



# La Minéralisation thallifère de Jas Roux (Hautes-Alpes)- Alpes françaises

Joseph Mantiennne

## ► To cite this version:

Joseph Mantiennne. La Minéralisation thallifère de Jas Roux (Hautes-Alpes)- Alpes françaises. Minéralogie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1974. Français. NNT : . tel-00795085

**HAL Id: tel-00795085**

**<https://theses.hal.science/tel-00795085>**

Submitted on 27 Feb 2013

**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.



MANTIENNE (J.)

## THÈSE

présenté pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

(mention Sciences)



par

J. MANTIENNE

+ 6 h. t..

Sujet de la thèse :

J

15 OCT 1974

## LA MINÉRALISATION THALLIFÈRE DE JAS ROUX (Hautes-Alpes)

soutenue le 20 Mai 1974 devant la commission d'Examen

MM. J. Wyart

Président

H. Curien

C. Guillemin

Examineurs

F. Cech

Invité



# THÈSE

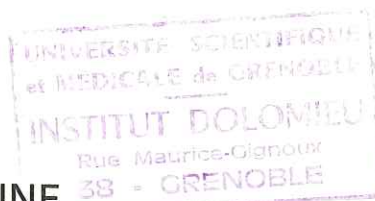
présenté pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

(mention Sciences)

par

J. MANTIENNE



*Sujet de la thèse :*

15 OCT. 1974

## LA MINÉRALISATION THALLIFÈRE DE JAS ROUX (Hautes-Alpes)

*soutenue le 20 Mai 1974 devant la commission d'Examen*

*MM. J. Wyart*

*Président*

*H. Curien*

*C. Guillemin*

*Examineurs*

*F. Cech*

*Invité*

10450273

# TABLE DES MATIERES

|                                                                     | <u>Pages</u> |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| REMERCIEMENTS .....                                                 | I            |
| CHAPITRE I                                                          |              |
| INTRODUCTION ET HISTORIQUE .....                                    | 1            |
| CHAPITRE II                                                         |              |
| CADRE GEOLOGIQUE                                                    |              |
| 2.1 - CRISTALLIN .....                                              | 4            |
| 2.2 - COUVERTURE TRIASICO-LIASIQUE .....                            | 8            |
| CHAPITRE III                                                        |              |
| ETUDE GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE DES LANBEAUX DU TRIAS DE JAS ROUX    |              |
| 3.1 - POSITION GEOLOGIQUE .....                                     | 9            |
| 3.2 - LITHOLOGIE DU TRIAS .....                                     | 10           |
| 3.3 - TECTONIQUE .....                                              | 14           |
| CHAPITRE IV                                                         |              |
| ETUDE DE LA ZONE MINERALISEE DE JAS ROUX                            |              |
| 4.1 - TRANSFORMATION HYDROTHERMALE DES ROCHES ENCAISSANTES .....    | 18           |
| 4.2 - ETUDE MINERALOGIQUE .....                                     | 20           |
| PYRITE .....                                                        | 21           |
| BLENDE .....                                                        | 23           |
| TWINNITE .....                                                      | 25           |
| PHASE $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ ..... | 36           |
| ZINCKENITE .....                                                    | 44           |
| ANDORITE .....                                                      | 51           |
| STIBINE .....                                                       | 57           |
| CHABOURNEITE .....                                                  | 58           |
| CLINOPIERROTITE .....                                               | 65           |
| PIERROTITE .....                                                    | 73           |
| SMITHITE .....                                                      | 78           |
| LAFFITTITE .....                                                    | 85           |
| ROUTHIERITE .....                                                   | 90           |

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



Pages

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| AKTASHITE .....                                      | 96  |
| PHASE Tl(Sb, As) <sub>7</sub> S <sub>11</sub> .....  | 105 |
| PHASE Tl(As, Sb) <sub>10</sub> S <sub>16</sub> ..... | 109 |
| WAKABAYASHILITE .....                                | 110 |
| REALGAR .....                                        | 116 |
| PHASE Ag(Sb, As) <sub>2</sub> .....                  | 117 |
| ORPIMENT .....                                       | 119 |
| VALENTINITE .....                                    | 120 |
| 4.3 - MINERAUX SECONDAIRES .....                     | 122 |
| 4.4 - MINERAUX DE LA GANGUE .....                    | 123 |
| CHAPITRE V                                           |     |
| SUCCESSION DE CRISTALLISATION .....                  | 124 |
| CHAPITRE VI                                          |     |
| GEOCHIMIE DE LA MINERALISATION DE JAS ROUX .....     | 131 |
| CHAPITRE VII                                         |     |
| CONSIDERATIONS METALLOGENIQUES .....                 | 138 |
| CHAPITRE VIII                                        |     |
| CONCLUSIONS GENERALES .....                          | 145 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                  | 147 |



## R E M E R C I E M E N T S

La réalisation de ce travail n'a été possible que grâce à l'aide et à l'amitié d'un grand nombre de personnes.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur J.WYART, membre de l'Institut, qui a eu la bienveillance de présider ce jury de thèse et d'encourager ce travail. Je le prie de trouver ici un témoignage de ma reconnaissance et de mes respectueux sentiments.

Je remercie Monsieur le Professeur H.CURIEN, délégué général à la Recherche scientifique et technique, qui malgré ses hautes responsabilités, a accepté de siéger dans ce jury.

Je me dois d'exprimer ma gratitude au Bureau de recherches géologiques et minières, en particulier en la personne de Monsieur C.GUILLEMIN, Directeur du Service géologique national, qui m'a honoré de son soutien amical et n'a cessé, au cours de l'élaboration de ce travail, de m'accorder sa confiance et ses encouragements.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur F.CÉCH chez qui j'ai toujours trouvé le meilleur accueil à Prague et qui m'a fait l'honneur d'être parmi les membres de mon jury.

Parmi les personnes qui m'ont aidé de leur savoir, la première place revient à mon ami Z.JOHAN qui a guidé mes travaux avec une patience inépuisable, m'a fait profiter de ses grandes connaissances et de son enthousiasme pour la recherche. Je suis heureux de le remercier ici et de lui témoigner mes sentiments de fraternelle amitié.

Depuis de longues années, j'ai trouvé auprès de Monsieur P.SAINFELD les avis et l'amicale compréhension qui ont été pour moi un précieux réconfort et un soutien permanent.

Monsieur PIERROT m'a toujours réservé l'accueil le plus amicalement attentif et je lui suis reconnaissant des nombreux conseils qu'il m'a prodigués.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur B.LEMAIRE, chef du département Banque des données du sous-sol et à Monsieur GREFFARD, chef du département Laboratoires, qui ont mis à ma disposition les moyens matériels nécessaires à ce travail.

Au Service de Conservation des Espèces minérales, P.A.POULAIN a toujours été disponible pour me faire part de ses connaissances sur la métallogénie du Pelvoux ; J.REKA, F.PILLARD, J.FERAUD et H.J.SCHUBNEL ont contribué largement à mes recherches, tant sur place qu'à La Source, et je suis heureux de leur témoigner ici à tous ma gratitude.

Je ne saurais oublier P.AICARD et P.MASLARD pour leur aide précieuse.

J'ai trouvé un accueil attentif et amical auprès de tous les ingénieurs et techniciens des laboratoires du B.R.G.M., tant au département de la Banque des données du sous-sol qu'en Minéralogie et en Sédimentologie et s'il ne m'est hélas pas possible de remercier chacun en particulier, que tous veuillent trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

La Division des Arts Graphiques a apporté un soin particulier à la réalisation matérielle de cet ouvrage. Je remercie très sincèrement le personnel des Services de dactylographie, des travaux spéciaux et de reprographie.

Parmi les personnes qui ont collaboré aux études de terrain, je me dois de remercier spécialement J.VERNET qui m'a fait profiter de sa grande expérience de la géologie alpine, et a été un conseiller très précieux.

Dans les Hautes-Alpes, le Docteur ARNOUX, Président de la section de Gap du club Alpin Français, a facilité très aimablement mes recherches.

Monsieur J.BIJU DUVAL m'a fait bénéficier de sa grande connaissance de la géologie dauphinoise ; lui et son épouse m'ont réservé le meilleur accueil au refuge de Chabournéou et je tiens à les remercier ici de leur cordiale hospitalité.

Monsieur le Professeur BARSANOV, de l'Académie des Sciences d'URSS, a eu l'amabilité de m'adresser un spécimen type de l'Aktashite ; Monsieur le Docteur STEACEY du Royal Ontario Museum m'a prêté divers spécimens provenant du gisement de Madoc, je les prie de trouver ici l'assurance de ma gratitude.



## CHAPITRE I

### INTRODUCTION ET HISTORIQUE

Parmi les vallées qui pénètrent le massif du Pelvoux, le Valgaudemar est une de celles qui s'insinuent le plus près des grands sommets de cette région des Alpes.

Cette vallée, riante et couverte de végétation dans sa partie basse, devient si étroite et encaissée, dans sa partie supérieure, que sa rivière la Severaisse, ne laisse qu'une étroite bande de prairies et de peupliers entre les pentes abruptes.

Ouverte largement près de Saint-Firmin, sur le cours du Drac, la vallée s'enfonce vers le Nord-Est, puis vers l'Est et se termine par une série de cirques environnés de glaciers.

Le site de Jas Roux ou des Roux (commune de La Chapelle en Valgaudemar) se trouve à l'extrémité est de la vallée, près de l'endroit où le torrent de Chabournéou naît des glaciers de Surette et de Chabournéou, avant de rejoindre la Severaisse.

Les affleurements minéralisés se trouvent sur la rive droite du torrent, au sommet de pentes d'éboulis herbues. L'accès par un bon sentier n'est jamais très difficile (2 à 3 heures de marche à partir du chalet du Gioberney, 600 m de dénivelée).

Le nombre d'habitants, relativement élevé dans les hameaux du haut Valgaudemar, fut sans doute une des raisons qui permirent la découverte de la plupart des indices minéralisés de la région, à des époques souvent très anciennes.

Dès le printemps, les bergers menaient leurs moutons vers les



pâturages des hauteurs, suivant jour après jour le recul de la neige. Durant quatre mois, la montagne était parcourue en tous sens, lentement, par des hommes au regard exercé et observateur ; toutes les anomalies de la montagne, de la flore, de la faune, des roches étaient pour eux sujets de réflexion.

Cependant, par suite de l'isolement extrême des populations dans la haute vallée, le plus grand nombre de ces observations, de ces renseignements, étaient simplement conservés dans la mémoire des habitants ; il advint même plusieurs fois, au cours du siècle dernier, que des avalanches bloquèrent la vallée durant tout l'été, ne permettant que de difficiles et précaires relations avec le village de Guillaume Peyrouse (devenu La Chapelle en Valgaudemar en ? ...).

Quelquefois pourtant, l'annonce de découvertes intéressantes descendait la vallée pour parvenir aux oreilles d'une notabilité régionale.

C'est ainsi que de nos jours, un agent du Bureau de recherches géologiques et minières, chargé de l'inventaire des gîtes minéralisés du département des Hautes-Alpes, trouva dans les documents du service des mines, aux archives départementales, un grand nombre de déclarations de découverte, de demandes d'autorisation d'exploiter un gisement ou de vendre du minerai.

Une de ces découvertes, daté de septembre 1822, fait état de la découverte à Jas Roux ou Jarroux d'une "mine de cuivre".

En juillet 1824, il est même question dans un autre manuscrit, d'entreprendre une galerie de quelques toises, puis en 1825 le permis d'exploitation changea de main.

Les années passèrent sans que rien d'important fut exécuté sauf un embryon de galerie de 2 ou 3 mètres ; il est probable que l'éloignement du gisement, son altitude et surtout le peu d'importance de la zone minéralisée découragèrent les exploitants éventuels.

Tout enfin rentra dans l'oubli ; pendant un siècle, seuls des

chasseurs ou de rares promeneurs fréquentèrent cet endroit de la montagne.

Lorsque le B.R.G.M. entreprit, en 1970, la publication de l'inventaire des gîtes minéralogiques des Hautes-Alpes, des échantillons furent prélevés à Jas Roux et étudiés dans les laboratoires d'Orléans.

Le premier examen mit en évidence la présence abondante de stibine, de réalgar dans la baryte et parmi d'autres espèces d'un minéral thallifère qui se révéla être un sulfo-antimoniure de thallium et fut appelé pierrotite.

Au cours des années qui suivirent, deux nouvelles espèces furent déterminées ; enfin, en 1972, Monsieur le Directeur du Service géologique national a bien voulu me confier l'étude de la minéralisation et du contexte géologique de Jas Roux.

L'indice se trouve sur la carte 1/50 000 Orcières n° XXXIV - 37, coordonnées Lambert = 915,10 y 286,80, altitude 2170 m.

## CHAPITRE II

### CADRE GEOLOGIQUE

#### 2.1 - CRISTALLIN

La zone étudiée se situe, du point de vue géologique, approximativement, sur la jonction de trois unités structurales du premier ordre constituant le massif du Pelvoux.

- 1 - Brachyanticlinal des Ecrins.
- 2 - Brachyanticlinal du Sirac avec l'écaille du Peyron des Claux.
- 3 - Arc externe Sud comprenant notamment la série corticale du Chaillol et des orthogneiss de Crupillouse.

Cette jonction de caractère tectonique est jalonnée par des lambeaux de couverture triasique dont le plus important est celui du synclinal de Morges et auxquels appartient également la zone minéralisée de Jas Roux.

La région a été étudiée en détail par VERNET (1965) et par LE FORT (1973). Le schéma structural du massif du Pelvoux a été proposé par LE FORT et PECHER (1971). Ils distinguent trois catégories de formation du cristallin, compte tenu du caractère du métamorphisme, du style tectonique, de l'intensité de la migmatitisation, de la nature initiale des roches et enfin de l'âge de ces formations par rapport aux granites intrusifs hercyniens.

La plus ancienne de ces catégories regroupe des sédiments d'origine volcano-sédimentaire, affectés par un métamorphisme catazonal avec des intrusions granitiques (orthogneiss de Crupillouse), ou basiques (unité de Peyre-Arguet). On peut y rattacher l'ensemble des roches cristallines du brachyanticlinal du Sirac, ainsi que les gneiss granitoïdes affleurant aux environs du refuge du Pigeonnier.



La deuxième entité comprend des formations volcaniques acides et basiques et du volcano-sédimentaire à métamorphisme cata-mésozonal, fortement migmatitisés par des granites hercyniens.

LE FORT (1973) désigne ces formations comme "formation de la Lavey".

Enfin, les formations volcaniques et volcano-détritiques acides, faiblement métamorphiques, recoupées par des granites hercyniens, constituent le troisième groupe structural. Ces formations affleurent principalement à la bordure orientale du massif du Pelvoux, assez loin de la zone qui nous intéresse.

