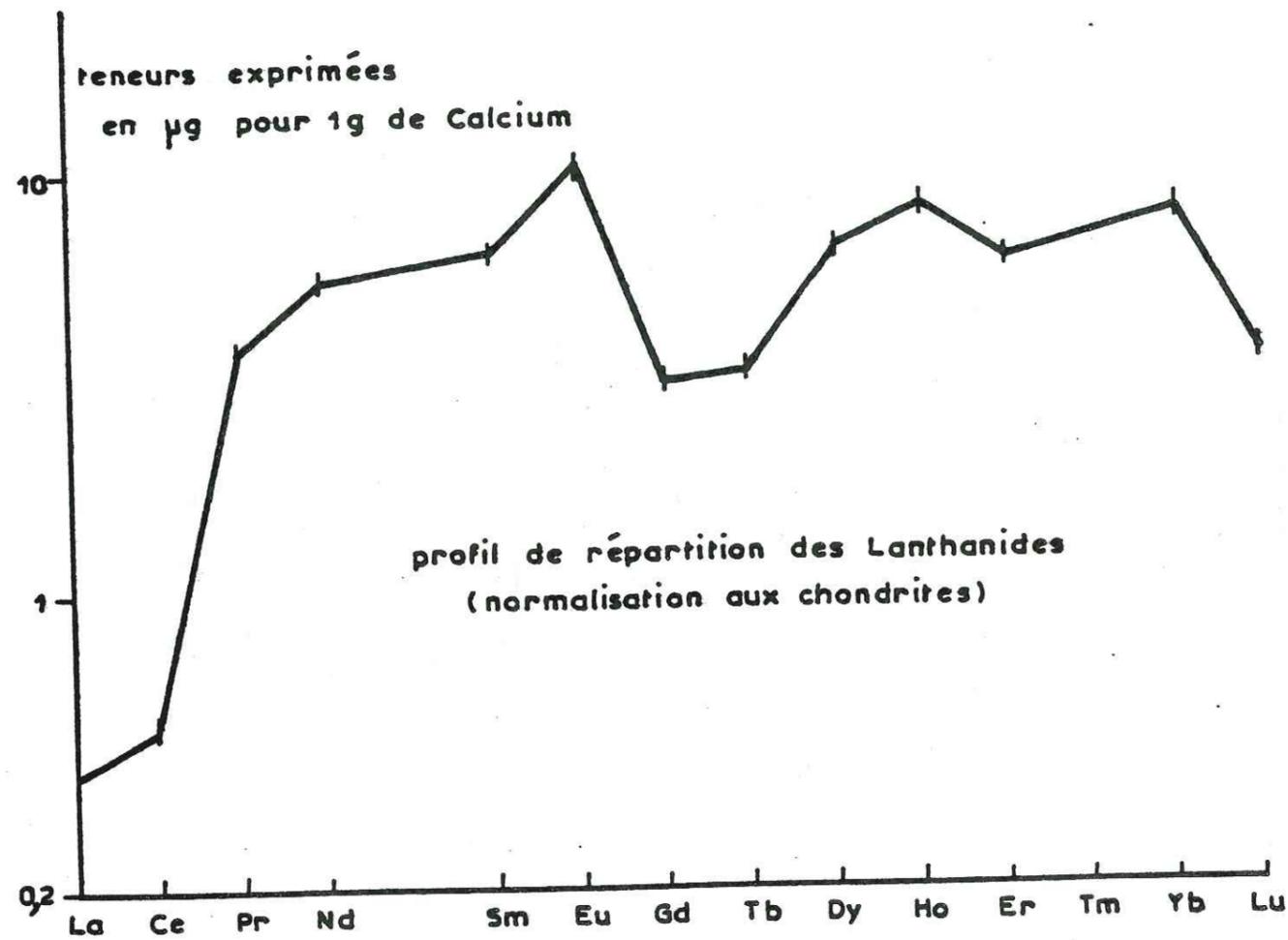


REPARTITION DES LANTHANIDES
dans une BIOTITE de S^t PAUL sur ISERE
(échantillon: PAU BIO 4)

(7)
normalisation aux chondrites.



LA SCHEELITE DE S^t PAUL sur ISERE :
RESULTATS DES ANALYSES



élément	Si	P	S	Cl	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb
teneurs en µg/g de Ca	2100	15	720	50	5	6300	4	10	1	55	1700	7
	Sr	Y	Mo	Sb	Ba	Au	Pb	Bi	Σ des lanthanides			
	600	300	6	4,5	12	0,15	18	3	70			

22) Les indices de Tours sur Isère et St Thomas

Nous les avons regroupés car ils sont semblables par leur position géographique et par leurs caractères géochimiques.

22I L'indice de Tours sur Isère ($x= 920,32$; $y= 81,50$; $z= 735 ?$)

Décrit par P.A. POULAIN (21) son accès est très difficile et nous n'avons pas retrouvé les travaux. Il se trouve dans une faille de micaschistes au dessus du village de Tours sur Isère ; il faut remonter le "Grand Couloir" et prendre un sentier à peine marqué ; les travaux doivent se situer en contrebas de ce chemin. Cependant la végétation et la raideur de la pente gênent les recherches. De plus aucune halde n'est visible.

L'échantillon analysé provient de la collection du BRGM (L Y 344 070 IOI). Il contient exclusivement de l'arsénopyrite avec un peu de pyrite et du quartz. A la binoculaire les cristaux d'arsénopyrite sont petits, automorphes et remarquablement frais comparés à ceux de St Paul sur Isère.

222 L'indice de St Thomas ($x= 918,500$; $y= 81,250$; $z= 338$)

Signalé par H.DABROWSKI, il est situé à l'extrémité Nord du massif du Grand Arc. On y accède par un chemin longeant l'Isère en rive gauche et menant du hameau du Charanger (commune d'Essert-Blay) au pont Albertin (Albertville). L'indice se trouve dans le champ de tir militaire et est marqué T H O sur l'affleurement.

Il s'agit d'un filon de quartz et d'arsénopyrite de 10 centimètres de puissance, de direction $\begin{matrix} 40 \\ / \\ 50 \end{matrix}$ et apparaissant en relief dans la schistosité des micaschistes de la série satinée. La minéralisation comprend essentiellement de l'arsénopyrite massive en très fins cristaux avec de la pyrite. L'extension du filon se suit sur quelques mètres et disparaît sous la couverture végétale.

223 Résultats des analyses (tab I3)

Ils sont très différents, par leurs analyses, des arsénopyrites de St Paul sur Isère. Le point le plus important est l'enrichissement des deux échantillons en plomb et surtout en antimoine.

L'échantillon de Tours présente une teneur particulièrement faible en titane.

St Thomas est enrichi en alcalins (Rb, Sr...) et sa teneur en Si indique une pollution probable par du quartz lors de l'analyse.

L'enrichissement en antimoine, leur position géographique, qui les place loin de St Paul sur Isère mais près de l'indice de stibine du Pont Albertin au Sud d'Albertville (fig.9), enfin la proximité d'indices de stibine signalés dans le doron de Beaufort, font qu'il semble se dessiner vers le Nord de St Paul sur Isère une zone caractérisée par un enrichissement en antimoine.

67
INDICES DE TOURS ET S^t THOMAS :

tab 13

ARSENOPYRITES ET BIOTITES

résultats en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

	indice de S ^t THOMAS Arsénopyrite dans filon de Quartz	indice de TOURS Arsénopyrite massive
P	900	1000
Cl	650	200
Ti	1500	6
V	50	3
Cr	6000	80
Mn	1700	20
Co	1200	120
Ni	900	300
Cu	80	25
Zn	30	8
Se	50	50
Rb	1500	20
Sr	4000	35
Y	2	3
Zr	17	6
Nb	< 1	< 1
Mo	2	2
Ag	40	30
Sn	2	1
Sb	600	800
Te	5	8
Cs	< 1	< 1
Ba	300	2
W	5	3
Au	1,5	< 1
Pb	500	400
Bi	5	15

	indice de TOURS Tourmaline verte (micaschiste)
P	1500
S	2000
Cl	7000
V	6000
Cr	7000
Mn	majeur
Co	800
Ni	1200
Cu	170
Zn	5000
Ga	3000
As	70
Se	70
Rb	1200
Sr	1500
Y	12
Zr	80
Nb	6
Mo	40
As	5
Sn	100
Sb	1
Cs	12
Ba	200
W	25
Te	< 1
Pb	100
Bi	25
Th	< 1
U	< 1

3 LES INDICES DE LA CHAÎNE DES HURETIÈRES

La chaîne des Huretières, située au Sud du confluent de l'Arc et de l'Isère est limitée par deux accidents de direction N 50 E : la faille du Grésivaudan au N W et le synclinal médian au S E. (fig.18). Elle appartient à la série satinée de la chaîne de Belledonne constituée de micaschistes plus ou moins chloriteux, de schistosité de direction moyenne N 20 E.

De nombreux indices minéralisés y ont été exploités, notamment au siècle dernier. Ils sont constitués principalement de sulfures dans une gangue quartzo-carbonatée. Les paragenèses les plus fréquentes sont : sidérite, blende, galène, chalcopryrite, pyrite.

L'arsénopyrite n'y est connue que dans deux indices :

- le filon de Noguillan,
- l'indice du Clapier.

31) Le filon de Noguillan (x= 904,600 ; y= 59,310 ; z= I450 - I550)

Il se situe sur le versant Est du pic de la Loze et a fait l'objet de plusieurs études (7, 23, 25).

Le filon, de direction $\frac{55}{100} \frac{25}{40}$ recoupe les micaschistes. Sa puissance varie de 1 mètre à la partie inférieure, à 3 mètres dans la partie supérieure. Il est visible sur 200 mètres de long et 100 mètres de dénivellement. Il disparaît brusquement au Nord et serait recouvert par la couverture morainique au Sud (25).

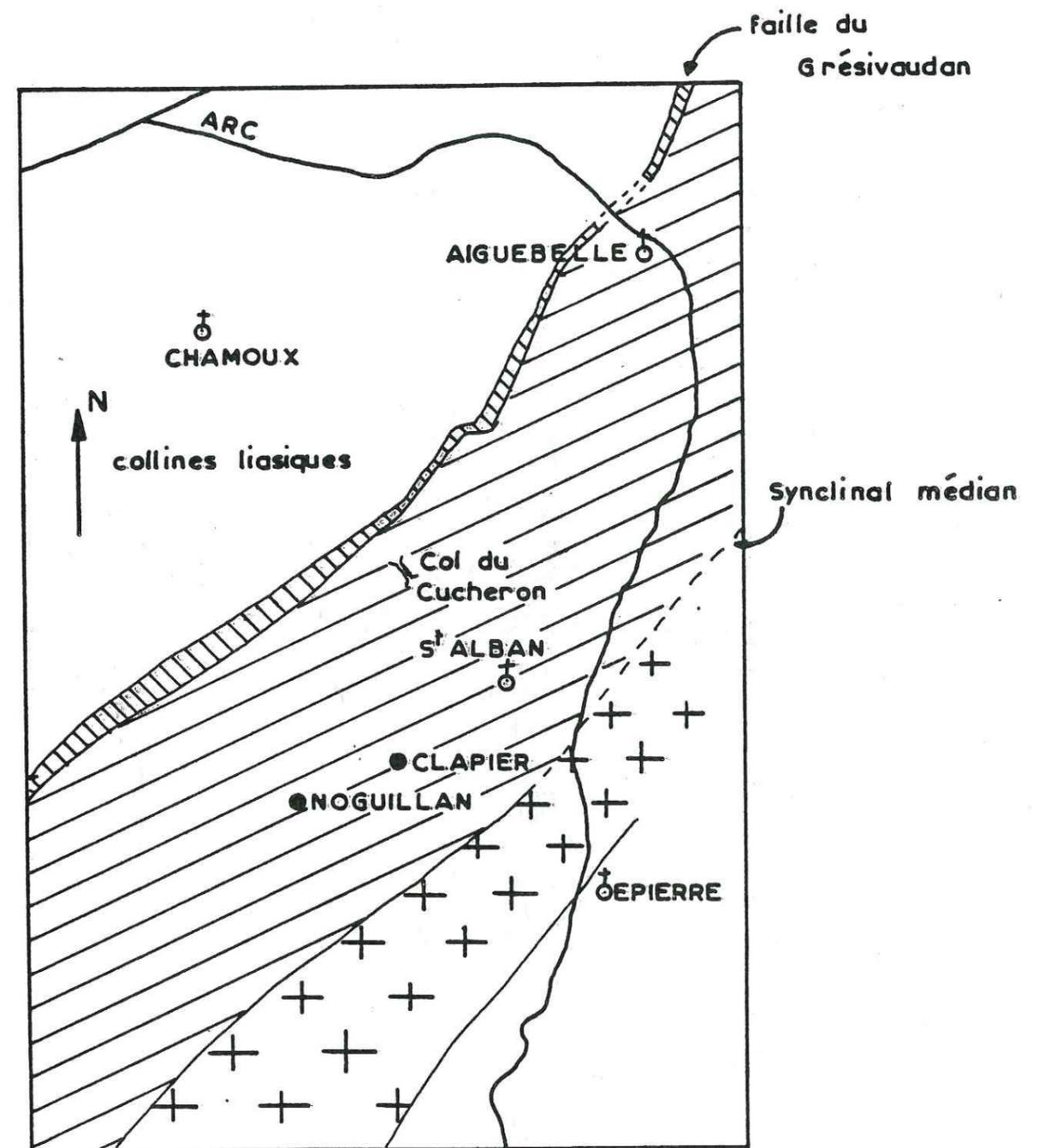
Les premiers travaux datent de 1812. Plus récemment, 3 galeries ont été creusées entre les années 1967 - 1970 dans le filon. De nombreuses tranchées et grattages correspondent à diverses recherches (fig.19).