La carte géologique de la partie S et SE du massif du Pelvoux est donnée sur la figure 1. Il s'agit de celle publiée par LE FORT (1973), légèrement modifiée par nous. Le cristallin au Nord et au Nord-Ouest de la zone tectonique sur laquelle se trouve l'indice de Jas Roux (suture du col du Loup) appartient, comme nous l'avons déjà signalé, au brachyanticlinal des Ecrins. Quatre formations lithologiques peuvent y être distinguées :

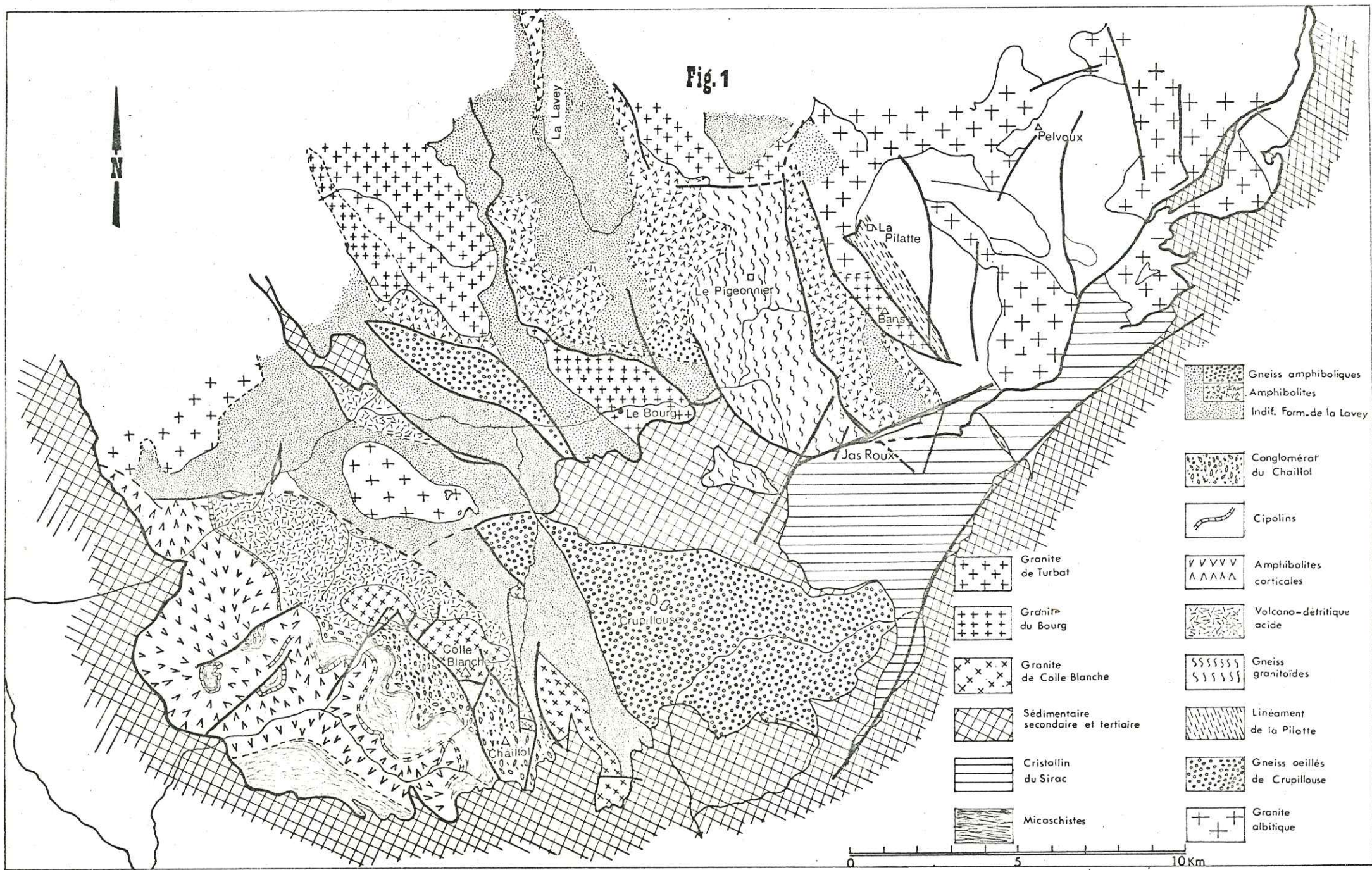
- 1 - Gneiss du Pigeonnier.
- 2 - Formation de la Lavey.
- 3 - Linéament de la Pilatte
- 4 - Granites intrusifs.

#### 2.1.1 - Gneiss du Pigeonnier

Du point de vue pétrographique, il s'agit d'un ensemble relativement homogène, formé par des gneiss leucocrates, granitisés, présentant une alternance de lits sombres à chlorite et parfois également à biotite et de lits clairs peu micacés. Par suite d'une granitisation postérieure, ce rubannement devient peu visible et souvent disparaît entièrement. Le gneiss a ensuite une texture granitique non orientée. On observe cependant des passages micaschisteux nettement orientés suivant le plan axial des microplis. Par contre, les bandes de composition granitique sont approximativement parallèles aux microplis affectant le matériel gneissique (LE FORT, 1973).



Fig. 1



- Gneiss amphiboliques
- Amphibolites
- Indif. Form. de la Lavey
- Conglomérat du Chaillol
- Cipolins
- Amphibolites corticales
- Volcano-détritique acide
- Gneiss granitoides
- Ligneament de la Pilatte
- Gneiss ocellés de Crupillouse
- Granite albitique
- Granite de Turbat
- Granite du Bourg
- Granite de Colle Blanche
- Sédimentaire secondaire et tertiaire
- Cristallin du Sirac
- Micaschistes



Cette trame orientée est recoupée par des passées granitiques à grain plus grossier, obliques à la direction des microplis résultant de la phase de gneissification antérieure. Le tout est ensuite recoupé par des veinules aplitiques et aplopegmatitiques leucocrates.

Les gneiss du Pigeonnier sont limités à l'Est par un ensemble amphibolitique faisant partie de la formation de la Lavey et au Sud par la zone tectonique du col du Loup. A l'Ouest, ils passent progressivement dans la série volcano-sédimentaire de la Lavey.

### 2.1.2 - Formation de la Lavey

Cette unité, très hétérogène par sa composition pétrographique, occupe une large partie du brachyanticlinal des Ecrins. Elle est caractérisée par la présence de nombreux niveaux amphibolitiques présentant des passages progressifs aux formations micaschisteuses. Celles-ci comprennent des micaschistes à biotite, des micaschistes à sillimanite et cordiérite et enfin des gneiss migmatitisés, les plus répandus.

LE FORT (1973) a effectué une étude chimique de cette formation variée. Il est arrivé à la conclusion que les termes non amphibolitiques de cette formation correspondent à une entité lithostratigraphique complexe d'origine volcano-sédimentaire. Ils comprennent en particulier des grauwackes, des quartzites, des grès feldspathiques, des shales d'une part, et des rhyolites avec leurs tufs d'autre part.

Les termes amphibolitiques représentent d'anciennes laves spilitiques accompagnées de tufs. LE FORT (1973) souligne une ressemblance frappante de la formation de la Lavey avec la formation corticale du Chaillol, située au Sud du synclinal de Morges.

### 2.1.3 - Linéament de la Pilatte

Cette structure de direction Nord-Ouest - Sud-Est est interprétée par LE FORT (1973), comme une zone tectonique ancienne importante et profonde marquant la limite entre la partie centrale et la partie orientale du massif du Pelvoux. Elle est constituée d'amphibolites, de gneiss oeillés et de leptynites montrant ainsi une correspondance avec



l'ensemble de Peyre-Arguet dont la mobilisation est cependant moins avancée.

#### 2.1.4 - Granites hercyniens

Le complexe granitique intrusif d'âge carbonifère, responsable des processus de migmatitisation des séries cristallophylliennes, est représenté au Nord de la suture du Col du Loup par les granites du Gioberney et des Bans.

Le granite de Gioberney est leucocrate, orienté. Son écrasement se manifeste par de nombreux filonnets de quartz et de chlorite. On observe parfois un passage progressif au granite silicifié. D'après LE FORT (1973), l'écrasement du granite du Gioberney est tardif, probablement alpin.

Quant au granite des Bans, il se rapproche du point de vue chimique de celui du Bourg. Sa structure est équigranulaire, légèrement orientée. C'est un granite à biotite avec des reliques de hornblende et avec l'orthite fréquente. Nous avons pu observer, à l'Ouest du Col du Loup en Valgaudemar, les effets de granitisation de la formation de la Lavey, liés à la mise en place du granite des Bans. Il s'agit notamment de feldspathitisation de la trame basique riche en biotite et amphibole ainsi que de développement des filonnets quartzo-feldspathiques.

Le cristallin, au Sud de la suture du Col du Loup et à l'Ouest du brachyanticlinal du Sirac, est constitué par les gneiss ocellés de Crupillouse. C'est un ensemble de roches leucocrates, très homogènes, composées d'yeux feldspathiques allongés suivant le litage. LE FORT (1973) considère ces roches comme résultant d'orthogneissification d'un massif granitique antérieur.

Le brachyanticlinal du Sirac a fait récemment l'objet d'une thèse du 3ème cycle (J. BIJU-DUVAL). Il s'agit d'un ensemble de gneiss faiblement granitisés par rapport au brachyanticlinal des Ecrins, recoupé par des filons de lamprophyres.

## 2.2 - COUVERTURE TRIASICO-LIASIQUE

Sans entrer dans les détails, rappelons succinctement les caractéristiques principales des dépôts du Trias et du Lias, constituant la couverture du cristallin dans la zone étudiée.

Cette couverture est particulièrement bien développée dans le synclinal de l'Aiguille de Morges, étudiée par VERNET (1965) et dont la tectonique fut examinée par GRATIER et al (1973). La position tectonique particulière de ce synclinal en fait un des éléments les plus importants pour expliquer l'histoire tectonique de la partie méridionale du massif du Pelvoux. D'après VERNET (1965), il existe une liaison directe entre le synclinal de Morges et les lambeaux triasiques qu'il appelle "synclinaux du glacier de Surette et d'Ailefroide". Nous reviendrons sur ce point plus loin, en parlant de la structure du Trias de Jas Roux.

Au point de vue lithologique, le Trias est constitué par un ensemble de dolomies et de calcaires dolomitiques reposant sur un niveau gréseux ou quartzitique considéré comme base de la transgression triasique. GIDON (1954) insiste sur l'absence des gypses = caractéristiques du Trias de la zone sub-briançonnaise. De nombreuses brèches intraformationnelles témoignent des conditions de sédimentation d'une mer peu profonde. Au-dessus de cette série à prédominance dolomitique, viennent des coulées de spilites surmontées de nouveau par une sédimentation carbonatée à prédominance calcaire, passant encore plus haut à des calcaires massifs et des schistes noirs considérés comme étant du Lias.

Cette coupe est cependant purement théorique, car les complications tectoniques ne permettent nulle part d'observer une série stratigraphique complète.

### CHAPITRE III

#### ETUDE GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE DES LAMBEAUX DU TRIAS DE JAS ROUX

##### 3.1 - POSITION GEOLOGIQUE

Comme nous venons de le signaler, l'indice de Jas Roux se trouve dans les lambeaux triasiques disposés suivant la zone tectonique de direction générale E-O, nommée par VERNET (1965) "suture du Col du Loup en Valgaudemar".

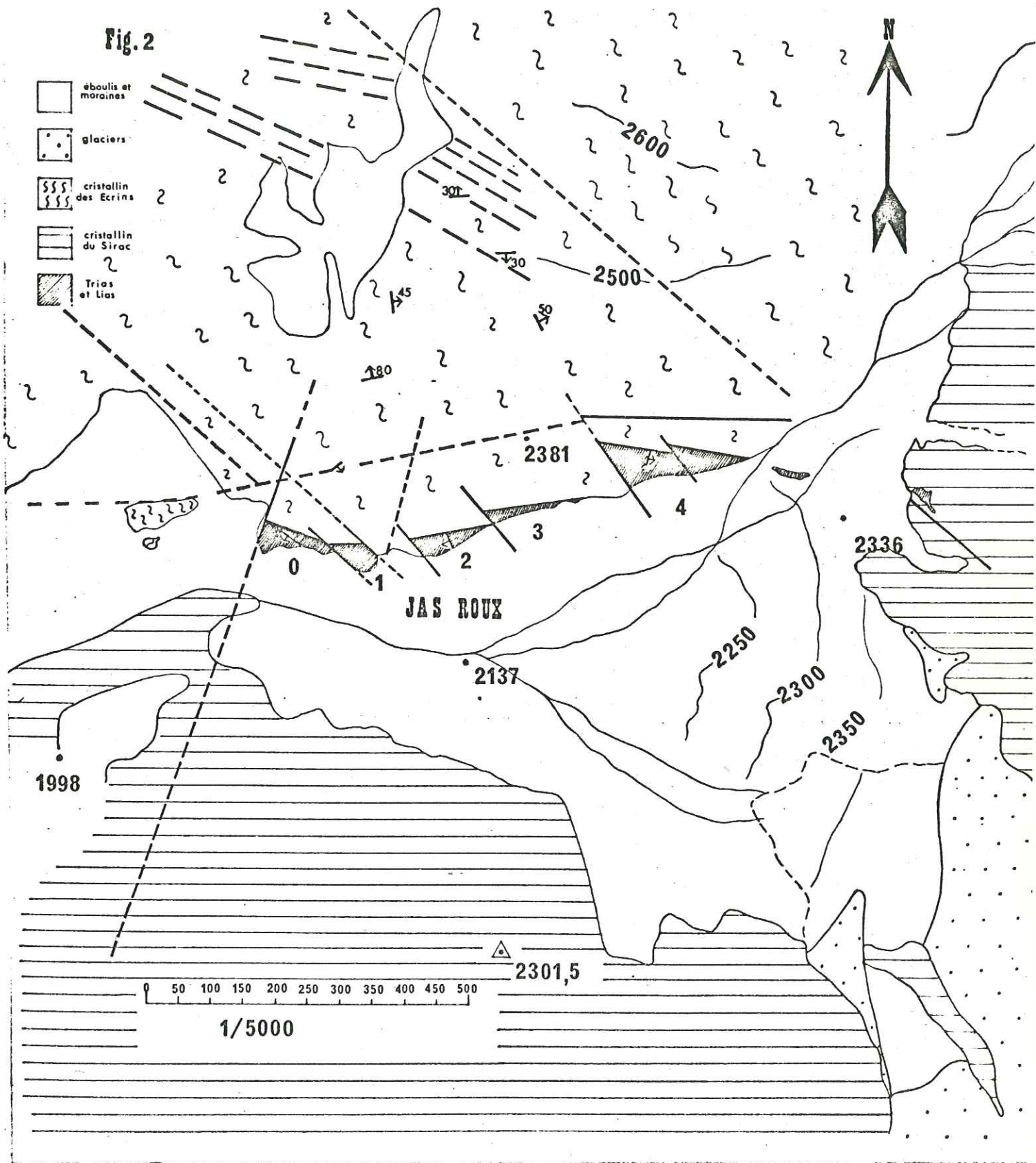
Nous avons effectué un levé géologique au 1/5 000 de ce secteur, représenté sur la figure 2. La disposition des lambeaux du Trias correspond à celle donnée par VERNET (1965) mais complétée par la tectonique qui met en évidence les relations entre les différents compartiments.

On remarque sur la carte géologique (figure 2) que le Trias de la zone de Jas Roux émerge des moraines et des éboulis qui cachent le plus souvent son contact avec le cristallin du brachyanticlinal du Sirac. Par contre, le contact tectonique du Trias avec le cristallin du brachyanticlinal des Ecrins est bien visible. Ce contact est matérialisé par la zone tectonique E-O mentionnée ci-dessus, montrant des pendages vers le Nord ce qui conduit au chevauchement du Trias par la formation de la Lavey. Les pendages de la zone tectonique sont de 75° à 85° ; parfois, le contact est vertical.

La tectonique cassante postérieure NO-SE, divise le Trias de Jas Roux en plusieurs compartiments que nous avons numérotés de 0 à 4 (figure 2). La direction des couches de ces compartiments est sous une double influence ; celle de la zone tectonique E-O qui semble plus faible, effacée par la tectonique NO-SE. Les pendages varient considérablement (de 50° à 90°) ; généralement, les couches plongent vers le SO.



Fig. 2



L'ensemble des affleurements du Trias de Jas Roux se termine sur une zone tectonique importante N.NE-S.SO, affectant également le cristallin du brachyanticlinal du Sirac.

### 3.2 - LITHOLOGIE DU TRIAS

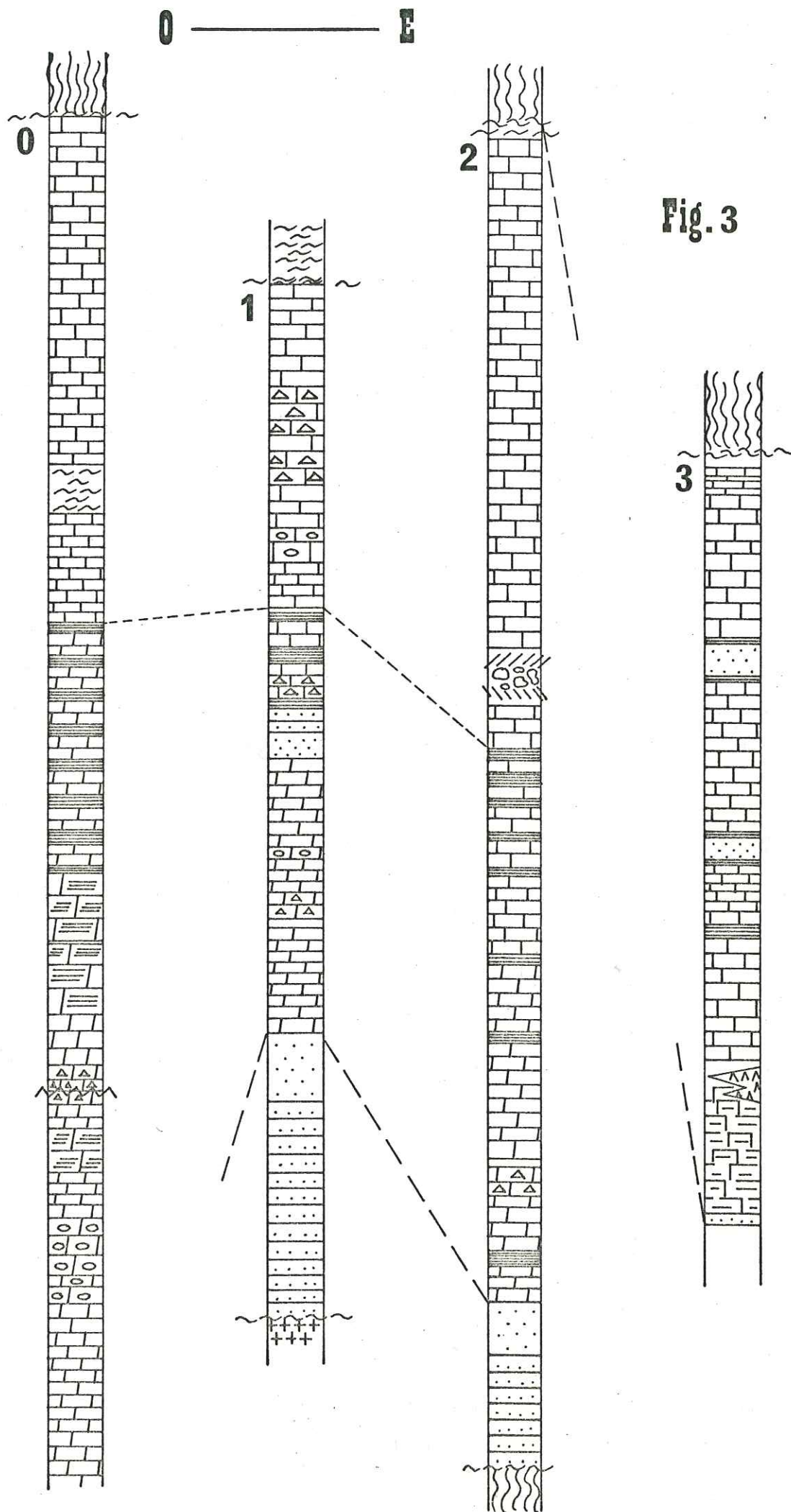
Les coupes détaillées, accompagnées d'un échantillonnage très serré, ont été effectuées dans les compartiments 0, 1, 2 et 3. Le résultat de cette étude est représenté sous forme graphique en annexe. La corrélation des coupes est donnée sur la figure 3. Il en ressort que les compartiments 0, 1 et 2 doivent être considérés comme résultant d'une répétition tectonique due à des failles NO-SE. Pour cette raison, nous allons nous limiter à la description de la lithologie du Trias du compartiment n° 2, la comparant si nécessaire aux autres compartiments.

a) A la base de la série, nous trouvons un complexe de grès, de quartzites et d'arkoses dont la puissance visible est de 7,5 mètres dans le compartiment n° 2, atteignant 13 m environ dans le compartiment n° 1. Cette réduction peut s'expliquer par la présence de failles directionnelles dont les miroirs sont particulièrement bien observables dans le compartiment n° 2.

L'étude en lames minces montre la prépondérance des grès à la base de ce complexe, tandis que les arkoses deviennent abondantes au sommet. Les grès ont le plus souvent un ciment argileux, riche en séricite. Le classement granulométrique est imparfait, les grains de quartz anguleux, témoignant d'un transport court et rapide. Rarement, on observe des niveaux de minéraux lourds, représentés par le zircon et le rutil, les deux bien roulés, quelquefois également, des passages à accumulations locales d'apatite. Parmi les minéraux accessoires de ces grès, citons encore la tourmaline, plus rare que les précédents. Le ciment devient par endroits légèrement carbonaté (calcite) ou chloriteux.

Près du contact avec le cristallin, les grès sont nettement cataclasés et recoupés suivant le litage par des filonnets de quartz de basse température à inclusions de rutil.

Le passage aux arkoses est progressif, matérialisé par des grès





feldspathiques renfermant souvent des galets de quartzite, rares mais présents également dans les grès sous-jacents que nous venons de décrire.

Les arkoses à grain moyen sont très riches en feldspath potassique, le quartz étant quasi absent. Les feldspaths se présentent en grains angulaires, non séricitisés, sans classement granulométrique observable. On aperçoit des intercalations argileuses riches en séricite. Des grains de tourmaline sont relativement fréquents.

b) Le complexe gréseux passe progressivement vers le sommet à un ensemble de dolomies avec des intercalations gréseuses et schisteuses. Le passage est assuré par des dolomies gréseuses à grain fin renfermant fréquemment du microcline.

Les dolomies sont de couleur gris foncé ou brunâtre, formant des lits de quelques dizaines de centimètres, séparés par des schistes dolomitiques enrichis en quartz.

Ces schistes sont particulièrement fréquents à la base du complexe dolomitique. Au centre de celui-ci, on trouve des brèches intraformationnelles bien développées ainsi que des passages limonitiques pouvant représenter d'anciens "hard-grounds". Ces phénomènes arrivent dès que la sédimentation a eu lieu dans un milieu marin peu profond. Les résultats de calcimétrie montrent des variations considérables en carbonate total allant de 55 à 75 pour cent environ. Ceci démontre l'importance de la sédimentation clastique au cours de la formation du complexe dolomitique. La puissance de cet ensemble est de 8 mètres.

c) Une minéralisation accompagnée d'altération hydrothermale s'intercale entre l'ensemble précédent et un complexe de calcschistes et de calcaires dont la puissance reconnue est de 19 mètres. A la base, on trouve des calcaires massifs gris foncé, silicifiés par suite des phénomènes hydrothermaux, passant rapidement aux calcschistes à 40 - 80 % de carbonate.

Les calcaires présentent, en lame mince, une structure pseudoclastique ou même pseudo-bréchique avec un granoclassement parfois

observable. Le matériel détritique est souvent constitué de grains de quartz très fins et non roulés, accompagnés de mica. La pyrite en cristaux automorphes est très fréquente ainsi que des oxydes de fer soulignant le litage. Une couche mince de dolomie très pure se situe vers le milieu de cette série (voir annexe).

Ensuite, vient une séquence plus schisteuse avec des passages de schistes noirs riches en pyrite. En lame mince, on découvre qu'il s'agit en réalité d'alternances extrêmement fines, gréseuses et schisteuses fortement plissées. Vers le haut, les intercalations schisteuses deviennent de plus en plus rares, les calcschistes disparaissent également au fur et à mesure, et l'ensemble passe à des calcaires massifs. Signalons encore que les calcschistes sont souvent recoupés par des filonnets de calcite blanche.

d) Calcaires massifs complètement silicifiés près de la zone tectonique E-O dans le compartiment n° 2, mais bien observables sans transformations secondaires dans le compartiment n° 0. Leur puissance mesurée est de 24 mètres.

La lithologie du Trias que nous venons de décrire a été observée dans le compartiment n° 2. La suite de la série triasique se trouve dans le compartiment n° 3. Puisque le décrochement tectonique de ces deux compartiments et leur écartement sont relativement faibles, nous pouvons admettre que la réduction tectonique est de petite envergure.

e) Argilites calcaires rouge violacé, avec des coulées de spilite ; l'ensemble mesure 2 mètres de puissance. La spilite présente une structure ophitique avec des lattes d'albite partiellement altérées. La mésostase est chloriteuse avec de nombreuses plages de minéral. Quelques restes de pyroxène sont encore visibles.

f) Calcaires gris clair à structure pseudo-bréchique avec des variations de granulométrie considérables, allant de quelques microns à plusieurs millimètres. Pyrite en gros cristaux automorphes. La chlorite forme des accumulations locales. Ces calcaires ont un aspect général qui évoque la présence d'un matériel d'origine volcanique (tufs). Puissance totale de 3,50 m.

g) Calcschistes noirs, à structure pseudo-catoclastique en lame mince ; 4 mètres de puissance environ. Vers le sommet, cet ensemble passe aux calcaires gris foncé avec des accumulations de quartz. Ces passées gréseuses sont le prélude de la sédimentation clastique qui suit.

h) Série comprenant des grès calcaires s'intercalant avec des calcaires à structure pseudo-brèche. La sédimentation principalement gréseuse à la base de cette série, devient argileuse vers le sommet, où l'on observe des calcschistes noduleux avec intercalation de grès à ciment argileux. Puissance totale de 12,50 m. Les niveaux carbonatés renferment quelques restes de tissus organiques, complètement recristallisés.

i) Calcaire oolithique de couleur gris foncé à noir. La taille des oolithes ne dépasse pas un millimètre, leurs noyaux minéraux sont constitués de quartz. La roche est recoupée par des filonnets de quartz sans extinction roulante, accompagné de calcite. 2 mètres de puissance.

j) Calcaires noirs en bancs centimétriques avec des intercalations schisteuses (12 mètres). L'examen en lame mince révèle des passées gréseuses et argileuses avec un changement rapide de granoclasement. Parfois, les intercalations gréseuses ont une forme lenticulaire.

L'ensemble des calcaires noirs devient plus important dans le compartiment n° 4 et passe progressivement aux schistes noirs attribués par VERNET (1965) au Lias.

La lithologie du Trias à Jas Roux peut être résumée ainsi :

A la base se trouve un complexe détritique gréseux et arkosique qui évolue progressivement vers des dolomies à brèches intraformationnelles. Le sommet de ce complexe détritique marquant un changement brutal du type de sédimentation peut servir comme niveau repère pour corréliser les coupes (figure 3). Plus haut, les dolomies font place aux calcaires avec de nombreuses intercalations de calcschistes qui deviennent de plus en plus schisteux. La sédimentation a de nouveau un caractère détritique mais dans des conditions paléogéographiques différentes



correspondant probablement à un approfondissement général du bassin de sédimentation. Ensuite, les dépôts chimiques calcaires redeviennent prédominants. On a en effet un ensemble de calcaires massifs bien conservés dans le compartiment 0, très écrasés dans le compartiment n° 1 et complètement silicifiés dans le n° 2. Nous observons donc un deuxième changement du cycle sédimentaire. Le sommet de l'ensemble de calcschistes peut être par conséquent utilisé de nouveau comme niveau repère (figure 3). Sur ce complexe calcaire, reposent des argilites avec des coulées spilitiques puis un ensemble de calcaires noirs avec plusieurs passages gréseux.

Une couche de calcaire oolithique y constitue un niveau important. Enfin, on arrive aux schistes noirs liasiques.

En comparant la lithologie mise en évidence dans les lambeaux triasiques de Jas Roux avec celle donnée par GIDON (1954), nous arrivons à la conclusion que ces lambeaux englobent la quasi-totalité du Trias et des couches de transition aux sédiments du Lias. Cette découverte change fondamentalement les interprétations tectoniques avancées par VERNET (1965).

### 3.3 - TECTONIQUE

Nous ne voulons pas dans ce travail reprendre toutes les données sur la tectonique de la couverture triasique apportées par les travaux de VERNET (1965), GIDON (1965) et récemment par l'étude poussée de GRATIER et al (1973), mais essayer simplement d'expliquer la position structurale des compartiments du Trias porteur de minéralisation par rapport à l'ensemble des affleurements de la couverture dans la zone étudiée.

Lorsque l'on examine la lithologie du Trias de Jas Roux, et si on la compare aux affleurements triasico-liasiques mis en évidence par VERNET (1965) sous la Pointe de Jarroux et autour du glacier de Surette, on constate que la répartition de ces affleurements en fonction de leur lithologie est loin d'être aléatoire. En effet, les niveaux repères tels que : complexe gréseux à la base du Trias, coulées de spilitites et schistes noirs du Lias, montrent que la disposition générale

des affleurements correspond à un synclinal dont l'axe imaginaire, de direction NO-SE passerait entre le Col du Sirac et la Pointe de Jarroux.

L'axe de ce synclinal est jalonné par des sédiments du Lias. Remarquons que cette direction de l'axe synclinal, issue de construction, est approximativement parallèle au litage des couches triasiques dans les compartiments tectoniques de Jas Roux. D'autre part, l'interprétation de VERNET (1965) sur une liaison directe entre le Trias du synclinal de Morges et le synclinal de Surette, assurée par des affleurements liasiques dans la vallée du torrent de Chabournéou, devient difficilement applicable car les axes de ces deux synclinaux, avant des déformations tectoniques postérieures, étaient quasi-parallèles. Il semble plutôt que les affleurements mentionnés ci-dessus fassent partie du synclinal de Morges, d'autant qu'ils se situent au NO de la faille décrochante de direction NE-SO, mettant en contact le cristallin du Sirac avec le Trias du synclinal de Morges. Ces failles très importantes furent également mises en évidence par GRATIER et al (1973). C'est d'ailleurs également sur une de ces failles jouant toujours en faisceau que se termine, à l'Ouest, l'ensemble du Trias du synclinal de Surette.