La minéralisation est constituée essentiellement d'une brèche de sidérite et quartz cimentés par de la blende brune avec présence de chalcopryrite; pyrite et galène. CABROL (7) propose la succession des venues suivante :

- 1) quartz, sidérite, pyrite,
- 2) fracturation,
- 3) blende, chalcopryrite, galène.

L'arsénopyrite a été rencontrée au niveau I486. Les analyses de ce minéral effectuées par LE SUAVE (23) ont montré une quantité relativement notable de lanthanides. C'est le seul cas, avec l'indice du Clapier où les lanthanides sont décelables (fig.20)

SCHEMA GEOLOGIQUE



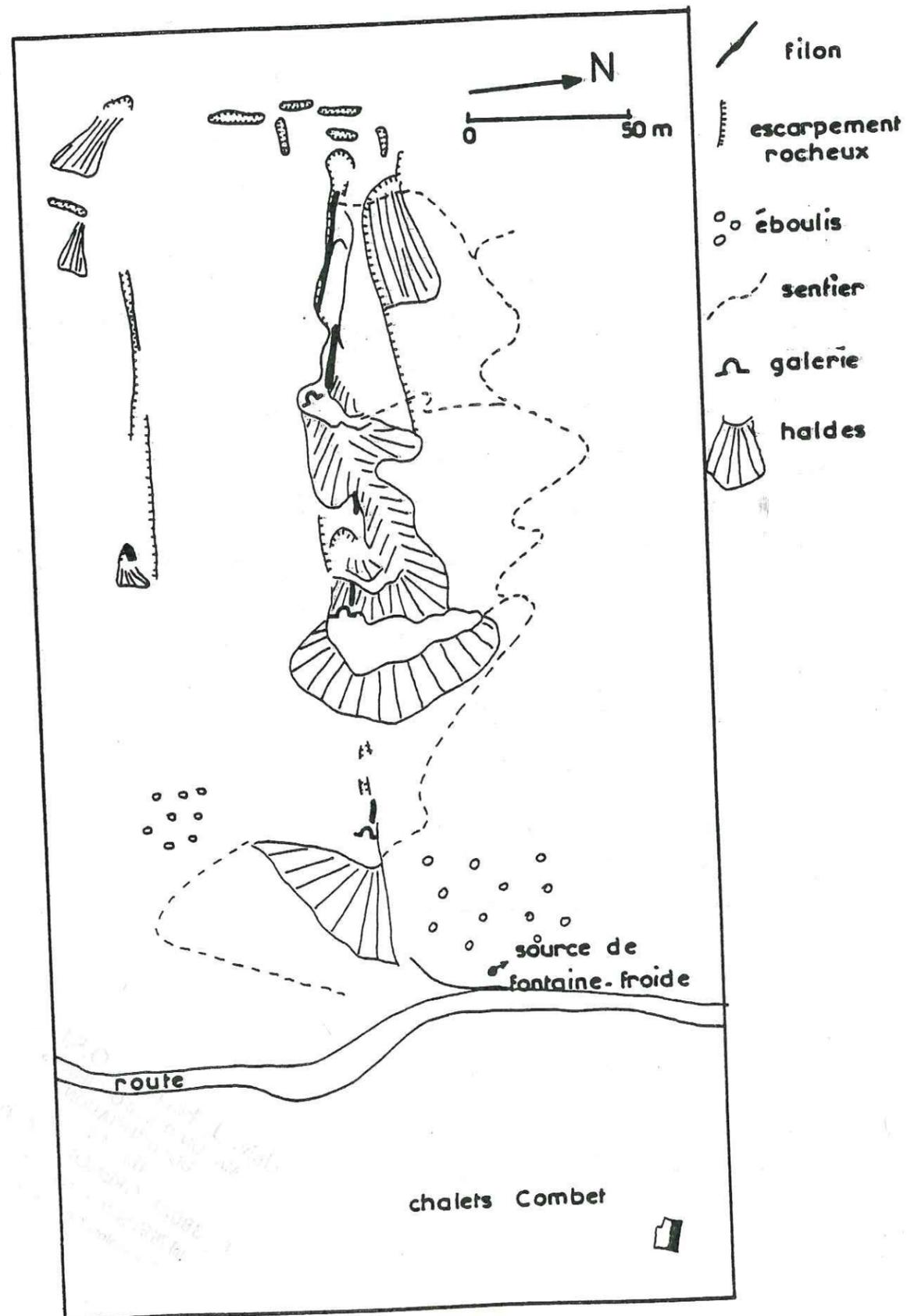
-  grès calcaires dolomitiques cargneules du Trias
-  micaschistes de la Série satinée
-  granite d'Epierre

ECHELLE: 1/100 000

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 43 58
 Mail: phalour@ujf-grenoble.fr

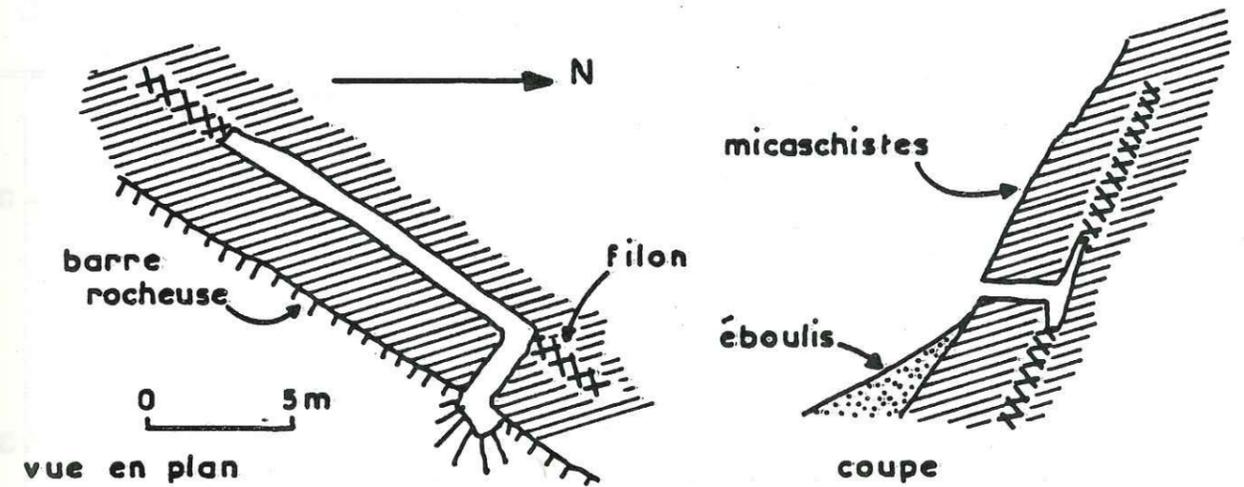
d'après B.CABROL

le filon de NOGUILLAN



32) L'indice du Clapier ($x= 906,60$; $y= 59,97$; $z= 1000$)

L'absence de chemin et le couvert végétal rendent son accès difficile. Il est en effet situé en plein bois au pied d'une petite barre rocheuse. Les travaux consistent en un court travers-bancs de 3 mètres puis d'une galerie en allongement de 15 mètres suivant le filon.



INDICE DU CLAPIER

La minéralisation est constituée uniquement d'arsénopyrite, avec pyrite et chalcoppyrite, disséminées dans une zone broyée de 30 centimètres de puissance interstratifiée dans les micaschistes $\begin{matrix} 35 \\ \diagdown \\ 65 \end{matrix}$. Pour CABROL (7) c'est l'unique cas dans le champ métallifère des Muratières où la direction du filon coïncide avec celle de la schistosité. Son extension est faible et on suit le filon le long de la barre rocheuse sur une dizaine de mètres.

En section polie, l'arsénopyrite est très corrodée avec un remplissage des fissures par du quartz et de la chalcoppyrite. CABROL (7) propose la succession des venues suivante :

- 1) pyrite,
- 2) arsénopyrite,
- 3) fracturation et quartz,
- 4) chalcoppyrite.

Les analyses sont reportées dans le tableau ci-après :

ARSENOPYRITES DE NOGUILLAN ET DU CLAPIER

FILON DU CLAPIER :

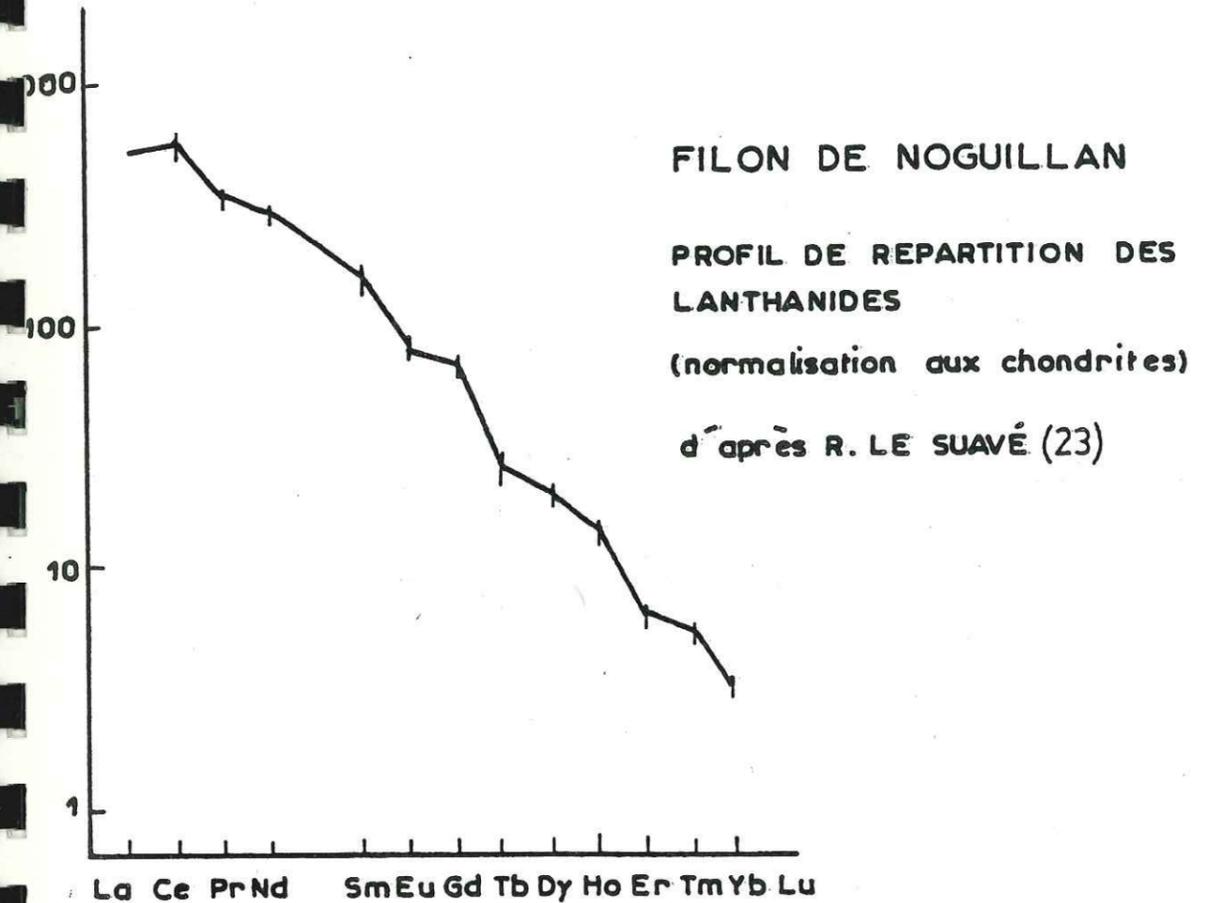
éléments	K	Ca	Ti	Mn	Cu	Zn	Se	Rb	Y
teneurs en atomes pour 10^6 atomes de Fer	2200	170	150	90	majeur	200	40	10	5
	Zr	Mo	Sn	Sb	Ba	W	Pb	Bi	
	5	8	700	30	1	22	3	5	

Les quatre points importants qui ressortent des analyses sont :

- forte teneur en étain (700 ppm atom./ Fer),
- forte teneur en cuivre,
- présence en quantités faibles de lanthanides,
- teneur en tungstène relativement élevée (22 ppm atom./ Fer).