Ce synclinal est découpé au Nord par une zone tectonique primordiale E-O. Le fait que l'axe synclinal était oblique à la direction de cette zone tectonique, a permis de conserver toute la série stratigraphique du Trias. Le contact avec le cristallin suivant cette zone est nettement chevauchant.

Des mesures de diaclases ont été effectuées sur deux compartiments du Trias de Jas Roux minéralisés (n° 1 et 2).

Le nombre des diaclases mesurées a été de 103 pour le compartiment n° 1 et de 124 pour le compartiment n° 2. Leurs projections stéréographiques (canevas de Wulff, hémisphère supérieur) sont données sur les figures 4 et 5. Le litage (L) n'a été reporté que pour le compartiment n° 1. Comme il ressort de ces diagrammes, deux directions de diaclases sont présentes ; l'une E.NE-O.SO presque verticale, tendant le compartiment n° 1 vers le Nord, ce qui donne la direction générale NE-SO (diaclases A), l'autre orientée NO-SE avec des pendages faibles, variant de 40° à 50° vers le SO (diaclases B). Les diaclases de l'ensemble A sont nettement antérieures à celles de l'ensemble B.

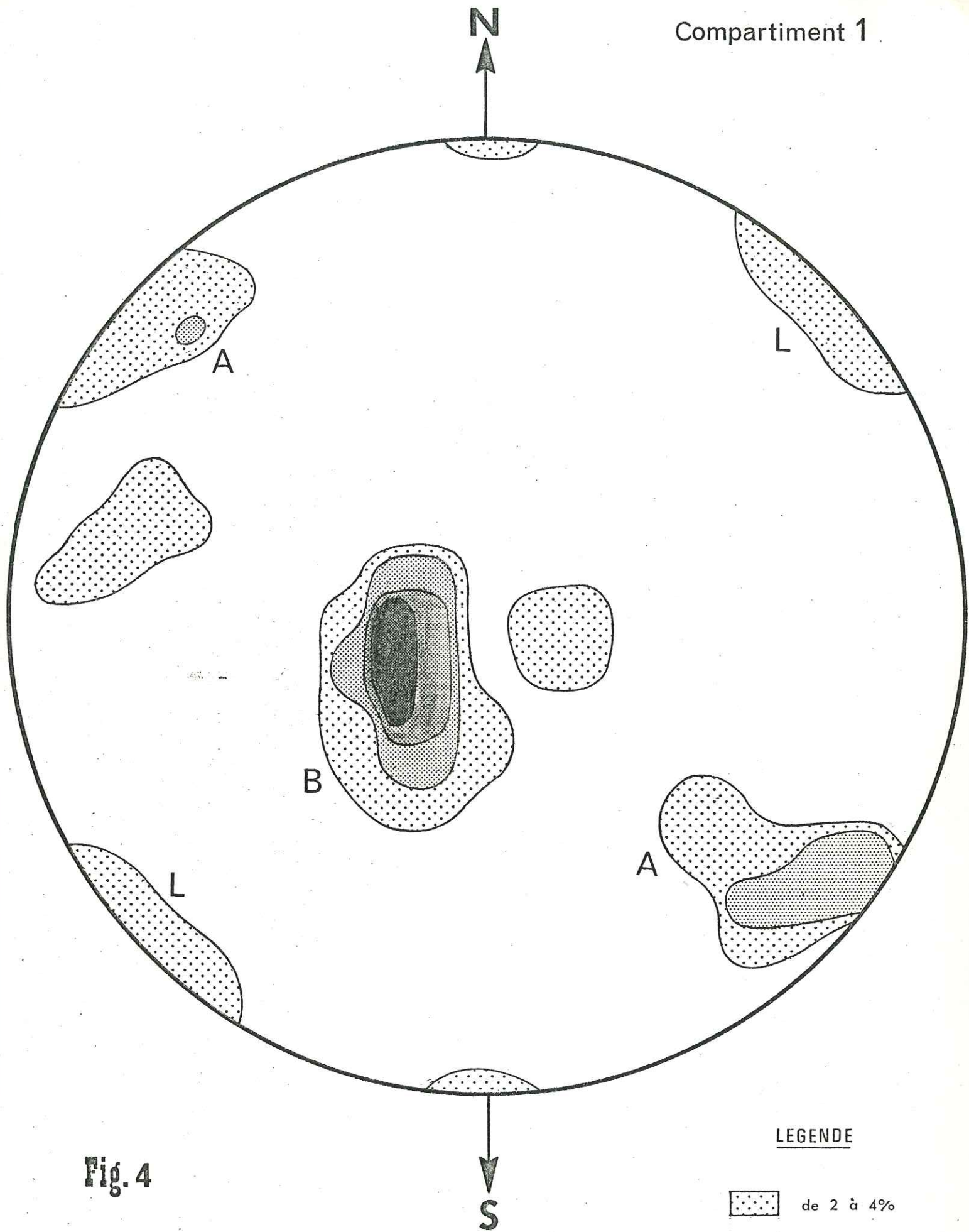
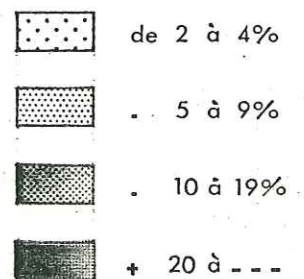


Fig. 4

LEGENDE





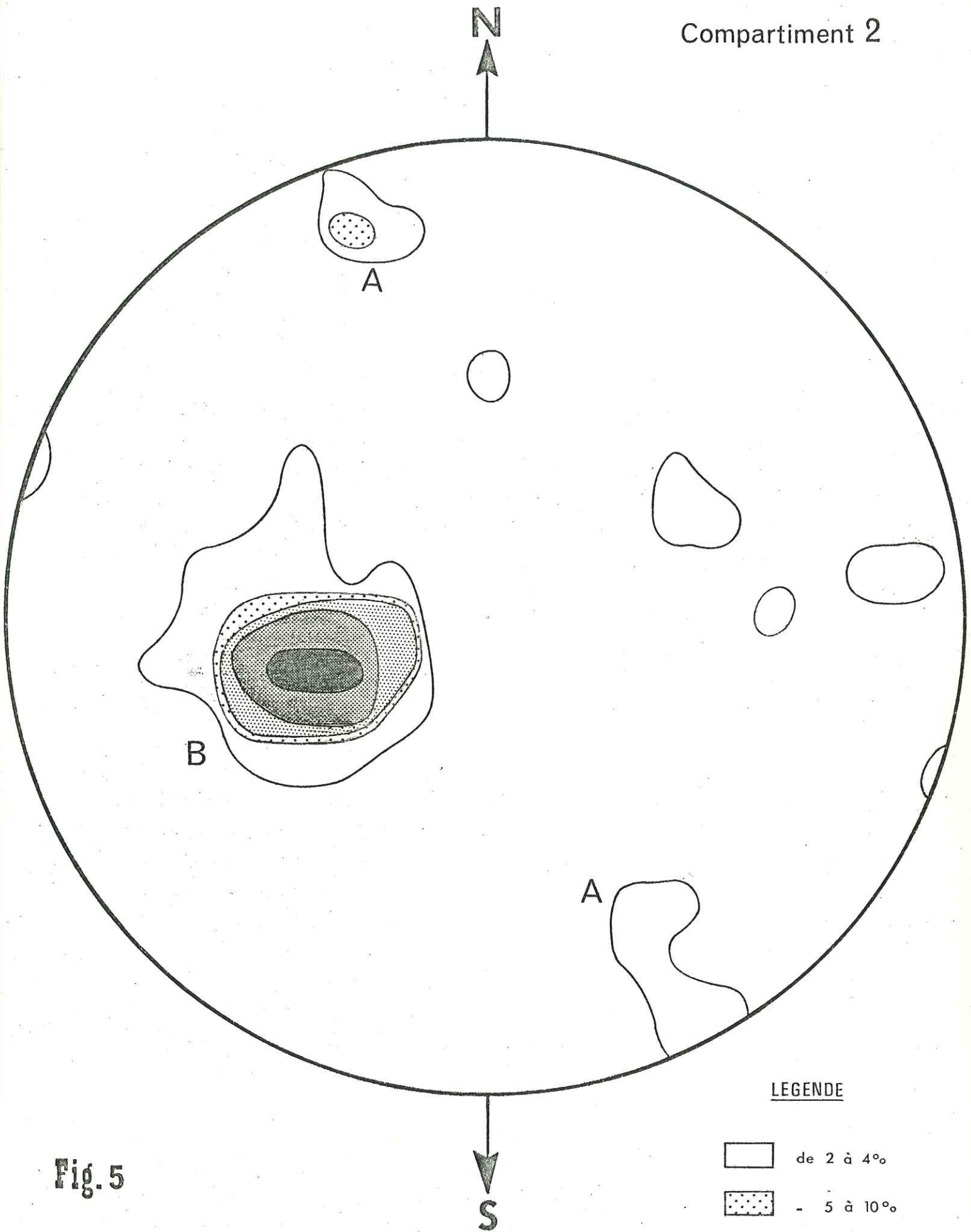


Fig. 5

Les diaclases A, presque perpendiculaires au litage (en particulier dans le cas du compartiment n° 1) sont ouvertes et minéralisées. Elles ont pris naissance par suite d'une compression de direction générale E-O. Leur disposition en échelons montre que cette compression avait partiellement un caractère de cisaillement simple, en particulier dans la partie Ouest de la structure.

En ce qui concerne les diaclases B, toujours stériles, mais parfaitement développées, elles peuvent être interprétées comme résultant d'un déplacement tangentiel du NE vers le SO de l'ensemble de la structure. Ce déplacement a été suggéré déjà par GIDON (1965) qui l'interprète comme un grand décrochement post-nummulitique recoupant toutes les structures et conduisant au chevauchement du Trias du synclinal de Morges par le cristallin du Sirac. Notons cependant que le contact chevauchant du Trias avec le cristallin des Ecrins de direction E-O, permet de penser que ce déplacement serait dû à toute une série de failles décrochantes de direction NE-SO, affectant également le cristallin du brachyanticlinal des Ecrins en le mettant en mouvement avec le cristallin du Sirac.

La structure du synclinal de Surette est enfin affectée par une tectonique cassante de direction NO-SE, postérieure à tous les phénomènes tectoniques décrits ci-dessus. L'étude des photographies aériennes a pu mettre en évidence une zone tectonique de cette direction, large de plusieurs centaines de mètres, affectant le cristallin au Nord des lambeaux triasiques de Jas Roux. Les diaclases de cette direction sont parfois remplies de quartz et de calcite.

A la suite de ces observations, l'évolution tectonique de la couverture triasique du synclinal de Surette peut être interprétée de la façon suivante :

La première phase tectonique importante a conduit dans l'ensemble du massif du Pelvoux, à la formation des synclinaux de la couverture dont les axes avaient la direction NO-SE. Certaines de ces charnières synclinales sont encore bien observables dans la partie occidentale du Pelvoux (synclinal de Venosc, par exemple).

Ces structures synclinales ont été ensuite soumises à des contraintes tectoniques, liées fort probablement au bombement du massif du Pelvoux. Dans notre cas, cette contrainte se reflète dans l'existence d'une zone tectonique E-O très importante, qui joua à plusieurs reprises et qui limite actuellement l'extension du synclinal de Surette vers le Nord. Les failles décrochantes, de direction NE-SO, conduisent au renversement des structures d'une part et à des discontinuités tectoniques entre les synclinaux triasico-liasiques d'autre part. La dernière phase tectonique, de direction NO-SE, a un caractère cassant avec des décrochements horizontaux de petite envergure.



## CHAPITRE IV

### ETUDE DE LA ZONE MINERALISEE DE JAS ROUX

#### 4.1 - TRANSFORMATION HYDROTHERMALE DES ROCHES ENCAISSANTES

Les compartiments du Trias n° 1 et 2, ont subi une transformation hydrothermale très avancée. Celle-ci affecte la majeure partie du compartiment n° 1 et devient plus localisée dans le compartiment n° 2.

La transformation la plus importante consiste en une silicification des roches carbonatées du Trias qui donne naissance à des jaspé-roides ou à des cherts hydrothermaux.

Cette silicification a un caractère métasomatique. Le remplacement qui se fait pratiquement grain par grain est sélectif vis-à-vis des différents minéraux de la roche. Ainsi, toutes les impuretés, particulièrement celles qui sont argileuses et graphiteuses, demeurent non remplacées, au moins lors du premier stade de silicification. Ceci permet d'ailleurs de deviner les fantômes de la structure originale, y compris la direction du litage. Dans le cas où la roche renfermait des lits détritiques, ceux-ci ont été également préservés par la métasomatose. En effet, on observe souvent des grains de quartz détritique, beaucoup plus grossier, qui baignent dans le chert. Le remplacement des carbonates reprend si fidèlement l'ancienne structure que même des fantômes de filonnets de calcite, souvent présents dans les dolomies du Trias, sont décelables.

La structure de ce chert hydrothermal est microcristalline avec des grains de quelques microns intimement interpénétrés dans une orientation quelconque.

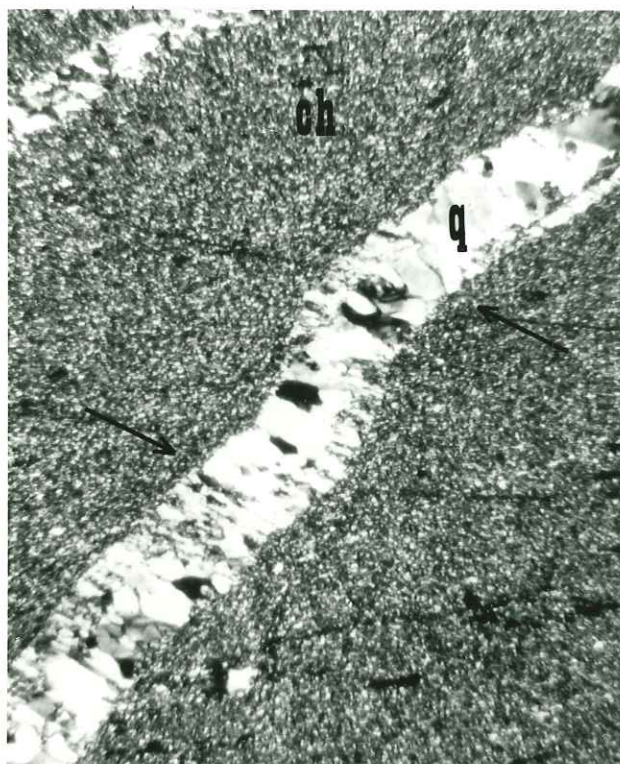
Parfois, on aperçoit d'anciennes vacuoles remplies de quartz, à structure radiée.