La forte teneur en étain reste assez inexplicable ; en effet, nous n'avons trouvé aucune trace de cassitérite et la prospection de la scheelite à la lampe ultra - violette n'a pas été effectuée.

En résumé, ce qui caractérise les indices d'arsénopyrite de la chaîne des Huretières est le fait que l'arsénopyrite contient des lanthanides qui se trouvent également dans les venues carbonatées de cette région (23)



4 LES MINES DES CHALANCHES

Situées sur la commune d'Allemont (Isère) à 1900 m d'altitude, elles furent découvertes en 1767 par une bergère et eurent une grande célébrité pendant le dernier quart du XVIII^{ème} siècle, surtout pour la qualité et la variété de ses minéraux ; on y a déterminé en effet 38 espèces minérales.

41) Historique

Les mines des Chalanches furent exploitées pour l'argent pendant un an par les habitants du pays. Un grave accident mit fin à cette exploitation artisanale et l'Etat prit possession de la mine. L'ingénieur des mines SCHREIBER fut appelé et institua des recherches et des exploitations par un système compliqué de puits, galeries, et travers-bancs, du à l'intense morcellement du minerai. Les travaux se répartissent sur une surface de 400 x 500 mètres où les galeries représentent un développement de 15 kilomètres (fig 21 et 22).

Ces mines, qui employèrent jusqu'à 86 personnes, sont inaccessibles aujourd'hui et les haldes, pillées par les "collectionneurs" se révèlent stériles.

42) Géologie

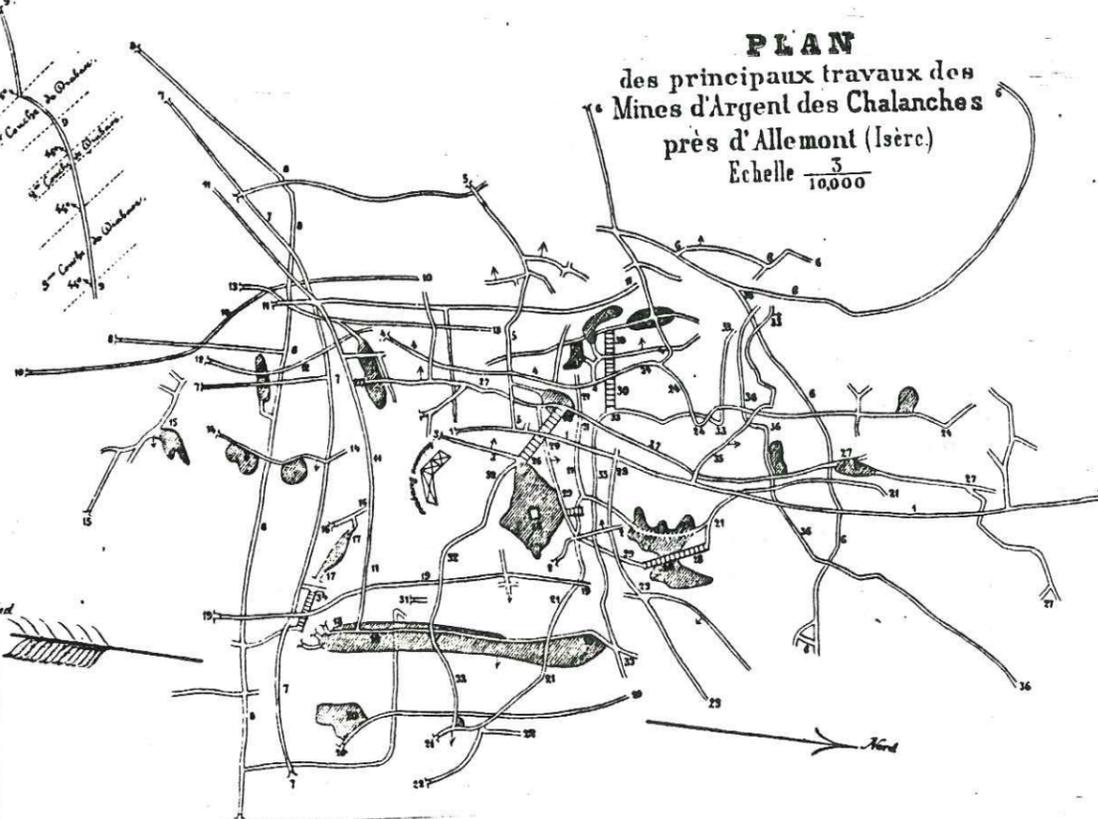
Le contexte géologique est composé principalement de gneiss amphiboliques (appartenant à la série verte), rubanés, comprenant des passées de 2 à 12 mètres de puissance de roches à faciès gabbroïque de couleur rouge (reconnaissable de loin) due à l'oxydation de cristaux de pyrite et d'arsénopyrite.

Ces formations ont subi de nombreux et d'intenses phénomènes de tectonique et de métamorphisme ; YPMA (36) distingue :

- plissement et intrusion de roches basiques,
- métamorphisme,
- mise en place des granites (pré triasiques),
- orogénèse hercynienne,
- orogénèse alpine.

La zone des Chalanches est caractérisée par le croisement de 3 accidents de direction N 10, N 80, N 100 E

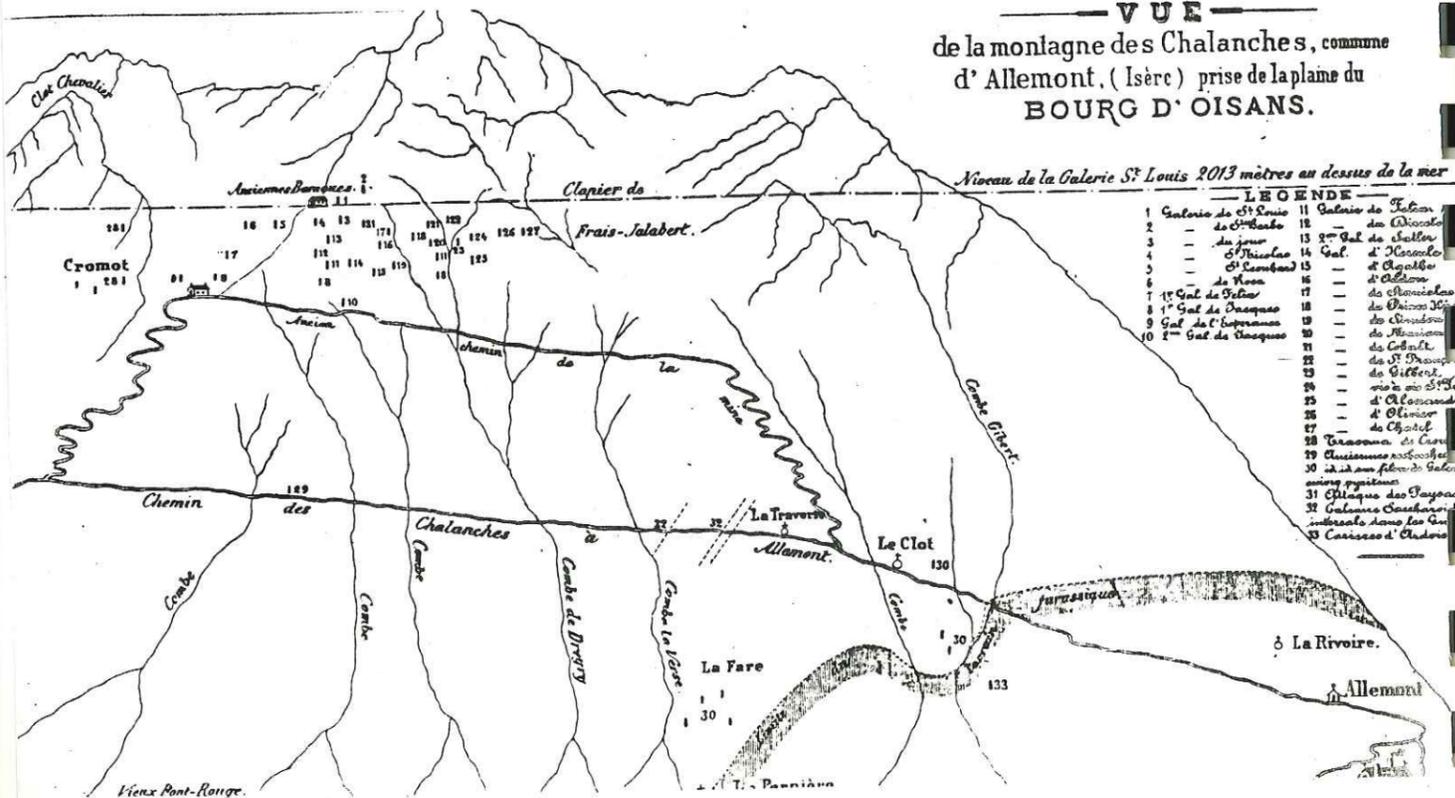
PLAN
des principaux travaux des
Mines d'Argent des Chalanches
près d'Allemont (Isère)
Echelle $\frac{3}{10,000}$



LEGENDE
explicative du plan et des 2 coupes

- 1 Galerie de St Louis.
- 2 — de St Barthe.
- 3 — de Joux.
- 4 — St Nicolas.
- 5 — St Côme.
- 6 — de Rose.
- 7 — de Péliss.
- 8 1^{re} Gal. de Jacques.
- 9 Galerie de L'Espérance.
- 10 2^{de} Gal. de Jacques.
- 11 1^{re} Gal. de Saller.
- 12 Galerie de Winston.
- 13 2^{de} Gal. de Saller.
- 14 Galerie d'Hercule.
- 15 — d'Agathe.
- 16 — d'Edouard.
- 17 — d'Amélie.
- 18 — du prince Napoléon.
- 19 — de Simon.
- 20 — de Marianne.
- 21 — de Cabat.
- 22 — de St François.
- 23 — de Marianne.
- 24 — de St Côme.
- 25 Suite de L'Aurore.
- 26 — de St Nitou.
- 27 Contre Galerie.
- 28 Suite de Pierre.
- 29 Galerie de Pierre.
- 30 Suite St Côme.
- 31 Attaque des payons.
- 32 Galerie de Wagnon.
- 33 — de Vercors.
- 34 Suite de Belle-Apparous.
- 35 Galerie de Schol.
- 36 Gal. orientale de Christine.
- 36 bis Gal. occidentale de Christine.

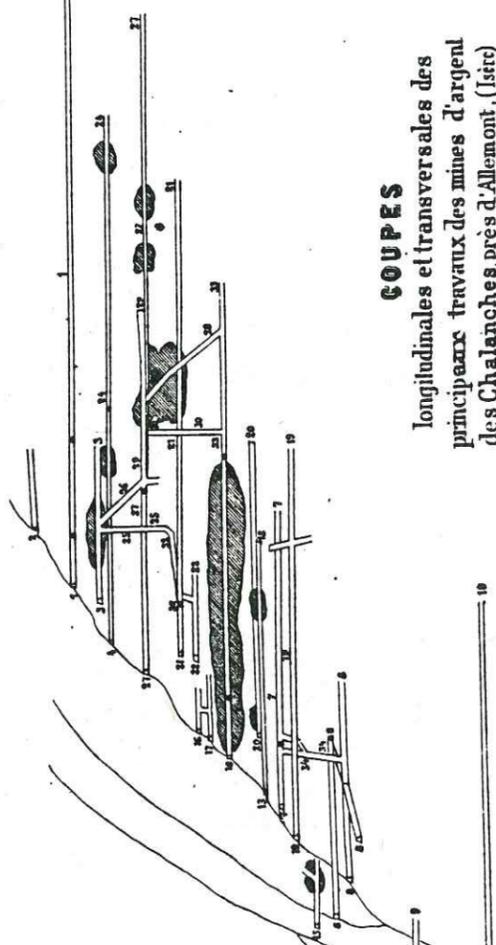
VUE
de la montagne des Chalanches, commune
d'Allemont, (Isère) prise de la plaine du
BOURG D'OISANS.