## PLANCHE 1

- 1 - Le chert hydrothermal (ch) est recoupé par des filonnets de quartz (q), présentant une orientation préférentielle nette. L'origine syntectonique de ces filonnets se manifeste également par des inflexions dont une est visible sur la photo.
- 2 - Détail du même type de filonnet de quartz (q). La direction de l'orientation préférentielle des grains de quartz est indiquée par la flèche 2. On remarque qu'elle est oblique à la direction du litage dont les fantômes sont perceptibles dans le chert (flèche 1).  
Lame mince, nicols croisés, x 40.
- 3 - Chert hydrothermal (ch) remplaçant des dolomies gréseuses. On aperçoit des grains de quartz clastique (q), préservés par la métasomatose, ainsi que la direction du litage des dolomies. La métasomatose siliceuse conserve parfaitement les variations granulométriques de la roche originale, y compris d'anciens filonnets de calcite dont les fantômes sont indiqués par la flèche.  
Lame mince, nicols croisés, x 18.
- 4 - Cristaux subautomorphes d'adulaire (a) se développant dans un calcaire dolomitique à grain fin. Ailleurs, on trouve également l'adulaire en filonnets de calcite, recoupant des calcaires, accompagnée d'albite.  
Lame mince, nicols croisés, x 40.



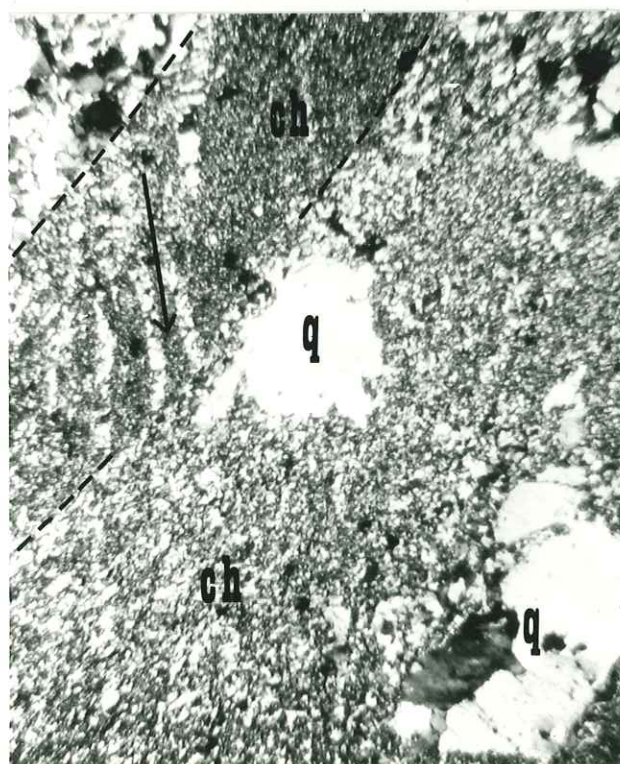
# PLANCHE 1



1



2



3



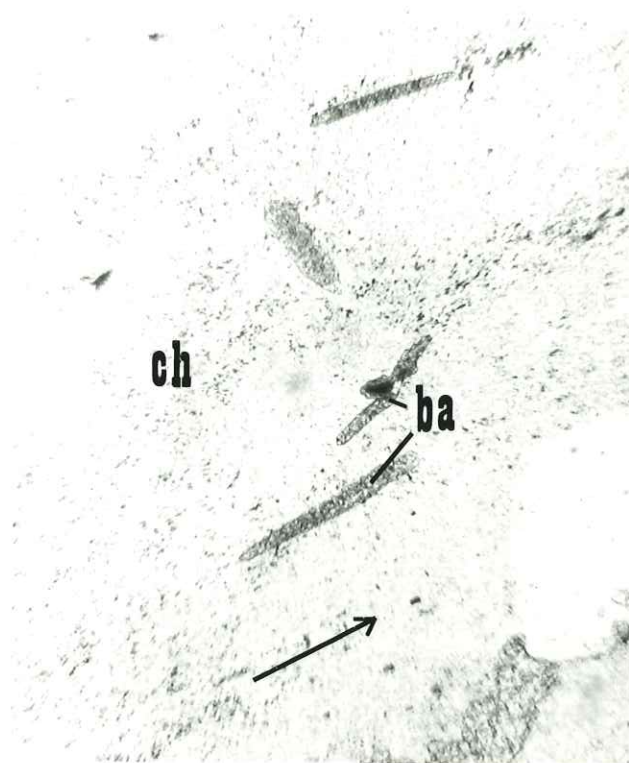
4



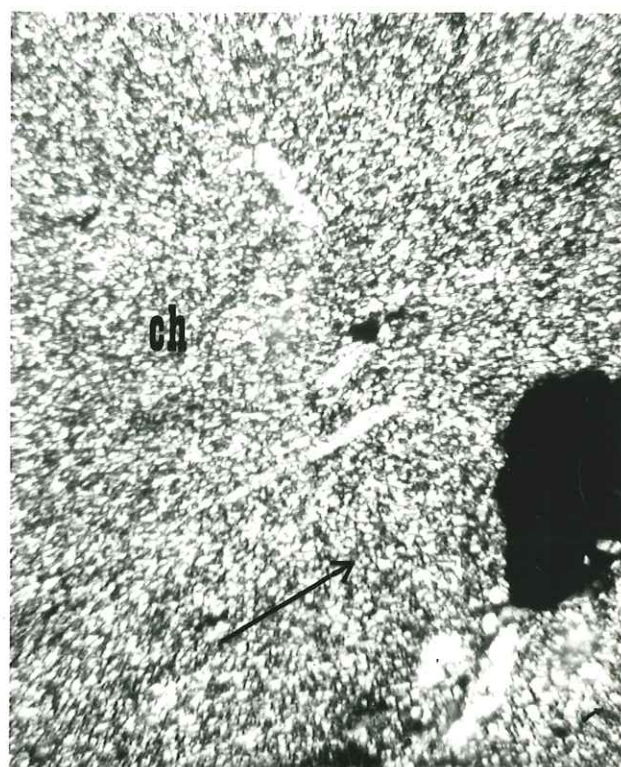
## PLANCHE 2

- 1 - Pseudomorphose de barytine (ba) après les lamelles de mica dans le chert (ch). La direction de litage est indiquée par la flèche.  
Lame mince, sans analyseur, x 40.
- 2 - Idem entre nicols croisés. On remarque une structure fine et uniforme du chert. La plage noire est un arrachement dans la lame mince.  
Lame mince, nicols croisés, x 40.
- 3 - Structure interne d'un filonnet de quartz accompagné de barytine dans le chert (ch).  
La barytine (ba) est nettement postérieure au quartz (q), en remplissant des cavités et en pénétrant suivant les joints des grains du quartz.  
Lame mince, sans analyseur, x 40.
- 4 - Idem entre nicols croisés.  
Lame mince, nicols croisés, x 40.

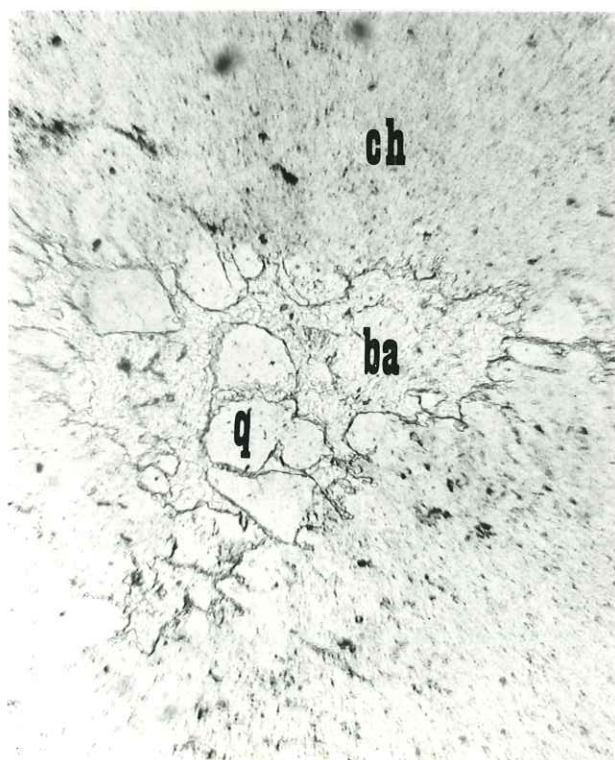
# PLANCHE 2



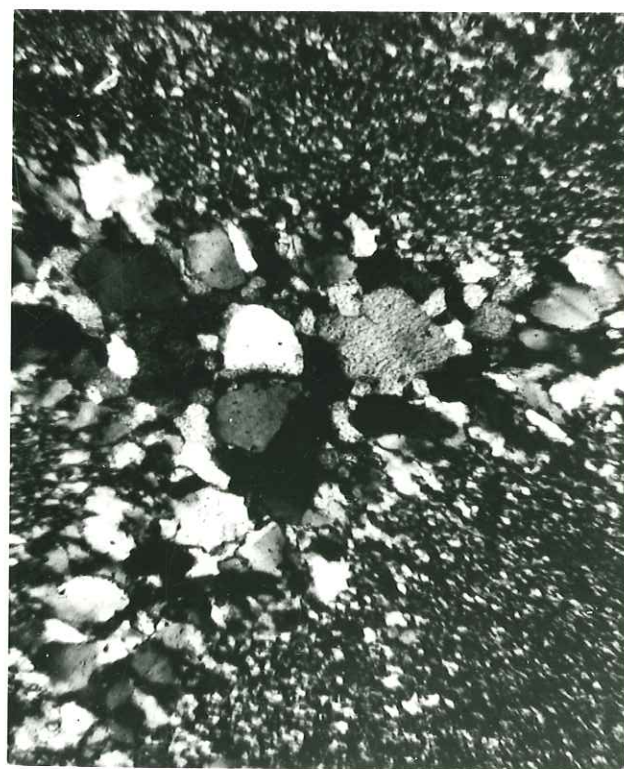
1



2



3



4



### PLANCHE 3

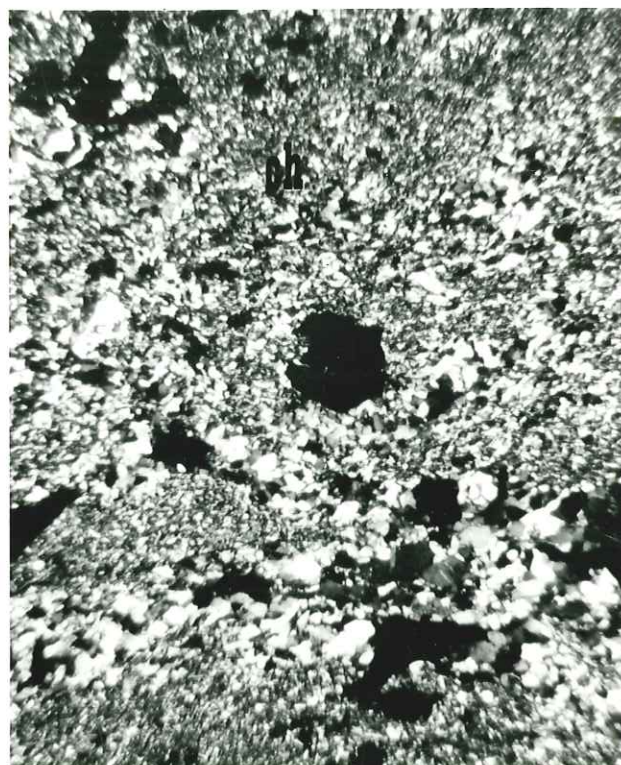
- 1 - Pseudomorphose d'un agrégat de quartz (q) après un cube de fluorine dans le chert (ch).  
Lame mince, nicols croisés, x 40.
- 2 - Fluorine (noir) en cristaux subautomorphes et en filonnets interstitiels dans le chert (ch).  
Lame mince, nicols croisés, x 18.
- 3 - Les arkoses du Trias sont souvent traversées par des veinules de quartz de basse température, riche en aiguille de rutile (q + r).  
L'éponte de la veinule est soulignée.  
Lame mince, sans analyseur, x 70.
- 4 - Cristallisation syntectonique de barytine (ba). De gros cristaux déformés de barytine présentant une extinction roulante, sont cataclasés et cimentés par la barytine finement cristallisée.  
Lame mince, nicols croisés, x 40.