LEGENDE

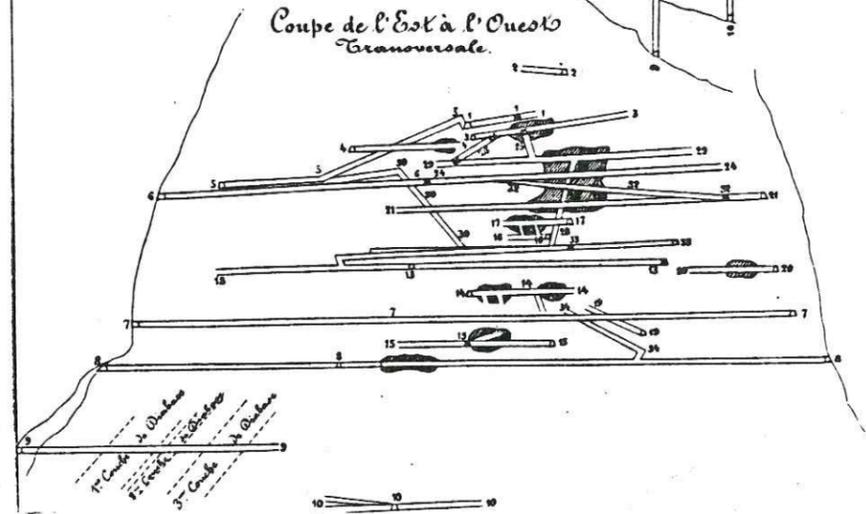
- 1 Galerie de St Louis.
- 2 — de St Barthe.
- 3 — de Joux.
- 4 — St Nicolas.
- 5 — St Côme.
- 6 — de Rose.
- 7 1^{re} Gal. de Péliss.
- 8 1^{re} Gal. de Jacques.
- 9 Gal. de L'Espérance.
- 10 2^{de} Gal. de Jacques.
- 11 Galerie de Péliss.
- 12 — de Winston.
- 13 2^{de} Gal. de Saller.
- 14 Gal. d'Hercule.
- 15 — d'Agathe.
- 16 — d'Edouard.
- 17 — de Napoléon.
- 18 — de Simon.
- 19 — de Marianne.
- 20 — de Cabat.
- 21 — de St François.
- 22 — de Marianne.
- 23 — de St Côme.
- 24 — d'Alphonse.
- 25 — d'Edouard.
- 26 — d'Amélie.
- 27 — d'Amélie.
- 28 — d'Amélie.
- 29 — d'Amélie.
- 30 — d'Amélie.
- 31 — d'Amélie.
- 32 — d'Amélie.
- 33 — d'Amélie.
- 34 — d'Amélie.
- 35 — d'Amélie.
- 36 — d'Amélie.

Coupe du Sud au Nord. Longitudinale.



COUPES
longitudinales et transversales des
principaux travaux des mines d'argent
des Chalanches, près d'Allemont, (Isère)
Echelle $\frac{3}{10,000}$

Coupe de l'Est à l'Ouest
Transversale.

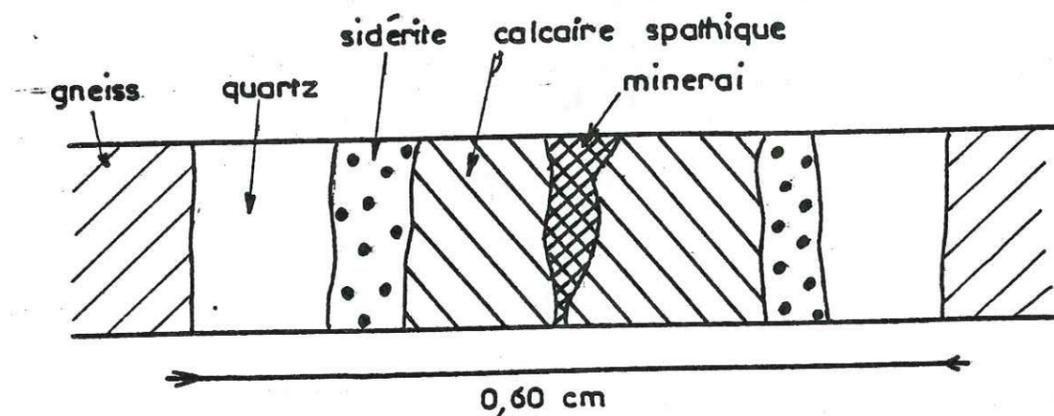


43) Minéralisation

Elle apparaît sous forme de filons enchevêtrés dont la "direction semble sans loi" (YPMA 36)

Cependant DE GRAFF, à la suite de SCHREIBER observe 2 directions principales : N 90 à N 100 E à pendage N et NO à pendage E ou W.

Les filons sont constitués soit de terre ferrugineuse très argentifère, où l'argent se trouve à l'état natif, avec des "rognons" de minéral de Co, Ni, Sb à l'état d'arséniates, soit d'arséniates de Co, Ni, Sb, développés en petites veines de forme amygdalaire schématisées ci-dessous



YPMA (36) propose 2 successions :

- venue à calcite, ankérite, pyrrhotite, chalcopryrite, d'âge anté - triasique,
- 2^e venue de calcite avec les minéraux à Ni, Co, Bi, As, Sb, Hg d'âge alpin.

L'arsénopyrite analysée appartiendrait à cette 2^e venue.

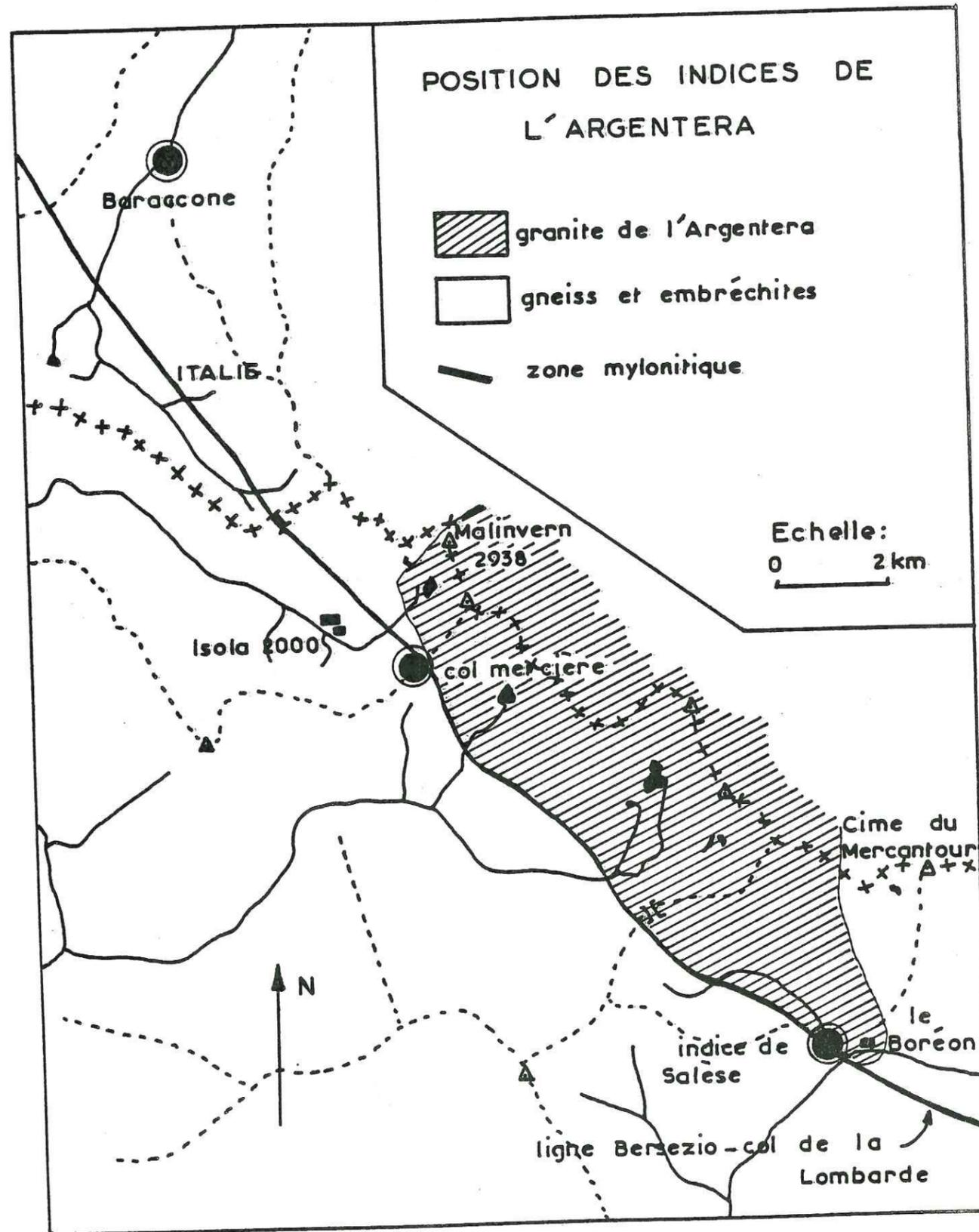
Les résultats des analyses (tab.13) montrent une forte teneur en titane. On note également des teneurs en Cu, Ag, Sb, Au relativement élevées.

ARSENOPYRITE DES CHALANCHES

teneurs exprimées en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

Cl	500
Ti	majeur
Cr	60
Co	600
Ni	400
Cu	200
Zn	15
Se	20
Sr	6
Rb	8
Zr	30
Mo	3
Ag	15
Sn	1
Sb	45
Te	5
Ba	30
W	1
Au	2
Pb	4
Bi	5

5 LES INDICES DE L'ARGENTERA



Les indices visités et analysés sont au nombre de 3 (fig 23):

- l'indice du Col Mercière : $x= 987,200$; $y= 219,920$; $z= 2350$
(feuille St Etienne de Tinée 7 - 8),
- l'indice de Salèse : $x= 995,170$; $y= 213,550$; $z= 1510$
(feuille Le Boréon 5 - 6),
- l'indice de Baraccone (Italie) : $x= 982,15$; $y= 229,20$ à $228,90$
 $z= 1600$ à 1560
(feuille St Etienne de Tinée).

Ils constituent un groupe relativement homogène par leur situation géologique et les associations minérales qu'ils renferment.

Ils sont encaissés dans le socle cristallophyllien, constitué d'anatexites et d'embréchites, et sont situés à peu de distance du granite central de l'Argentera le long de grandes fractures.

Leurs paragéneses comportent : arsénopyrite, cassitérite, bismuthinite, bismuth, molybdénite, chalcopryrite, blende. Ils appartiennent à un premier épisode de minéralisation correspondant à la mise en place de filons de type hydrothermal au Carbonifère moyen ou supérieur (FERAUD et al., 16).

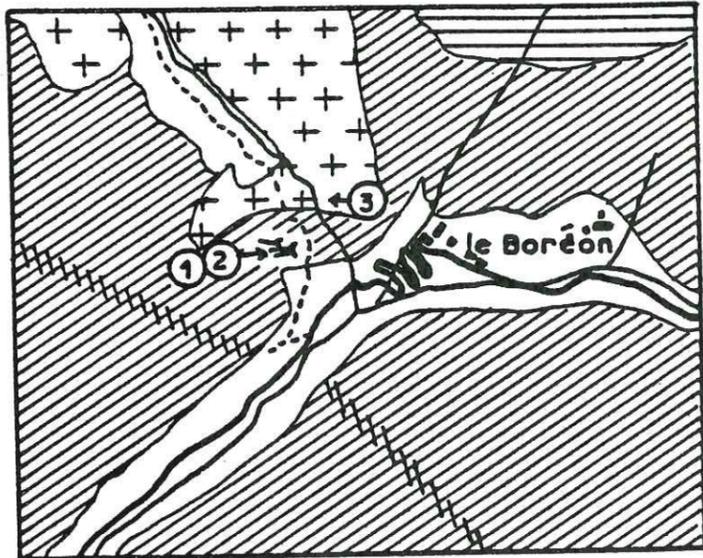
Il faut noter le rôle très important joué par le métallotecte structural : ces gîtes sont tous situés à proximité de grandes zones de mylonitisation d'importance régionale (ligne Bersezio - Col de la Lombarde).

5I) L'indice du Col Mercière (fig.24)

L'accès se fait à partir de la station d'Isola 2000. Un chemin mène jusqu'au col Mercière ; de là il faut remonter la crête vers le Sud sur 50 mètres.

La zone filonienne, de direction $50/10$ a une puissance de 30 cm et une extension d'une dizaine de mètres.

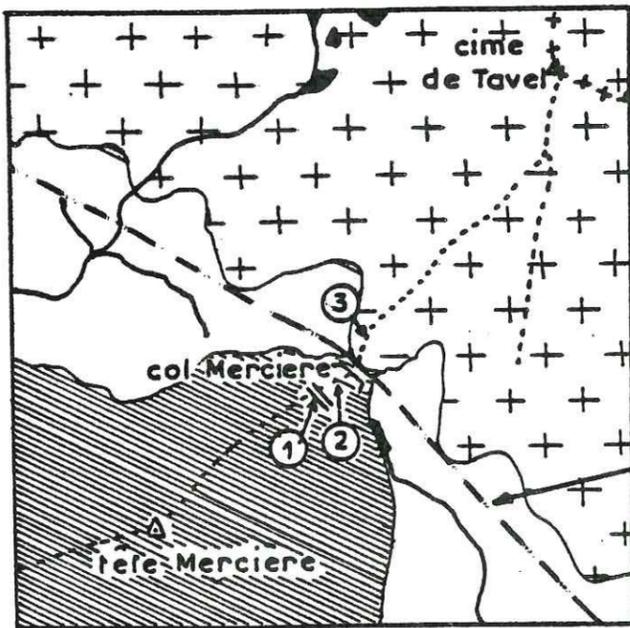
Elle est composée de veinules quartzuses enrobant des amygdales d'encaissant de 10 cm. Ce dernier, constitué de gneiss biotitiques et amphiboliques du complexe Malinvern - Argentera, montre une foliation cristallophyllienne $70/150$. Il est séparé du granite central de l'Argentera par une importante zone mylonitique de 10 m de puissance passant au Col Mercière et continuant l'accident Bersezio - Col de la Lombarde.