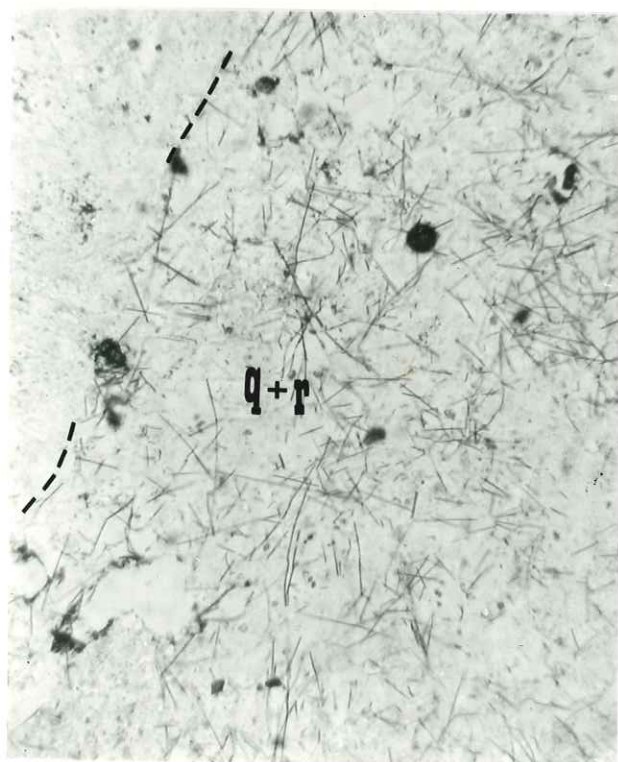
# PLANCHE 3



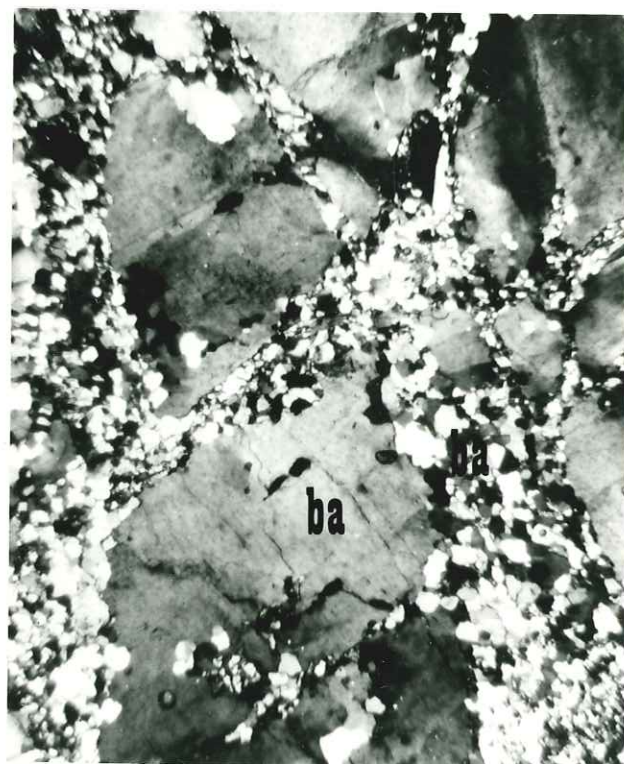
1



2



3

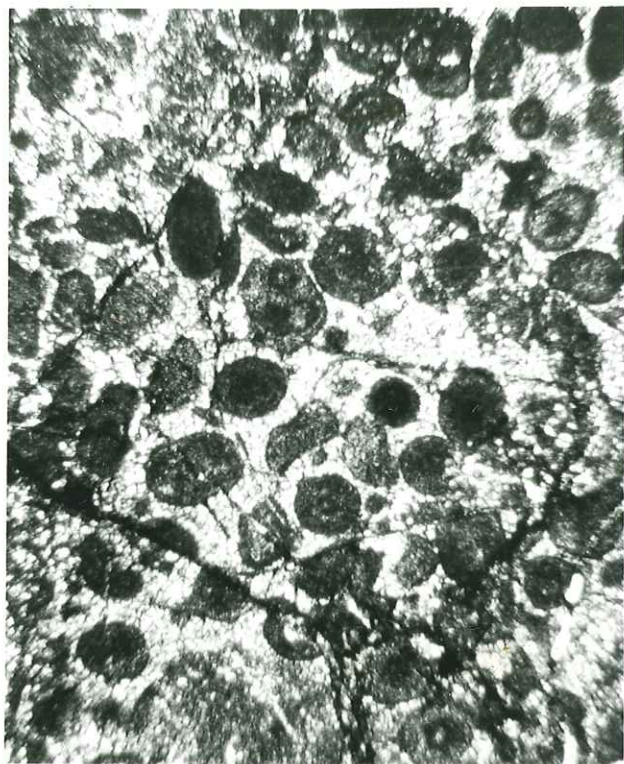


4

#### PLANCHE 4

- 1 - Calcaire oolithique situé au-dessus des coulées spilitiques.  
Lame mince, sans analyseur, x 18.
- 2 - Cette photographie montre une structure pseudo-cataclasique, typique de la plupart des dolomies et des calcaires dolomitiques du Trias à Jas Roux.  
Lame mince, sans analyseur, x 18.
- 3 - Contact entre une coulée spilitique (sp) et une argilite rouge (ar). Au contact, on observe une couche de verre (v) partiellement recristallisée.  
Lame mince, sans analyseur, x 40.
- 4 - Structure ophitique de spilite. Lattes de plagioclase baignant dans une mésostase chloriteuse. Plages de minéral en abondance (noir). Le contact avec l'argilite (ar) est de nouveau visible.  
Lame mince, nicols croisés, x 18.

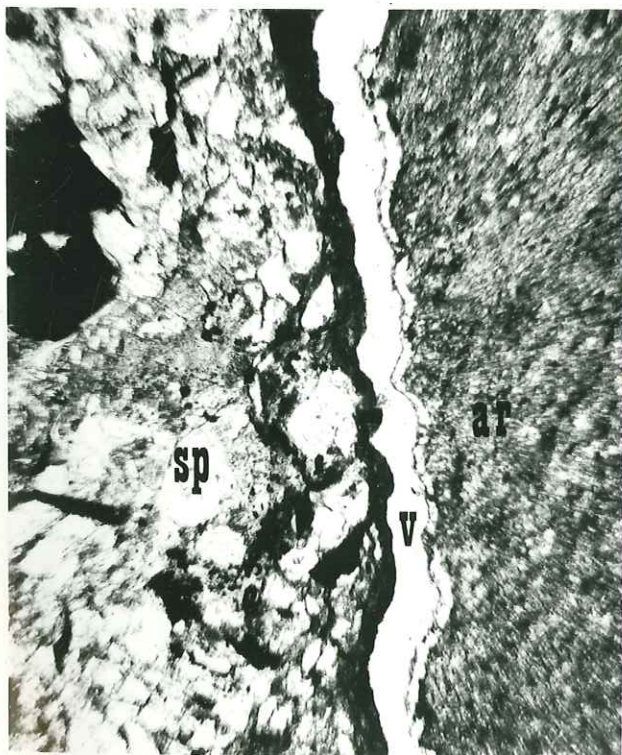




1



2



3



4





Les zones silicifiées sont toujours étroitement liées à la minéralisation ou à la proximité de la zone tectonique E-O. Le remplacement siliceux progresse toujours suivant le litage des roches.

Le chert est recoupé par des filonnets de quartz dont les cristaux montrent un étirement oblique par rapport au litage, ce qui prouve leur cristallisation lors d'une contrainte tectonique. On observe par ailleurs que ces filonnets sont souvent infléchis ; ceci permet d'entrevoir une certaine plasticité du milieu recoupé, c'est-à-dire du chert, au moment de leur formation.

Cette phase minéralisatrice syntectonique comprend également de la barytine et de la fluorine. La barytine nettement postérieure au quartz, se présente soit en filonnets recoupant le chert, soit elle remplace métasomatiquement des roches triasiques non silicifiées. On peut également observer la pénétration de la barytine dans le chert, suivant les joints des grains du quartz.

D'autre part, la cristallisation syntectonique de la barytine se manifeste par une cataclase de ses cristaux et leur recimentation par une barytine finement grenue.

La fluorine incolore n'a été observée que dans le chert. Les rapports entre la barytine et la fluorine n'ont pu être étudiés, faute de contacts entre ces deux minéraux. Par contre, nous pouvons affirmer que la fluorine est postérieure à la phase principale de silicification mais antérieure au quartz qui la remplace.

Les observations exposées ci-dessous permettent de conclure que la minéralisation sulfurée est précédée d'une phase importante de silicification à caractère métasomatique, séparée de phénomènes hydrothermaux postérieurs par une recrudescence de l'activité tectonique.

Outre la barytine, la fluorine et le quartz, incontestablement postérieurs au chert, nous avons observé des diaclases remplies de calcite accompagnée d'adulaire et d'albite ( $An_8$  mesuré par l'angle d'extinction des lamelles de macle), dans les dolomies triasiques.

Ce type d'association semble être également caractéristique de la zone affectée par le processus hydrothermal.

#### 4.2 - ETUDE MINÉRALOGIQUE

La minéralisation sulfurée est la mieux développée dans le compartiment n° 2, où elle se limite à une zone de 3,80 mètres de puissance, riche en barytine. Elle devient plus disséminée dans le compartiment n° 1 et insignifiante enfin dans le n° 0, où cependant la barytine demeure abondante. Nous rappelons qu'elle est liée aux diaclases du type A, de direction E.NE-O.SO.

Nous donnons ci-après les résultats de l'étude minéralogique détaillée des minéraux constituant la paragenèse hydrothermale de la minéralisation de Jas Roux.



## PYRITE

La pyrite compte parmi les minéraux ubiquistes de la zone minéralisée de Jas Roux. Il est d'ailleurs fort probable que nous ayons affaire à deux types de pyrite génétiquement différents ; l'un aurait pris naissance dans le milieu sédimentaire du Trias et aurait subi tous les phénomènes tectoniques postérieurs affectant les roches triasiques, l'autre ferait partie de la minéralisation hydrothermale thallifère.

Sur le terrain, et même en sections polies, il est difficile de distinguer ces deux générations de pyrite qui se trouvent souvent ensemble. D'une manière générale, la pyrite d'origine sédimentaire est localisée dans des intercalations schisteuses de la série triasique ; elle y forme des lits millimétriques constitués de cristallites très fines, xénomorphes ou subautomorphes, donnant naissance à des agrégats massifs. Ceux-ci renferment parfois des minéraux silicatés de la roche encaissante, paillettes de micas par exemple. Nous n'avons pas observé de pyritosphères dont l'absence peut s'expliquer par une forte cristallisation due à l'affectation tectonique intense.

Ces lits pyriteux concordants au litage sont, par endroits, intensément plissés ou réduits par la tectonique directionnelle ; de même, on observe fréquemment leur étirement en lentilles.

La pyrite d'origine hydrothermale se présente en cristaux beaucoup plus grands, la plupart du temps subautomorphes.

En sections polies, on observe son caractère interstitiel par rapport à la roche encaissante ; en effet, ces cristaux de pyrite sont toujours situés aux joints des grains de la roche et présentent une forte tendance à l'automorphisme.

Rarement, ces cristaux subautomorphes s'accumulent en agrégats massifs à structure collomorphe. Nous avons pu apercevoir les stades intermédiaires de cette accumulation ; il s'agit donc d'un processus progressif. La pyrite hydrothermale est le minéral le plus précoce de la minéralisation de Jas Roux ; elle est généralement associée à la blende, l'autre phase de cette période minéralisatrice. La forme cristallographique prédominante des cristaux de pyrite de Jas Roux est le pentagondodécaèdre.

Des dosages de thallium ont été réalisés à la microsonde électronique sur des cristaux de pyrite d'origine hydrothermale. Le temps de comptage était de 100 sec, le témoin utilisé  $TlAsS_2$ , et par suite du faible rapport pic/fond, le bruit de fond était pris avant et après le pic de thallium.

D'après ces résultats, la teneur en thallium dans la pyrite est très constante, égale à 0,07 % Tl. Cette teneur se classe parmi les plus élevées connues dans des pyrites de paragenèses épithermales. D'après IVANOV et al (1960), la teneur moyenne en Tl des pyrites de gisements polymétalliques (Pb - Zn - Cu) est de 0,001 à 0,005 % Tl. Par ailleurs, on trouve des teneurs élevées dans des pyrites à structure collomorphe, caractéristiques de basses températures.

Ainsi, les pyrites collomorphes du Caucase contiennent de 0,01 à 0,21 % de Tl. Dans le gisement de Dzhizhikurt (minéralisation à Sb et Hg), la pyrite renferme de 0,003 à 0,01 % Tl, exceptionnellement jusqu'à 0,36 % Tl. Par contre, toujours d'après IVANOV et al (1960), la pyrite sédimentaire est généralement pauvre en thallium (autour de 0,001 % Tl).

La teneur élevée en thallium dans la pyrite de Jas Roux montre que celui-ci était présent dans les solutions dès le début de la formation de cette minéralisation thallifère.



## BLENDE

A Jas Roux, la blende est particulièrement abondante dans le compartiment n° 2 du Trias. Elle y forme des imprégnations dans la gangue essentiellement barytique, associée à de la pyrite et à des sulfo-antimoniures de plomb. Les plages de blende ont un caractère interstitiel dans la roche encaissante ; elles se développent aux joints des grains des minéraux de la roche, et leur aspect dépend de la nature de ces derniers. Ainsi, on distingue nettement la blende, mise en place dans les intercalations schisteuses, car ses plages renferment de nombreuses paillettes de mica, de celle située dans la matrice carbonatée où elle a tendance à un développement automorphe, tout en restant interstitielle. Les cristaux bien développés sont rares ; nous en avons trouvé quelques uns, dont un de 3 mm environ à faciès octaédrique.

Notons que ce faciès qui résulte d'un développement équilibré de deux tétraèdres est, d'après GRAESER (1965), également caractéristique de la blende de Lengbach.

La blende de Jas Roux est incolore ou jaune miel très clair. Ceci indique que sa teneur en fer est faible, ce qui est typiquement le cas des blendes de basse température. Son chimisme a été étudié à la microsonde électronique. L'analyse qualitative (sensibilité maximale de l'intégrateur) a révélé, outre les éléments Zn et S, la présence de faibles teneurs en Fe, Cd, Tl.

Ces éléments ont été dosés dans les mêmes conditions que pour la pyrite (cf. ci-dessus). Les témoins utilisés furent  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{TlAsS}_2$  et Cd métal. Les résultats obtenus sont les suivants :

|    |       |
|----|-------|
| Fe | 0,7 % |
| Cd | 0,8 % |
| Tl | 0,1 % |

La teneur en thallium est légèrement supérieure à celle trouvée dans la pyrite. Nous ne disposons malheureusement d'aucune donnée concernant la teneur en Tl dans les blendes incolores bien cristallisées des gisements épithermaux. D'après SCHROLL (1953) et HARANCZYK (1956), les blendes les plus thallifères sont celles à structure collomorphe ("schalenblende"), contenant jusqu'à 1 % de Tl.

HARANCZYK (1956) fait remarquer que la teneur en thallium des blendes est souvent corrélée avec celle en As.

Quand au cadmium, sa teneur dans la blende étudiée est proche de la moyenne (SCHROLL, 1953).

Signalons enfin que HARANCZYK (1956) suppose que la teneur en thallium dans la blende est plus élevée dans le cas où celle-ci se serait formée à partir des solutions légèrement acides, et plus basse pour les solutions alcalines. Le comportement du cadmium est inverse.

Nous avons essayé de représenter notre blende sur les droites de corrélation HARANCZYK (1956) mais sans succès. Pour la teneur de 0,1 % en Tl, la teneur en Cd devrait être autour de 0,1 % également. Il est probable que ces corrélations établies sur les blendes collomorphes de Silésie ne représentent pas une loi générale applicable à toutes les blendes.



## TWINNITE

La twinnite fut décrite comme un nouveau minéral par JAMBOR (1967b) de Madoc, Ontario, Canada. Elle y est extrêmement rare ; actuellement, deux grains macroscopiques (de 1,5 mm environ) et quatre grains microscopiques y ont été trouvés.

L'indice de Jas Roux est le deuxième gisement de twinnite au monde. Nous l'avons trouvée en quantité relativement abondante, uniquement dans les éboulis situés sous la paroi rocheuse du compartiment tectonique du Trias n° 2. Elle se présente en accumulations locales centimétriques ou en filonnets de quelques millimètres d'épaisseur concordant au litage des dolomies schisteuses.

Macroscopiquement, elle forme des agrégats microgrenus de couleur gris noir, à éclat semi-métallique, ressemblant beaucoup à un cuivre gris. Elle est le plus souvent intimement associée à la phase 5  $\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$ , dont l'aspect fibreux apparaît déjà nettement à l'oeil nu.

### Propriétés optiques

La couleur de la twinnite en lumière réfléchie est blanche. A l'air, on observe une nette biréflectance qui devient forte dans l'huile, allant de blanc pur à gris verdâtre. Le pouvoir réflecteur est moyen, analogue à celui des autres sulfo-antimoniures ou sulfo-arséniures de plomb, en particulier de la rathite, de la baumhaueriite, de la sartorite et de la zinckénite.

Pour cette raison, il est impossible de distinguer, en lumière non analysée, la twinnite des minéraux qui lui sont associés, tels que la zinckénite ou la phase 5  $\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

Nous donnons les résultats des mesures du pouvoir réflecteur de deux plages d'orientation différente, dans le tableau 1, et les représentations sous forme de courbes en fig. 6.

Entre nicols croisés, la twinnite présente une forte anisotropie avec des effets chromatiques peu colorés. Avec des nicols légèrement décroisés, on fait apparaître des teintes brônâtres et bleuâtres. Tous les grains de twinnite sont polysynthétiquement macclés suivant (100) (JAMBOR, 1967b). Les lamelles de macles sont bien parallèles, nettes, comparables à celles de l'albite et toujours orientées dans une seule direction. Cela permet de distinguer la twinnite de la rathite dont les propriétés optiques sont par ailleurs assez voisines. De rares réflexions internes rouge pourpre sont observables à l'air ; elles deviennent plus fréquentes dans l'huile, mais sont toujours moins abondantes que dans la zinckénite.