- routes
- travaux miniers
- prélèvements

zone broyée

INDICE DE SALESE



- quaternaire
- complexe de Chastillon-Valmasque
- embrechites des Aduis
- complexe de l'Argentera
- granite
- anatexites de Comba-Grossa
- anatexites du Malinvern

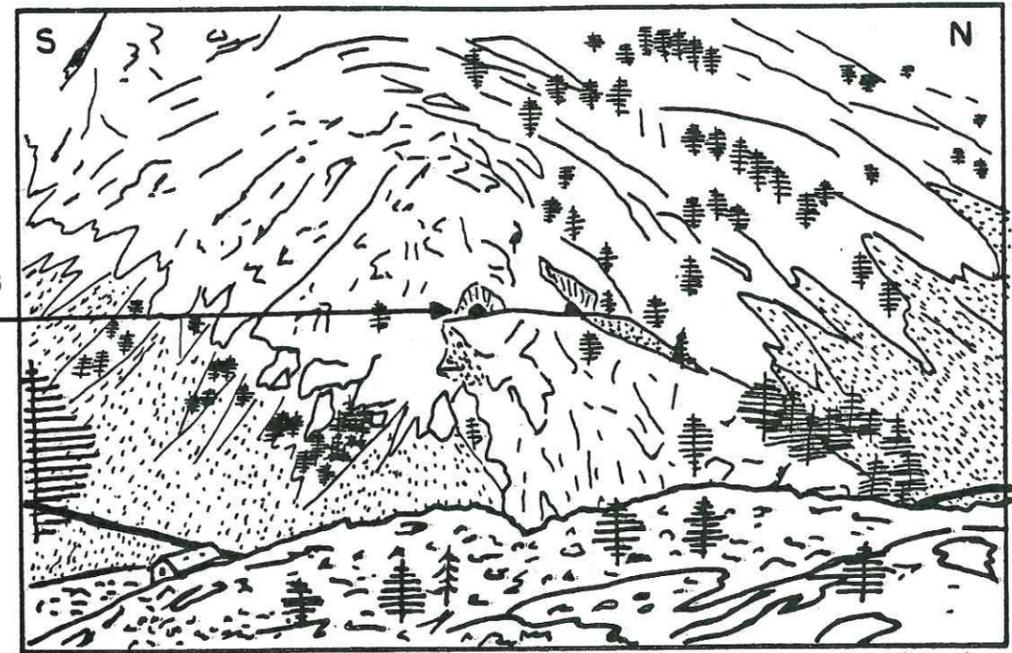
fracture avec mylonites

ECHELLE : 1/25000

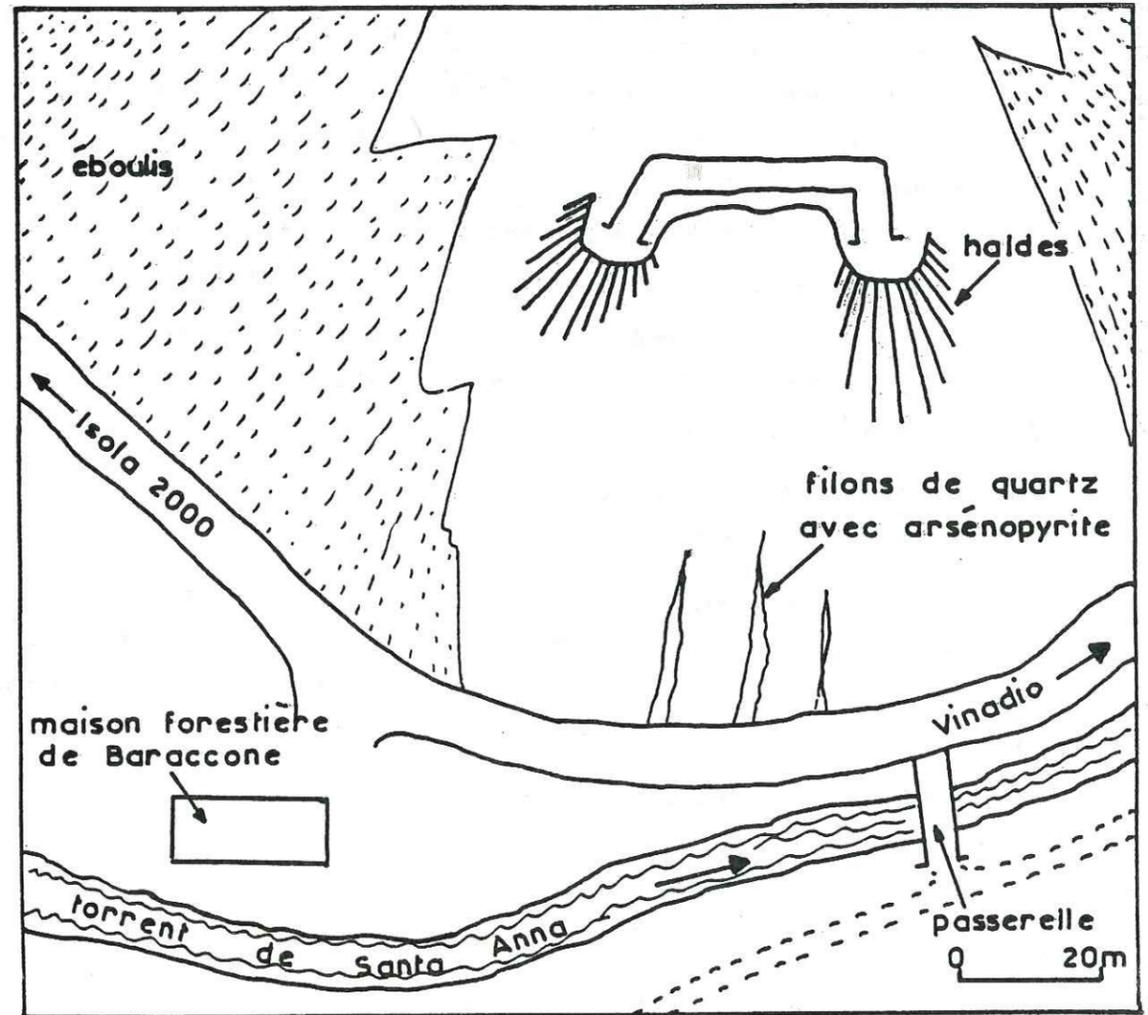
0 500 m

d'après les cartes géologiques
au 1/50000 s^t Etienne de Tinée et
le Boréon

INDICE DU COL MERCIERE



indice de BARACCONE (ITALIE)



PLAN SCHEMATIQUE DE L'INDICE DE BARACCONE

Le granite de l'Argentera, qui forme la Cime de Tavel au Nord, est très homogène, leucocrate, à quartz, microcline, albite, et biotite rare.

La minéralisation associée aux veinules quartzzeuses comporte essentiellement de l'arsénopyrite avec pyrite et bismuthinite. On observe également des traces de chalcopryrite et galène (I5).

Les échantillons analysés sont (fig.24) :

- (1) qui provient du minerai,
- (2) qui provient du gneiss encaissant,
- (3) qui provient du granite de l'Argentera .

52) L'indice de Salèse (fig.24)

Le sentier GR.52, qui prend en rive droite, juste avant le Boréon, recoupe au bout de 250 m une zone filonienne quartzzeuse et limoniteuse de 5 m de puissance. Des blocs de quartz minéralisés indiquent la présence d'anciens travaux situés 20 m au-dessus du chemin : deux galeries superposées de 50 m de long ont été exécutées en allongement dans des filons de quartz de direction $\frac{50}{30}$ et de quelques centimètres de puissance, concordants, soulignant la foliation cristallo-phyllienne.

L'encaissant est formé par des gneiss appartenant aux embréchites des Adus à éléments leucocrates très abondants séparés par des minéraux phylliteux millimétriques.

Le granite de l'Argentera est très proche et situé juste en rive gauche du Vallon de Salèse.

La minéralisation, en petits filonnets dans le quartz, comporte principalement : arsénopyrite, pyrite, pyrrhotite et smithite abondantes, chalcopryrite et blende fréquentes, avec un peu de bismuthinite, bismuth natif, cosalite, galène, et des traces de cassitérite et covellite (I5).

Les échantillons analysés proviennent (fig.24)

- des migmatites encaissantes pour (2),
- du granite pour (3),
- du minerai pour (1) .

53) L'indice de Baraccone (fig.25)

Situé en Italie, il se trouve au-dessus de la maison forestière de Baraccone, en rive gauche du torrent Santa Anna.

Les gneiss biotitiques et amphiboliques sont parcourus par des filonnets de quartz centimétriques à amas d'arsénopyrite, concordants avec la foliation cristallophyllienne.

Les petites galeries situées au-dessus de la route, difficiles d'accès, ont été percées dans des niveaux pegmatitiques à minéralisation en arsénopyrite, scheelite et pyrite (I5).

Le granite de l'Argentera est situé à 9 Km du gîte de Baraccone. Cependant en rive droite affleure un granite aplitique interprété (24) comme un faciès particulier du granite fondamental.

Un échantillon d'arsénopyrite a été analysé.

54) Résultats des analyses

54I Les arsénopyrites (tab.I5)

En plus des 3 indices décrits, nous avons analysé un échantillon d'arsénopyrite du gîte de Duminière (x= 967,35 ; y= 227,67 ; z= I605) situé à l'Est de St Etienne de Tinée à proximité de roches triasiques (quartzites). Le minerai de cet indice comporte arsénopyrite, quartz, tourmaline et graphite et semble appartenir à des métalotectes différents ainsi qu'à un épisode minéralisateur plus récent (I5)

Les analyses des arsénopyrites montrent plusieurs faits :

- une pauvreté relative, par rapport aux teneurs de St Paul sur Isère, en titane de tous les échantillons;
- des teneurs élevées en W et Pb pour l'indice de Baraccone ; c'est le seul qui possède de la scheelite dans sa paragenèse;
- l'indice de Salèse est enrichi en beaucoup d'éléments, notamment Cu et surtout Sn. Ceci est probablement dû à la qualité du tri qui a été très difficile à effectuer: Cu et Sn proviendraient de petits cristaux de chalcopryrite et de cassitérite non séparables de l'arsénopyrite;
- l'échantillon de Duminière est caractérisé par un enrichissement en Sb et Au;

- les teneurs en tellure semblent suivre les teneurs en or;
- l'enrichissement en argent est général pour tous les échantillons (de II à I00 ppm atom. / Fer);
- les rapports Co / Ni et Rb / Sr sont indiqués dans le tableau suivant :

	Col Mercière	Baraccone	Salèse	Duminière
Co / Ni	0,7	3	0,3	15
Rb / Sr	0,5	1,7	0,09	0,04

542 Les biotites (tab.16)

Nous n'avons pas trouvé de relations entre les biotites et les arsénopyrites.

La biotite du granite de l'Argentera provenant du Col Mercière semble enrichie en Zn, Se, Sn, Cs et Pb. Par contre l'échantillon provenant des migmatites de Salèse possède de fortes teneurs en baryum.

543 Les quartz (tab.17)

Les points remarquables sont :

- l'enrichissement en As du quartz du granite de l'Argentera à Salèse;
- l'enrichissement en Sn des quartz de Salèse et du quartz du granite de l'Argentera, du Col Mercière ; d'ailleurs ce dernier possède de fortes teneurs en Zn, Se, W, Pb.

ARSENOPIRYTES DE L'ARGENTERA

teneurs exprimées en atomes pour 10⁶ atomes de Fer

	col. Mercière	Baraccone	Salèse	Duminière
P	40	45	40	35
Cl	110	600	300	500
Ti	600	450	900	200
Cr	45	50	250	350
Mn	5	majeur	900	20
Co	140	450	450	1200
Ni	200	150	1500	80
Cu	120	55	majeur	70
Zn	90	120	1500	17
Se	130	25	60	80
Rb	8	170	90	3
Sr	15	100	1000	70
Y	1,5	20	10	15
Zr	15	4	9	3,5
Mo	5	3	9	2
Ag	11	80	100	40
Sn	15	10	200	12
Sb	140	40	15	1200
Te	3,5	5	1	15
Cs	20	30	35	40
Ba	11	150	20	1,7
W	10	3500	1,5	1
Au	2	3	1	50
Pb	7,5	200	8	30
Bi	55	70	2	30

BIOTITES DE L'ARGENTERA

col Mercière

	Salèse Biotite dans migmatite	Biotite dans gneiss	Biotite du granite de L'Argentera
P	1700	majeur	majeur
S	500	300	5000
Cl	majeur	1200	majeur
V	2500	8000	300
Cr	2500	4000	1000
Co	400	150	70
Ni	1000	250	800
Cu	900	100	1000
Zn	2500	600	3000
Ga	400	170	2000
As	35	50	majeur
Se	30	100	350
Rb	2500	4000	majeur
Sr	120	100	50
Y	200	150	170
Zr	350	60	35
Nb	30	20	1000
Mo	55	2	6
Ag	3	1	4
Sn	700	4	1300
Sb	7	3	1
Cs	15	6	120
Ba	900	150	90
W	4	2	5
Tl	1	1	8
Pb	35	4	50
Bi	4	4	2
Th	1	2	8

en atomes pour 10⁶
atomes de Fer

QUARTZ

	SALESE		COL MERCIERE	
	③ quartz du granite de L'Arg- entera	② quartz des migmatites	③ quartz du granite de L'Argen- tera	② quartz du gneiss
P	1500	250	2500	2000
S	8000	60	600	200
Cl	2000	1000	2000	600
Ti	35	700	1200	majeur
Cr	120	25	400	400
Mn	1000	1000	1000	3500
Fe	majeur	majeur	majeur	8000
Co	15	7	150	50
Ni	45	40	45	50
Cu	10	50	75	70
Zn	80	85	600	250
As	1000	3	45	200
Se	6	12	250	17
Rb	800	250	9000	2000
Sr	150	45	500	7000
Y	17	4	25	70
Zr	6	5	50	150
Mo	5	5	4	4
Ag	7	1	1	1
Sn	45	40	50	2
Sb	1	2	1	1
Ba	120	150	50	500
W	15	10	50	2
Au	1	1	2	1
Pb	10	3	100	6
Bi	5	1	1	4
U	1	1	1	2

teneurs exprimées
en atomes pour 10⁶
atomes de Si

92

CONCLUSION

Les études de CARME, BORDET, DONDEY, sur la genèse des granites des massifs cristallins externes, ainsi que des analyses en cours d'étude, permettent d'envisager la mise en place des granites de Belledonne en plusieurs stades :

- dépôt des séries "brunes" et "vertes" de BORDET sur un socle Paléozoïque inconnu ;
- mise en place du granite de Saint Colomban, d'âge dévonodinantien, syntectonique, avec migmatisation des séries antérieures ;
- un style isoclinal s'ébauche permettant la mise en place du granite des Sept Laux (Carbonifère), intrusif dans une série volcano-sédimentaire (série "satinée" de BORDET) ; Certainement à la même époque, (permo-carbonifère), s'opère la mise en place des granites de Vallorcine-Mont Blanc au nord, et de l'Argentera au sud ;
- dépôt des sédiments carbonifères, rajeunissement du relief pénéplanisation et dépôt des sédiments secondaires viennent ensuite ;
- à l'Oligocène, le développement de phases tectoniques du socle provoque une surrection de la partie axiale des Sept Laux.

Les relations entre granites et venues sulfurées sont délicates à établir du fait de la complexité des phénomènes de recristallisation et de reprise. Si la comparaison des analyses des arsénopyrites et des biotites n'a pu faire apparaître de corrélations, plusieurs faits néanmoins peuvent être constatés :

- les indices d'arsénopyrite sont concentrés à proximité des massifs granitiques, soit dans des séries volcano-sédimentaires et sans relation apparente avec le granite, soit dans les migmatites et les gneiss accompagnant le granite (Argentera et Salanfe) ;
- ils sont localisés à proximité de grands accidents d'échelle régionale : "synclinal" de Chamönix, "synclinal" médian, ligne Bersézio-col de la Lombarde.

93

Ceci concorde avec le fait que dans les Alpes, les gites périplutoniques de type méso à hypothermaux (300 à 350 ° C) auxquels appartiennent les gites d'arsénopyrite, se présentent :

- soit dans des zones mylonitiques anciennes avec des minéralisations d'arsénopyrite, or, cassitérite, bismuthinite,
- soit liés au granite du Pelvoux avec des minéralisations en molybdène.

Les variations géochimiques observées à l'aide des analyses permettent de différencier plusieurs types de gisements :

- Salanfe et les indices de l'Argentera sont semblables par leur position par rapport au granite ; cependant les minéralisations de Salanfe semblent être des manifestations plus proches du granite (W et Au abondants) que celles de l'Argentera ; seul l'indice de Baraccone, par son abondance en Pb et W semble avoir été remobilisé par une intrusion tardive de granite ;
- Les Chalanches où des interférences de matériel basique avec les manifestations granitiques ont donné, dans une zone extrêmement broyée, des minéralisations en Ni, Co, Ag, Sb, Bi, Au, As,...
- Les gisements des Huretières, où la présence d'étain et de lanthanides montre une activité hydrothermale particulière compatible avec les premiers stades de mise en place du granite du massif Sept-Laoux-Epierre. La présence notamment d'étain confirme les idées de LE SUAVE qui voit dans cette région une manifestation hydrothermale issue de la partie apicale du granite ;
- par contre la région nord du Grand Arc, enrichie en W à Saint Paul sur Isère et en Sb et Bi à Tours et Saint Thomas révèle soit une influence hydrothermale plus lointaine du granite des Sept Laux, soit une action hydrothermale issue du granite de la Lauzière (granite de Cevins) plus proche, responsable d'une remobilisation possible avec concentration de W.

Enfin, l'étude de la répartition des éléments traces a contribué à la découverte de scheelite à Saint Paul sur Isère, laquelle a fait l'objet d'une prospection géochimique récente du BRGM.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - ANDREANI A.M, et al. (1971) : Techniques expérimentales de l'analyse des échantillons minéraux par SME
GAMS, n° 3, vol. 7.
- 2 - BALASHOV Yv.A, (1966) : Differentiation of Rare Earth Elements during magmatic process.
Israel program for scientific translations
Vinogradov Editor
- 3 - BARIAND P., PELISSIER G. (1972) : Origine de l'or de Zarehshuran (Iran Occidental)
Bull. de Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 95 (p. 625 - 629).
- 4 - BEZIAT P., TOLLON F. (1976) : La scheelite dans le Midi de la France : le problème des concentrations en W liées aux strates.
Mém. h. sér. Soc. Géol. France n° 7, (p. 49 - 56).
- 5 - BORDET C. (1957) : Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne.
Thèse docteur ingénieur.
- 6 - BURNOL L., GEFFROY J., SOLER P. (1978) : Le tungstène, ses principaux types de gisement
Chroniques de la recherche minière, Mai - Juin 78,
46^e année, n° 443.
- 7 - CABROL B., (1967) : Etude géologique et minière du massif des Huretières ; chaîne de Belledonne (Savoie).
Thèse 3ème cycle. Grenoble
- 8 - CABY (1968) : Gîtes métallifères alpins syntectoniques et métamorphiques dans la zone houillère axiale des Alpes françaises.
Bull. BRGM, II, 2.

- 9 - CAMBEL B. et JARKOVSKY J. (1967) : Géochimie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslovakei
Bratislava, 493 p.
- 10- CLAVEL M., (1963) : Contribution à l'étude métallogénique de la région d'Allemont
Thèse 3ème cycle, Nancy.
- 11- DABROWSKI M., MARIE R., MICHEL R. (1978) : présence de scheelite dans les micaschistes du massif de Belledonne (St Paul sur Isère, Savoie).
Bull. Minéralogie (1978), 101, 579 - 580.
- 12- DE MESTRAL C., (1975) : Etude géologique de la Commune de St Paul sur Isère (Savoie)
Diplôme de l'Université de Genève.
- 13- DUMAS J.P., (1964) : Les indices minéralisés de la rive gauche de l'Arve et de la Vallée du Bont Nant.
D E S de Géologie - Grenoble.
- 14- FERAUD J., et al. (1975) : La métallogénie alpine et le problème des minéralisations antérieures dans le massif de l'Argentera.
BRGM, 2ème série, n° I, Section II.
- 15- FERAUD J., et al. (1975) : Sur la découverte de sch. lite, cassitérite, bismuthinite et molybdénite dans les gîtes à arsénopyrite du massif de l'Argentera.
C.R.A.S Paris, t. 280.
- 16- FERAUD J., et al. (1976) : Sur la répartition, la minéralogie et les éléments en trace dans les filons quartzeux à B P G C et les filons fluorobarytiques du massif cristallin externe de l'Argentera.
C.R.A.S Paris.
- 17- GEX P. (1977) : Essais de réhabilitation de la méthode de dépolarisation spontanée
Thèse Université de Lausanne.
- 18- GROVES D.I., Mc. CARTHY T.S (1978) : Fractional crystallization and the origin of tin deposits in granitoids.
Mineralium deposita, 13, n° I.

19 - GOLDSMITH R., FORCE E.R. (1978) : Distribution of rutile in metamorphic Rocks and implications for placer deposits.
Mineralium deposita, 13, 329 - 343 .

20 - HOEL R., MAUCHER A. (1972) : Synsedimentary diagenetic ore fabrics in the strata and time bound Scheelite deposits of Kleinarltal and Felbertal in the Eastern Alps.
Mineralium Deposita, 7, 217 - 226

21 - JACQUESON R., MELOUX J., POULAIN PA., (1965 - 1966) : Les indices de Belledonne entre l'Arc et l'Isère.
Rapport BRGM.

22 - KOROBUSHKIN. I.M, (1970) ; Forms of occurrence of finely dispersed gold in pyrite and arsenopyrite.
Doklady Akademij Nauk SSS R, Vol.192, n° 5 (p. 1121 - 1122).

23 - LE SUAVE R., (1974) : Etude par SME des lanthanides et autres éléments traces dans les carbonates filoniens.
Thèse 3ème cycle, Grenoble.

24 - MALADORA R., (1973) : Osservazioni e considerazioni sulla tettonica del cristallino del massiccio dell'Argentera.
Mem. inst. geol. mineral. PADOVA, Vol.29.

25 - POCACHARD J., (1977) : Application du magnétomètre différentiel à double résonance à la prospection minière sur des gites métallifères alpins
Thèse 3ème cycle GRENOBLE.

26 - RICKENBACH .E, FRITZ von KANEL (1953) : Die Arsen Gold Lagerstätte von Salanfe (Wallis) Schweiz.
Beitrage zur Geologie der Schweiz.
Geotechnische Serie Lieferung 31
Schweizerischen Geotechnischen Kommission

27 - ROUTHIER. P (1963) : Les gisements métallifères.
Masson., Paris, 2 Vol .

28 - SEWARD T.M (1973) : Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions.
Geochimica et Cosmochimica Acta, 1973, vol.37, p.379 - 399 .

29 - STEFANI R., (1968) : Théorie et technique de la SME.
CEA, R. 3445.

30 - TAYLOR (1966) : The application of trace elements data to problems in petrology (in "Origin and distribution of the elements ", p.135 - 200).

31 - TOLLON F., (1969) : Le district aurifère de Salsigne (Aude).
Thèse Doctorat es Sciences, CNRS A.O. 3488 . Université Toulouse.

32 - VERNET J., (1967) : Données récentes sur la tectonique du massif de l'Argentera.
Travaux du labo. de Géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble.
Tome 43 (p.193 - 243).