JAMBOR (1967b) signale l'existence d'un clivage parfait suivant (100) ; or, en section polie, les traces de clivages ne sont pas observables même au voisinage des empreintes de la pyramide de Vickers. La microdureté de la twinnite de Jas Roux est de  $150 \text{ kg/mm}^2$  ( $P = 25 \text{ g}$ , moyenne de 5 mesures variant de 145 à  $166 \text{ kg/mm}^2$ ), ce qui concorde parfaitement avec la valeur obtenue par JAMBOR (1967) -  $147 \text{ kg/mm}^2$  ( $P = 50 \text{ g}$ ).



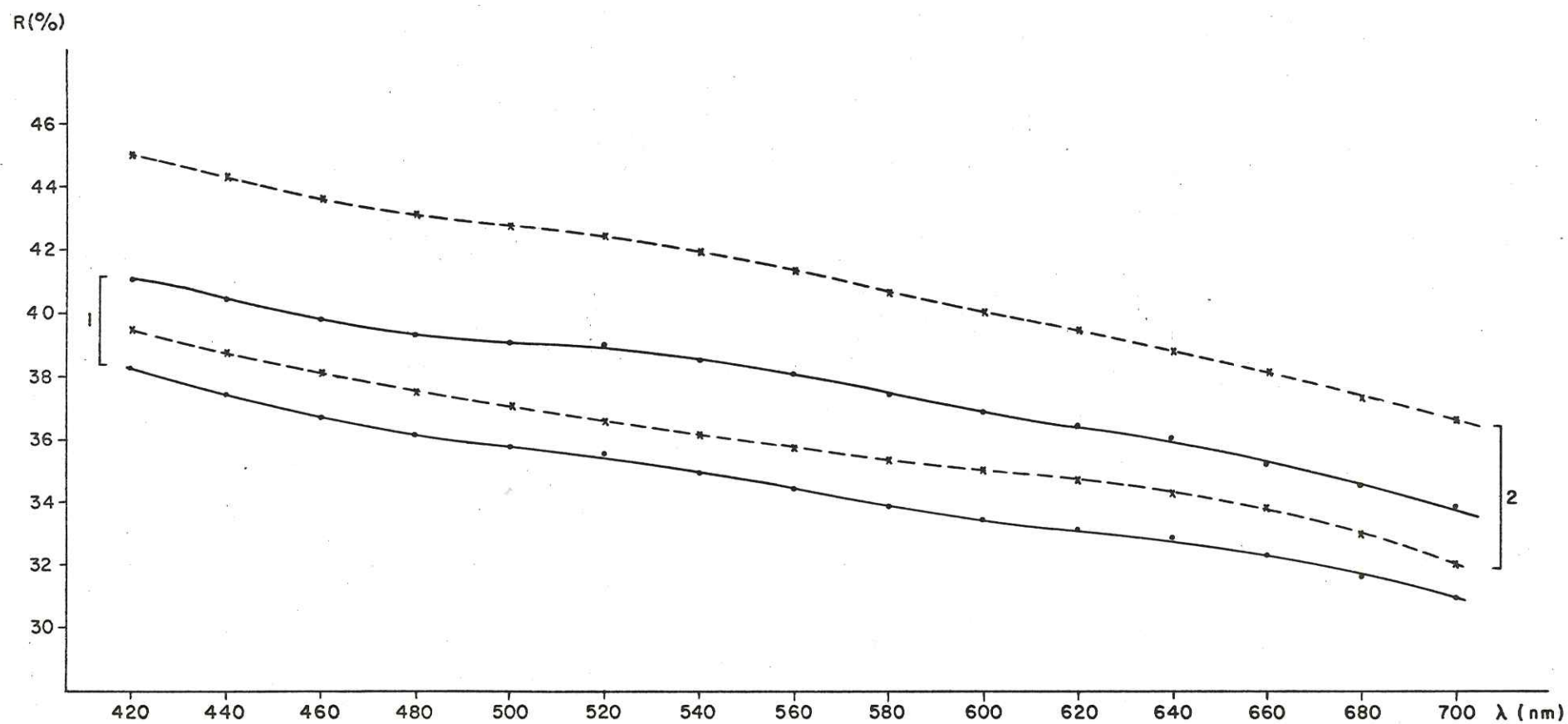


Fig. 6

TABLEAU 1

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA TWINNITE

| $\lambda$ (nm) | Plage 1        |                | Plage 2        |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
| 420            | 41,1           | 38,3           | 45,0           | 39,5           |
| 440            | 40,5           | 37,4           | 44,3           | 38,8           |
| 460            | 39,8           | 36,7           | 43,6           | 38,2           |
| 480            | 39,3           | 36,2           | 43,2           | 37,5           |
| 500            | 39,1           | 35,8           | 42,8           | 37,1           |
| 520            | 39,0           | 35,6           | 42,5           | 36,7           |
| 540            | 38,5           | 34,9           | 41,9           | 36,2           |
| 560            | 38,0           | 34,4           | 41,3           | 35,8           |
| 580            | 37,4           | 33,8           | 40,6           | 35,3           |
| 600            | 36,9           | 33,4           | 40,0           | 35,0           |
| 620            | 36,5           | 33,1           | 39,4           | 34,7           |
| 640            | 36,0           | 32,9           | 38,8           | 34,4           |
| 660            | 35,2           | 32,3           | 38,1           | 33,8           |
| 680            | 34,5           | 31,6           | 37,3           | 33,0           |
| 700            | 33,8           | 31,0           | 36,6           | 32,0           |

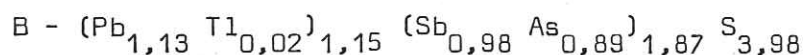
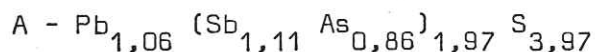


### Etude chimique

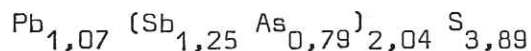
Deux analyses chimiques ont été réalisées à la microsonde électronique. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 2 et comparés à l'analyse de la twinnite de Madoc (JAMBOR, 1967b). La twinnite de Jas Roux contient une faible teneur en thallium ; celui-ci n'a malheureusement été dosé que dans une des analyses, ce qui explique un total légèrement déficitaire de l'analyse A.

Il est intéressant de noter que la structure de la sartorite, proche de celle de la twinnite, semble être particulièrement favorable à un remplacement de Pb par Tl. En effet, NOWACKI et BAHEZRE (1963) ont trouvé 2,6 % de Tl dans la sartorite de Binn.

En se référant aux conclusions de JAMBOR (1967b), nous avons calculé la formule de la twinnite sur la base d'un total de 7 atomes par unité formulaire. Ainsi, les formules cristallographiques résultant des analyses sont les suivantes :



L'analyse de JAMBOR (1967) donne :



Lorsque l'on compare ces formules cristallographiques, on est surpris de constater que le rapport Sb/As dans les twinnites provenant de deux gisements très éloignés, l'un au Canada, l'autre en France, est quasi-identique, proche de un.

TABLEAU 2

## ANALYSES CHIMIQUES DE LA TWINNITE

|        | A    |        |      | B     |        |      | C   |        |      |
|--------|------|--------|------|-------|--------|------|-----|--------|------|
|        | 1    | 2      | 3    | 1     | 2      | 3    | 1   | 2      | 3    |
| Pb     | 39,5 | 0,1906 | 1,06 | 42,6  | 0,2055 | 1,13 | 41  | 0,1979 | 1,07 |
| Tl     | n.d. | -      | -    | 0,7   | 0,0034 | 0,02 | -   |        |      |
| Sb     | 24,4 | 0,2004 | 1,11 | 21,7  | 0,1782 | 0,98 | 28  | 0,2300 | 1,25 |
| As     | 11,6 | 0,1548 | 0,86 | 12,0  | 0,1602 | 0,89 | 11  | 0,1468 | 0,79 |
| S      | 23,0 | 0,7173 | 3,97 | 23,1  | 0,7204 | 3,98 | 23  | 0,7173 | 3,89 |
| Totaux | 98,5 | 1,2631 | 7    | 100,1 | 1,2677 | 7    | 103 | 1,2920 | 7    |

A et B - twinnite de Jas Roux, analyses à la microsonde électronique (témoins : PbS, TlAsS<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)

C - twinnite de Madoc (Canada), analyse à la microsonde électronique (JAMBOR, 1967)

1 - résultat d'analyse

2 - rapports atomiques

3 - nombre d'atomes calculé sur la base d'un total de 7 atomes

n.d. - non dosé

Ceci permet de penser que la formule idéale de la twinnite ne devrait pas s'écrire  $\text{Pb}(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_4$  comme le proposait JAMBOR (1967b), mais  $\text{PbSbAsS}_4$ . Cette supposition semble se confirmer par l'étude du système ternaire  $\text{PbS}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{As}_2\text{S}_3$ , effectuée par WALIA et CHANG (1973). Nous reviendrons à ce problème dans le chapitre suivant.

### Etude radiocristallographique

Le matériel à notre disposition se prêtant mal à une étude sur monocristaux (agrégats polycristallins très fins), nous n'avons pas pu vérifier la maille donnée par JAMBOR (1967b).

Le diagramme de poudre (tableau 3) concorde bien avec celui de la twinnite de Madoc. Son indexation fut effectuée en utilisant un programme d'affinement par la méthode des moindres carrés. Les paramètres obtenus sont les suivants :

$$a_0 = 19,54 \pm 0,01 \text{ \AA}$$

$$b_0 = 7,955 \pm 0,003$$

$$c_0 = 8,512 \pm 0,003$$

$$V = 1323 \text{ \AA}^3$$

Ils sont donc légèrement plus petits que ceux publiés par JAMBOR (1967b), qui a démontré, d'après les clichés de Weissenberg et de précession, que la twinnite possède une surstructure dont la maille a les dimensions :  $a'_0 = a_0$  ;  $b'_0 = b_0$  et  $c'_0 = \frac{1}{2} c_0$ .

Par contre, la sartorite, isotype de la twinnite a une maille élémentaire caractérisée par les dimensions :  $a_0 = a'_0$  ;  $b_0 = b'_0$  ;  $c_0 = c'_0$  (RÖSH et HELLNER, 1959), qui se trouvent être celles de la surstructure de la twinnite.

D'après NOWACKI et al (1961), ces paramètres caractérisent la maille de la sartorite.



TABLEAU 3

DIAGRAMME DE POUDRE DE LA TWINNITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence  
intensités relatives de 1 à 10

| I  | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|----|------------------|-------------------|-----|
| 5  | 9,82 Å           | 9,76 Å            | 200 |
| 7  | 4,17             | 4,163             | 410 |
|    |                  | 4,155             | 102 |
| 6  | 3,883            | 3,898             | 120 |
|    |                  | 3,898             | 202 |
| 3  | 3,681            | 3,684             | 220 |
|    |                  | 3,681             | 112 |
| 10 | 3,515            | 3,508             | 510 |
|    |                  | 3,501             | 212 |
| 2  | 3,401            | 3,395             | 320 |
| 4  | 3,259            | 3,256             | 600 |
|    |                  | 3,250             | 312 |
| 4  | 3,097            | 3,084             | 420 |
| 5  | 2,990            | 3,014             | 610 |
|    |                  | 2,975             | 412 |
| 1  | 2,904            | 2,900             | 421 |
| 1  | 2,871            | 2,874             | 122 |
| 9  | 2,792            | 2,788             | 520 |
|    |                  | 2,784             | 222 |
| 6  | 2,671            | 2,671             | 013 |
| 6  | 2,645            | 2,653             | 322 |
|    |                  | 2,649             | 521 |
|    |                  | 2,646             | 113 |
| 8  | 2,340            | 2,343             | 413 |
|    |                  | 2,335             | 810 |
| 4  | 2,237            | 2,239             | 712 |
|    |                  | 2,236             | 132 |
| 6  | 2,138            | 2,138             | 603 |
| 5  | 2,057            | 2,056             | 630 |
|    |                  | 2,054             | 014 |

### Comparaison de la twinnite et de la guettardite

Ces deux espèces minérales, telles qu'elles étaient définies par JAMBOR (1967b), sont si proches par leurs propriétés physiques et leurs structures, que l'on doit se demander s'il s'agit de deux minéraux bien distincts, "ou simplement de deux variétés structurales" (cf. STRUNZ, 1970).

La comparaison des analyses effectuées à la microsonde électronique (tableau 4) montre, compte tenu des imprécisions de dosage et de la méthodologie d'analyse utilisée (JAMBOR, 1967a) un chimisme quasi identique de la twinnite et de la guettardite. Celui-ci ressort d'ailleurs des formules attribuées à ces deux minéraux par JAMBOR (1967b).

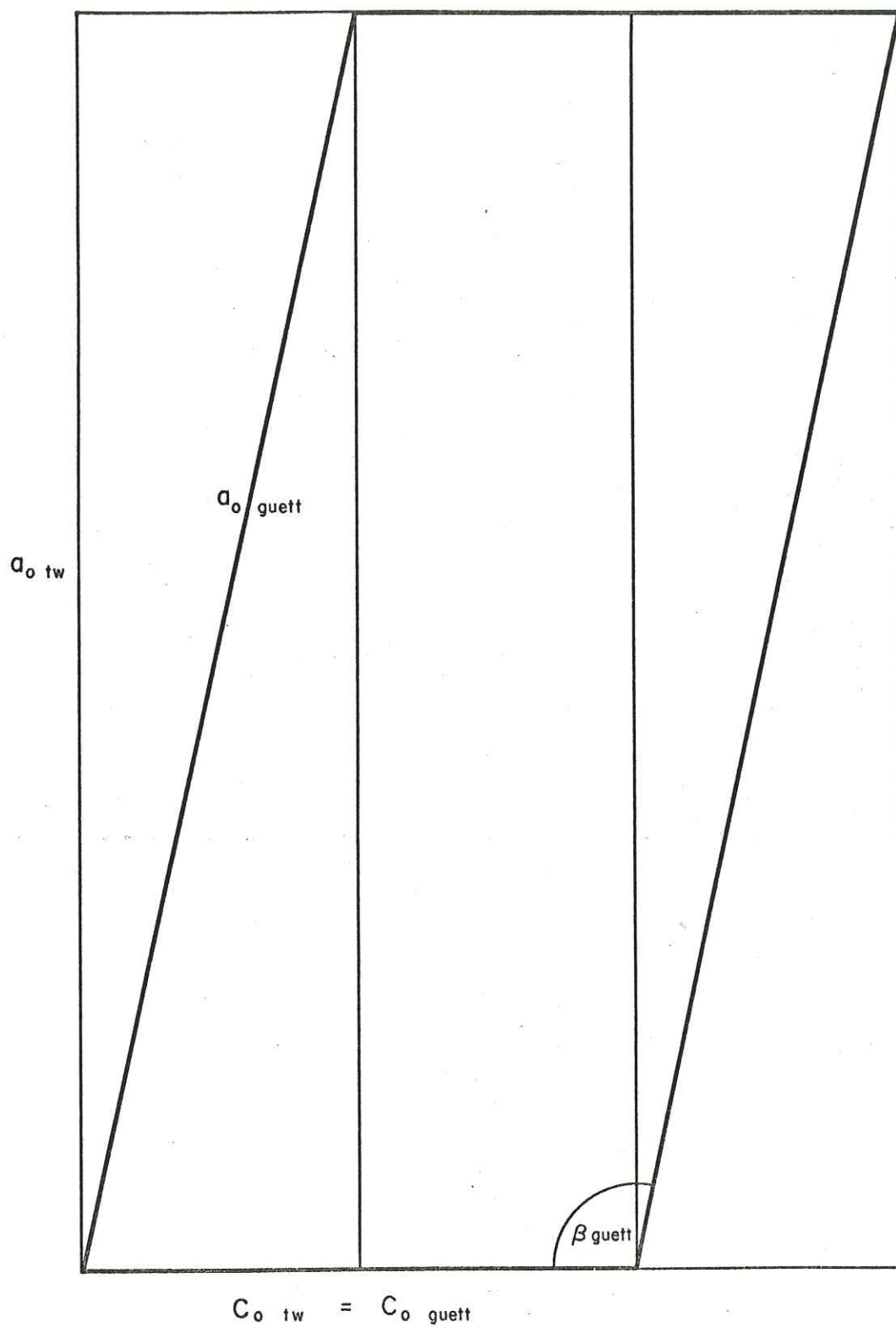
Twinnite :  $\text{PbS} \cdot (\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$