33 - VIALON P., et al. (1976) : Eléments de tectonique analytique
Masson

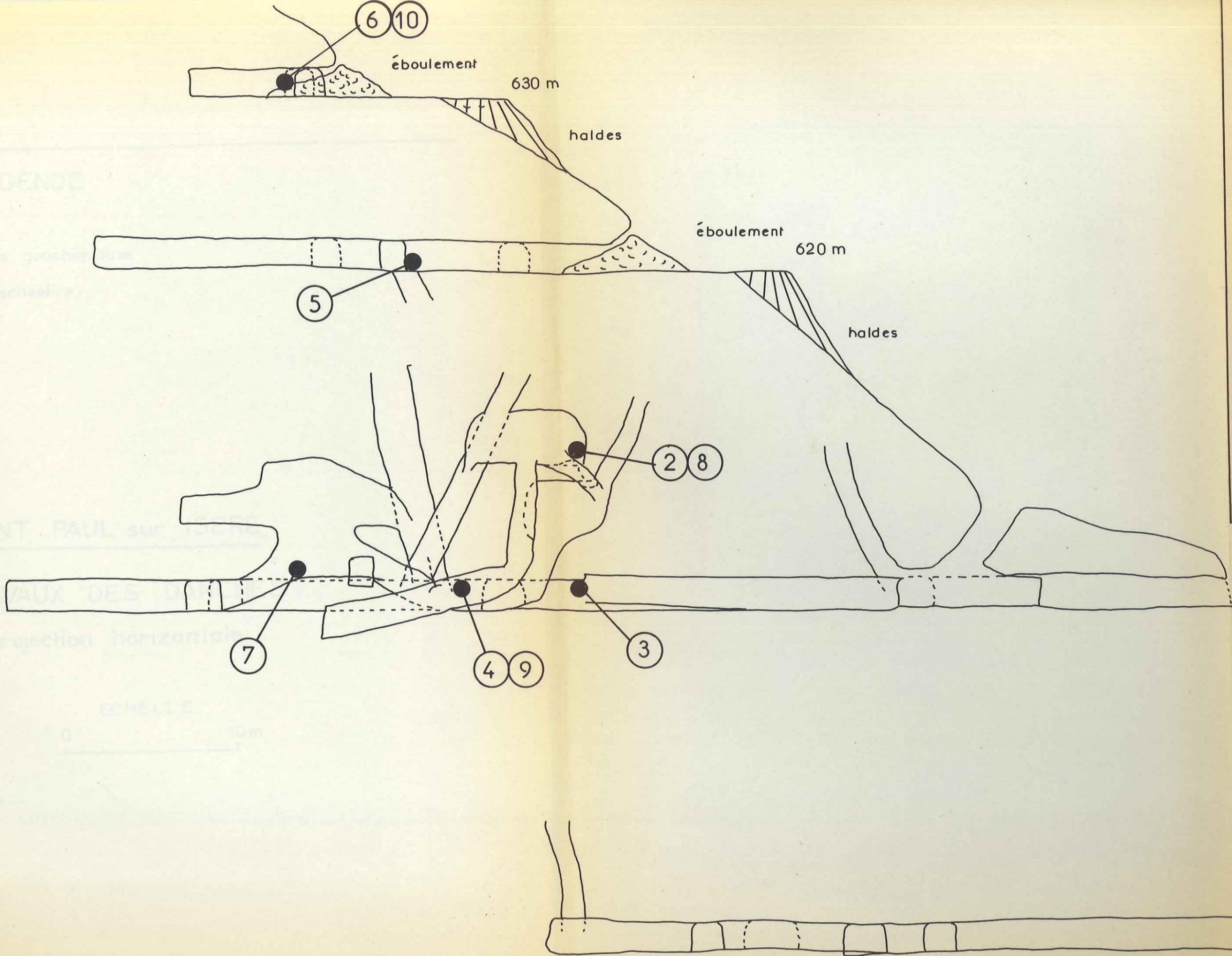
34 - VOISSET M., (1975) : Application de la SME à la géochimie des éléments traces des paragenèses à molybdénite.
Thèse 3ème cycle, Grenoble.

35 - WELLS J.D., MULLENS T.E., (1973) : Gold bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis. Cortez and Carlin gold mines (Nevada).
Economic Geology, vol.68, (p.187 - 201).

36 - YPMA (1963) : Rejuvenation of ore deposits as exemplified by the Belledonne metalliferous province.
Leidse Geologische Medelingen.

37 - WAGNER J.J, WELLHAUSER F., (1965) : Etude des courants électriques naturels liés à la mine de Salanfe (Valais).
Mater. Géol. Suisse, Sér. Geotech.
Bull, n° 34 .

- CARME (1970) : Tectoniques superposées et granitisations successives dans les massifs cristallins externes des Alpes .
C.R.A.S. t. 271, Série D, n° 20
Caractères fondamentaux de l'architecture d'ensemble des chaînes de Belledonne et des Aiguilles Rouges
C.R.A.S. t 273, Série D, n° 19
- DONDEY D. (1960) : Contribution à l'étude de la série cristallophyllienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale.
Trav. Lab. Geol. fac. Sci. Grenoble, t 36 ,



LEGENDE

SAINT PAUL sur

TRAVAUX DES

projection horizontale

ECHELLE



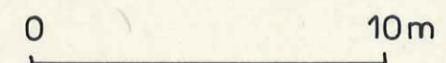
DULAIN

SAINT PAUL sur ISERE

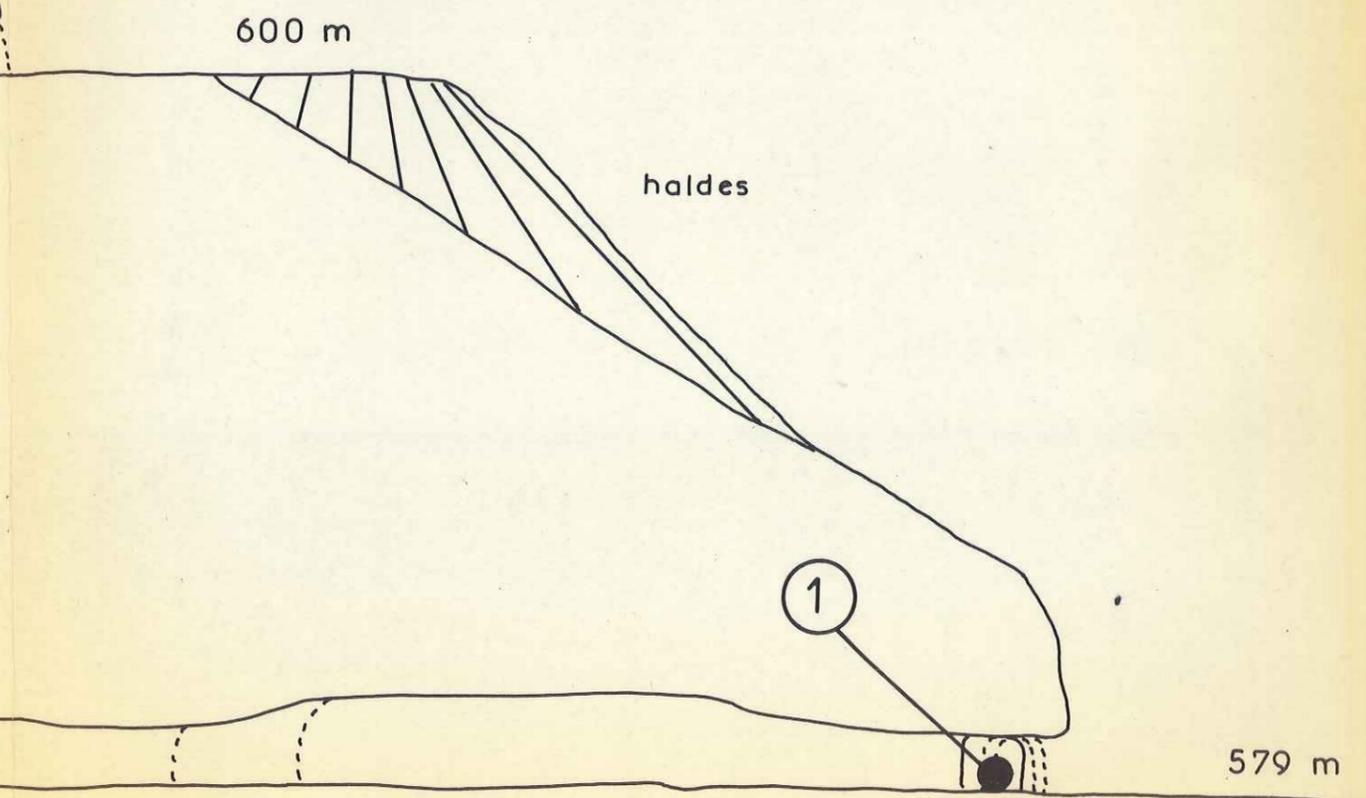
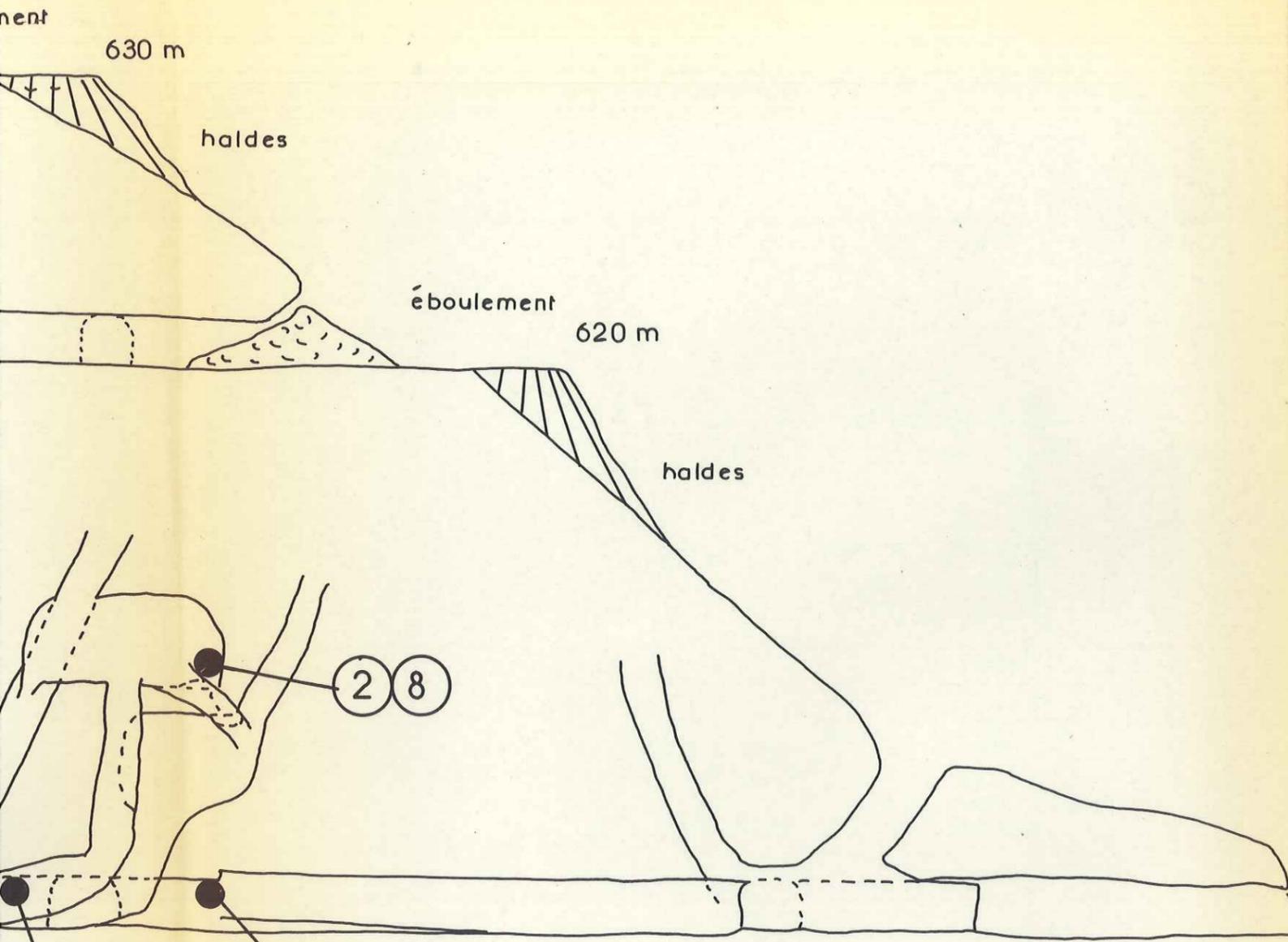
TRAVAUX DES DANCHES

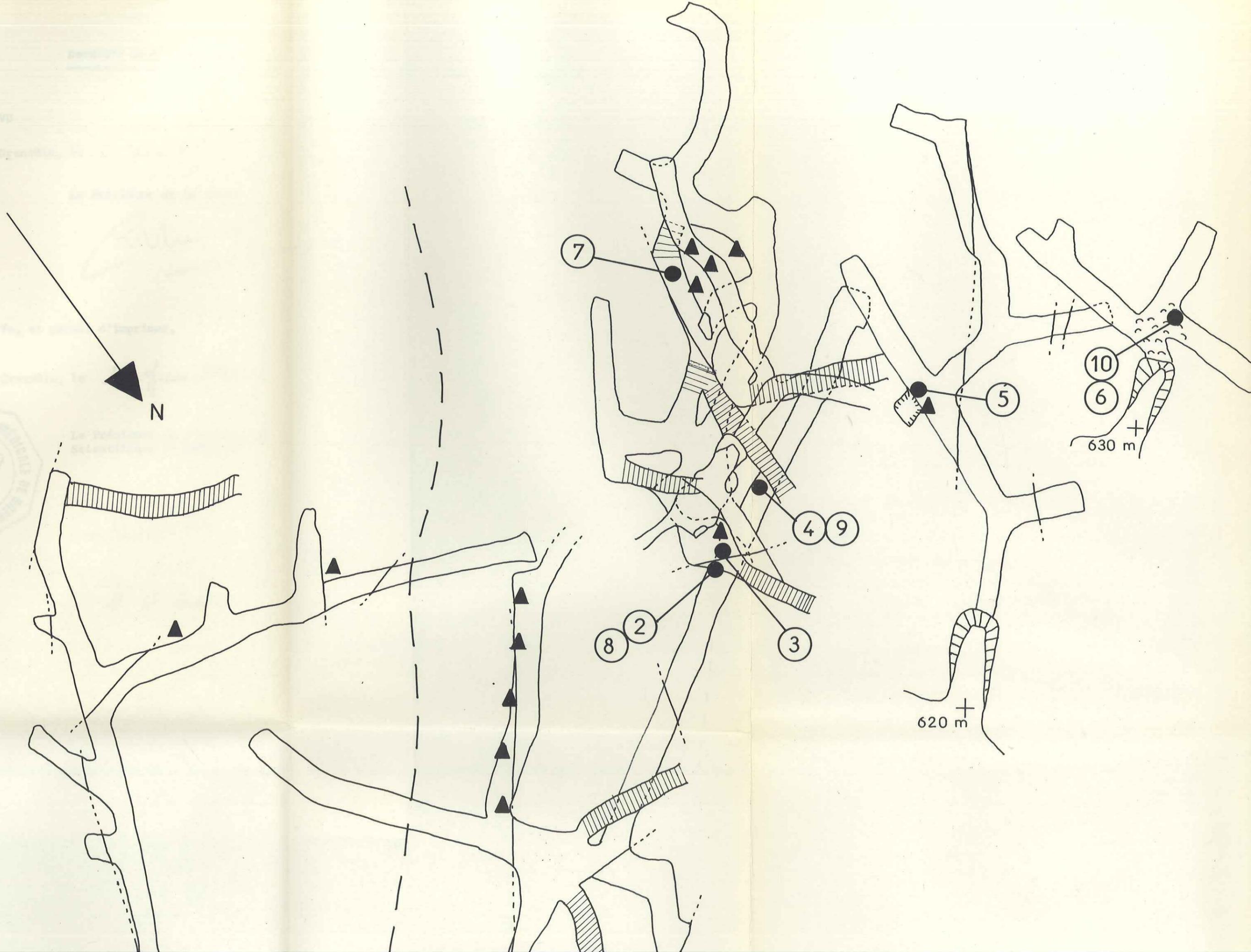
projection verticale suivant N35 E

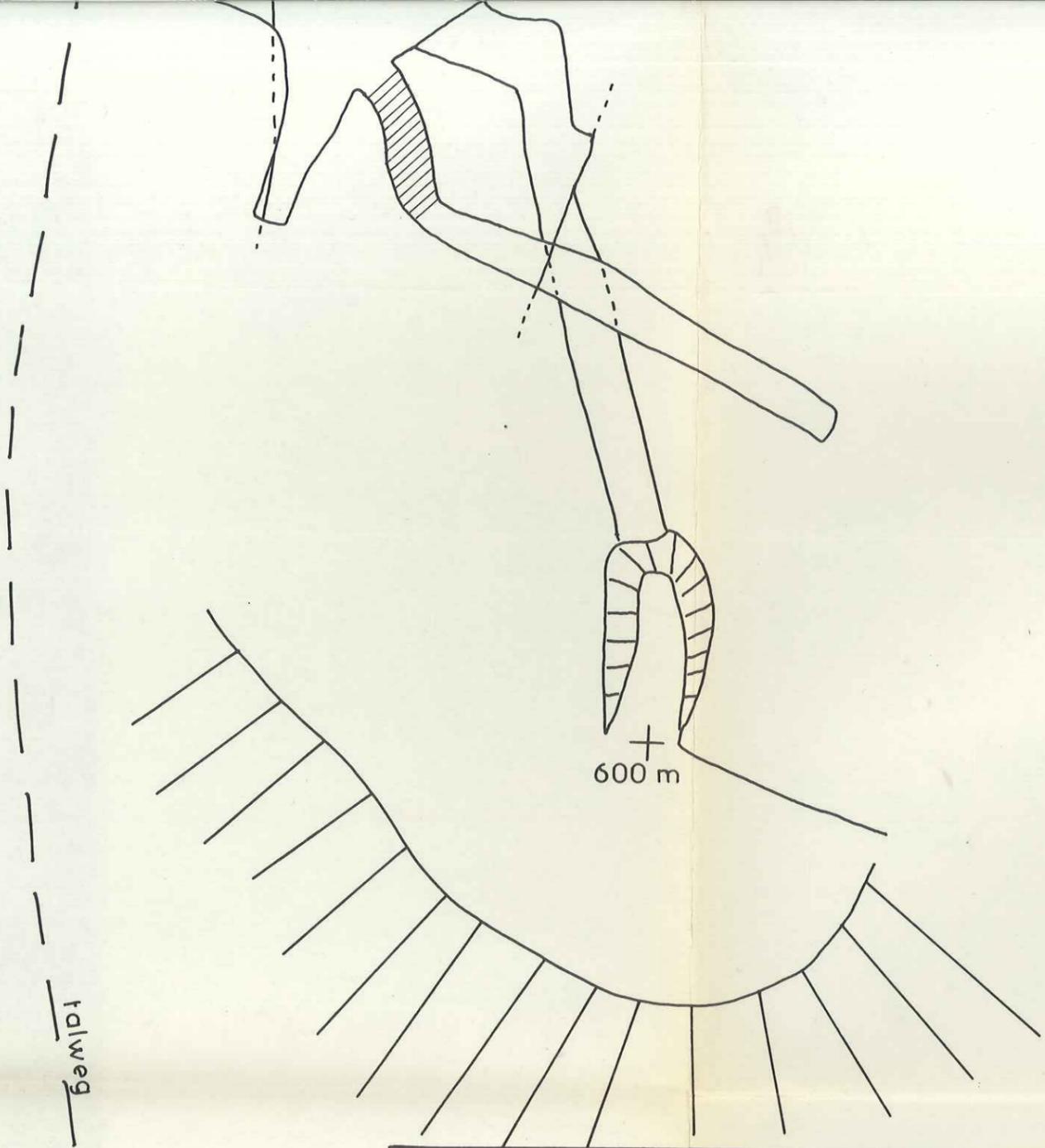
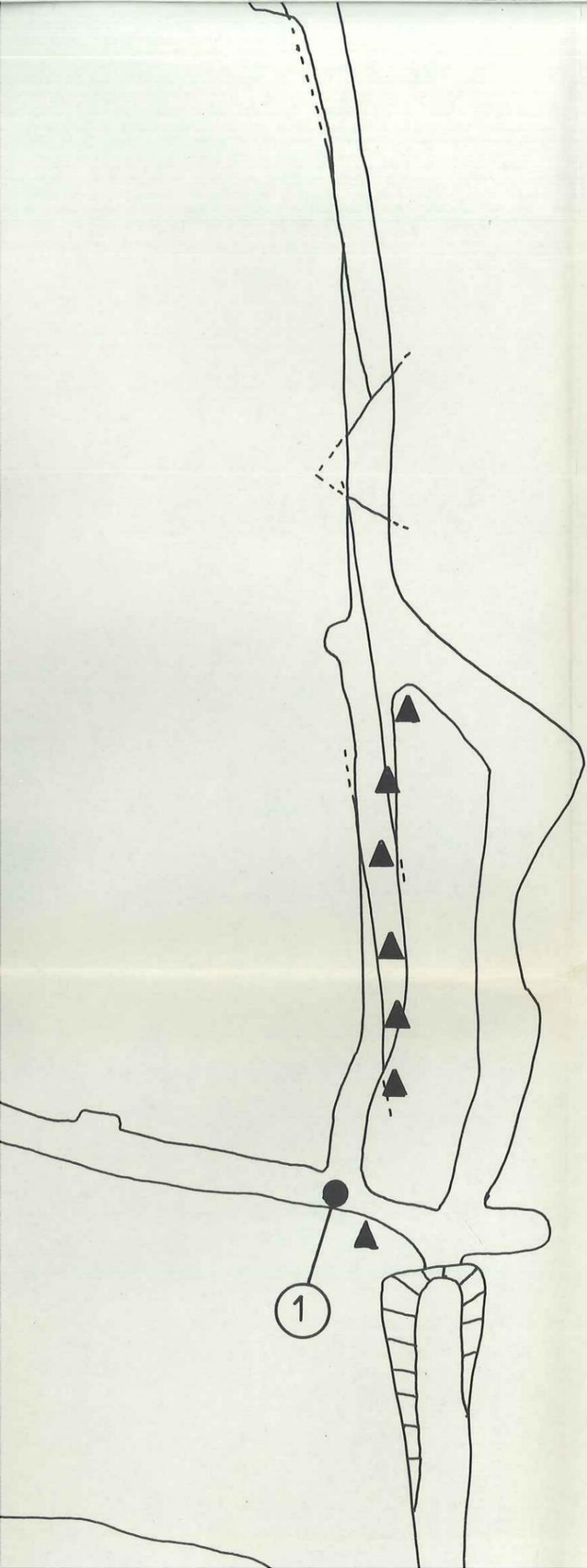
ECHELLE



d'après P.A. POULAIN



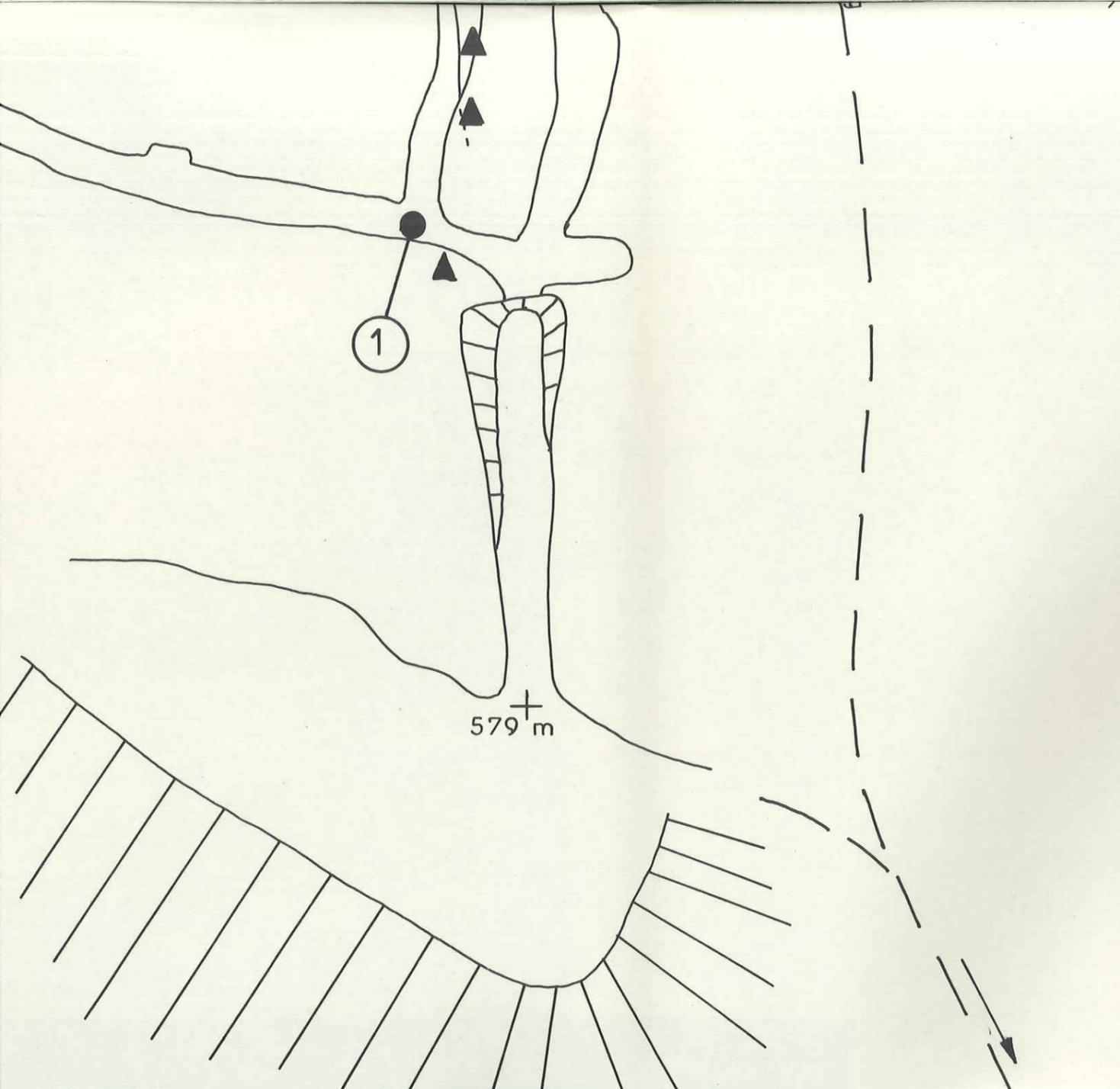




talweg

LEGENDE

- ② ● échantillons géochimiques
- ▲ zones à scheelite
- - - failles



LEGENDE

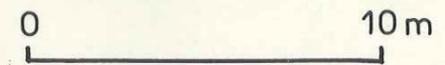
- ② ● échantillons géochimiques
- ▲ zones à scheelite
- - - failles

SAINT PAUL sur ISERE

TRAVAUX DES DANCHES

projection horizontale

ECHELLE



d'après P.A. POULAIN