Guettardite :  $9 \text{ PbS} \cdot 8 (\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$

Les diagrammes de poudres sont également très proches (tableau 5). La seule différence notable consiste dans les intensités des raies suivantes :

| twinnite |      | guettardite |     |
|----------|------|-------------|-----|
| 4        | 3,01 | 0,5         | 3,4 |
| 4        | 2,83 | -           | -   |

JAMBOR (1967b) souligne que même les strates des clichés de Weisenberg et de précession de la guettardite et de la twinnite sont quasi-identiques. En examinant la projection du réseau de la twinnite, sur le plan  $(a_0, c_0)$ , on peut facilement démontrer la relation entre le réseau de la guettardite et celui de la twinnite (fig. 7). De même que la sartorite (NOWACKI et al, 1961), il est probable que la twinnite (ou la guettardite) présente deux types de réflexions sur les clichés obtenus à partir d'un monocristal, les unes intenses



**Fig. 7**



TABLEAU 4

## COMPARAISON DES COMPOSITIONS CHIMIQUES ENTRE LA TWINNITE ET LA GUETTARDITE

|        | 1   | 2     | 3    | 4    | 5        |
|--------|-----|-------|------|------|----------|
| Pb     | 41  | 44,5  | 43,5 | 39,5 | 42,6     |
| Sb     | 28  | 22    | 22   | 24,4 | 21,7     |
| As     | 11  | 12    | 12   | 11,6 | 12,0     |
| S      | 23  | 21,5  | 20,5 | 23,0 | 23,1     |
| Totaux | 103 | 100,5 | 98   | 98,5 | 100,1(*) |

\* 0,7 % Tl

1 - Twinnite, Madoc, JAMBOR (1967b)

2 et 3 - Guettardite, Madoc, JAMBOR (1967b)

4 et 5 - Jas Roux

## COMPARAISON DES DIAGRAMMES DE POUDRES DE LA TWINNITE ET DE LA GUETTARDITE

| Twinnite, Madoc<br>Cu/Ni, chambre de<br>114,59 mm<br>JAMBOR (1967b) |                  | Guettardite, Madoc<br>Cu/Ni, chambre de<br>114,59 mm<br>JAMBOR (1967b) |                  | Jas Roux<br>Cu/Ni, chambre de<br>240 mm<br>de circonférence |                  |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|
| I                                                                   | d <sub>mes</sub> | I                                                                      | d <sub>mes</sub> | I                                                           | d <sub>mes</sub> |
| 4                                                                   | 9,8 Å            | 3                                                                      | 9,89 Å           | 5                                                           | 9,82 Å           |
| < 0,5                                                               | 7,3              | < 0,5                                                                  | 7,41             |                                                             |                  |
| < 0,5                                                               | 6,5              | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 6,18             | 1                                                                      | 6,20             |                                                             |                  |
| 0,5                                                                 | 5,89             | 1                                                                      | 5,82             |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 5,56             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| -                                                                   | -                | 1                                                                      | 5,33             |                                                             |                  |
| 0,5                                                                 | 5,20             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 4,90             | 1                                                                      | 4,93             |                                                             |                  |
| -                                                                   | -                | 0,5                                                                    | 4,68             |                                                             |                  |
| < 0,5                                                               | 4,37             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 5                                                                   | 4,18             | 5                                                                      | 4,19             | 7                                                           | 4,17             |
| 2                                                                   | 3,99             | 1                                                                      | 3,97             |                                                             |                  |
| 5                                                                   | 3,91             | 5                                                                      | 3,90             | 6                                                           | 3,883            |
| 0,5                                                                 | 3,74             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 3                                                                   | 3,70             | 3                                                                      | 3,69             | 3                                                           | 3,681            |
| 2                                                                   | 3,59             | 2                                                                      | 3,60             |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 3,56             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 10                                                                  | 3,51             | 10                                                                     | 3,52             | 10                                                          | 3,515            |
| 2                                                                   | 3,41             | 1                                                                      | 3,40             | 2                                                           | 3,401            |
| 0,5                                                                 | 3,29             | 1                                                                      | 3,27             |                                                             |                  |
| 3                                                                   | 3,26             | 2                                                                      | 3,25             | 4                                                           | 3,259            |
| 3                                                                   | 3,09             | 3                                                                      | 3,10             | 4                                                           | 3,097            |
| 4                                                                   | 3,01             | 0,5                                                                    | 3,04             |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 2,98             | 3                                                                      | 2,97             | 5                                                           | 2,990            |
| 1                                                                   | 2,90             | 1                                                                      | 2,912            | 1                                                           | 2,904            |
| < 0,5                                                               | 2,86             | -                                                                      | -                | 1                                                           | 2,871            |
| 4                                                                   | 2,83             | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 7                                                                   | 2,78             | 9                                                                      | 2,795            | 9                                                           | 2,792            |
| 5                                                                   | 2,689            | 5                                                                      | 2,670            | 6                                                           | 2,671            |
| 5                                                                   | 2,645            | 5                                                                      | 2,653            | 6                                                           | 2,645            |
| 0,5                                                                 | 2,567            | 0,5                                                                    | 2,561            |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 2,529            | 1                                                                      | 2,531            |                                                             |                  |
| 0,5                                                                 | 2,468            | 1                                                                      | 2,475            |                                                             |                  |
| -                                                                   | -                | 0,5                                                                    | 2,456            |                                                             |                  |
| -                                                                   | -                | < 0,5                                                                  | 2,405            |                                                             |                  |
| 8                                                                   | 2,344            | 3                                                                      | 2,357            | 8                                                           | 2,340            |
| < 0,5                                                               | 2,309            | 4                                                                      | 2,334            |                                                             |                  |
| < 0,5                                                               | 2,292            | 1                                                                      | 2,318            |                                                             |                  |
| 0,5                                                                 | 2,264            | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 2                                                                   | 2,244            | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 0,5                                                                 | 2,225            | 2                                                                      | 2,238            | 4                                                           | 2,237            |
| 0,5                                                                 | 2,189            | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
| 5                                                                   | 2,154            | 0,5                                                                    | 2,195            |                                                             |                  |
| 1                                                                   | 2,127            | 4                                                                      | 2,136            | 6                                                           | 2,138            |
| 4                                                                   | 2,087            | -                                                                      | -                |                                                             |                  |
|                                                                     |                  | 2                                                                      | 2,063            | 5                                                           | 2,057            |
| etc.                                                                |                  | etc.                                                                   |                  | etc.                                                        |                  |

correspondent à une maille orthorhombique, les autres faibles déterminent une maille monoclinique. Ceci permet d'expliquer les deux orientations différentes prises par JAMBOR (1967b) pour le même minéral. Remarquons que TRECHMANN eut les mêmes difficultés en mesurant au goniomètre des cristaux de sartorite qu'il considéra comme étant monocliniques par l'effet de la même transformation géométrique que celle donnée en fig. 7.

De plus, WALIA et CHANG (1973) ont pu synthétiser une phase identique à la guettardite dont la composition était  $\text{PbS} \cdot (\text{As}_{1,0} \text{Sb}_{1,0})_2 \text{S}_3$ . Le diagramme ternaire montre (voir fig. 16) que le champ d'homogénéité de cette phase est extrêmement étroit ; on pourrait le qualifier de ponctuel. Ceci est une nouvelle preuve de la stœchiométrie du nombre d'atomes de As et Sb dans la structure type twinnite. Signalons enfin que WALIA et CHANG (1973) précisent qu'ils n'ont pas réussi à synthétiser une phase correspondante à la twinnite. Cette impossibilité est aisément explicable par le fait que la twinnite et la guettardite sont fort probablement identiques.



### PHASE 5 $\text{PbS.3(Sb, As)}_2\text{S}_3$

L'étude microscopique de la paragenèse à sulfo-antimoniures de plomb, a mis en évidence l'existence d'une phase minérale associée à de la twinnite et à de la zinckénite qui, par sa formule chimique et par son diagramme de poudre, se révèle être proche de la jamesonite.

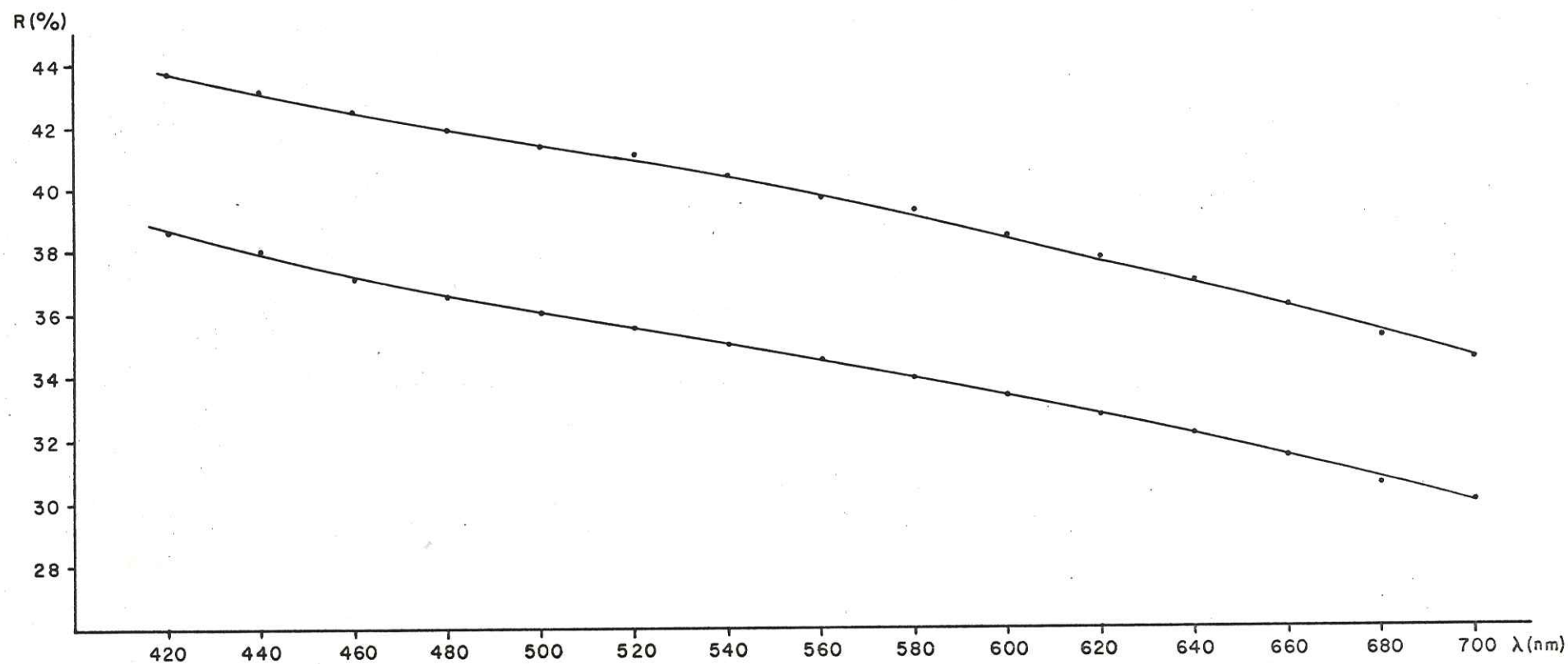
A notre connaissance, l'existence de cette phase n'a jamais été signalée dans la nature. Il s'agit donc d'une nouvelle espèce minérale que nous préférons ne pas nommer pour l'instant en attendant un complément d'étude concernant en particulier la synthèse et la radio-cristallographie sur monocristaux.

#### Propriétés optiques

En sections polies, le minéral se présente en agrégats de cristaux aciculaires, montrant parfois une orientation préférentielle suivant leur allongement. La plupart du temps, cette phase est intimement associée à la zinckénite, en formant des agrégats enchevêtrés dans lesquels on peut observer des cristaux automorphes du minéral étudié à l'intérieur des plages de zinckénite.

La couleur est blanche à l'air, devenant blanc-gris dans l'huile. Le pléochroïsme est net dans les teintes grises. Le pouvoir réflecteur moyen est du même ordre que pour d'autres sulfo-antimoniures de plomb. Nous donnons les résultats des mesures du pouvoir réflecteur dans le tableau 6 en les comparant au pouvoir réflecteur de la jamesonite. On remarquera que le pouvoir réflecteur de ces deux minéraux est quasi identique. Les courbes du pouvoir réflecteur de la phase étudiée sont représentées sur la fig. 8.

Entre nicols croisés, l'anisotropie est relativement forte, nettement supérieure à celle de la zinckénite.



**Fig. 8**

Les teintes de polarisation vont de brun à bleu foncé, ressemblant, bien que moins intenses, aux teintes de la jamesonite.

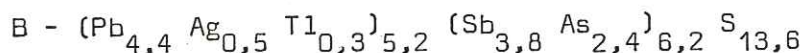
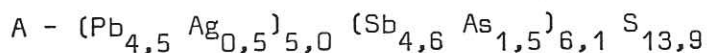
Certains cristaux observés à l'immersion, présentent de fines macles parallèles à l'allongement. Les réflexions internes de couleur rouge pourpre sont très rares ; elles ne sont observées que très sporadiquement dans l'huile.

La microdureté du minéral est de 165 kg/mm<sup>2</sup>. Cette valeur mesurée pour P = 25 g est une moyenne de cinq mesures s'échelonnant entre 157 et 170 kg/mm<sup>2</sup>. Le poli est bon.

#### Etude chimique

L'analyse qualitative à la microsonde électronique a révélé la présence de Pb, Ag, Sb, As et S ainsi que Tl dans l'une des deux plages analysées. Le résultat des analyses quantitatives est donné dans le tableau 7.

Compte tenu des considérations cristallographiques (parenté avec la jamesonite), nous avons calculé la formule du minéral sur la base d'un total de 25 atomes par unité formulaire. Ainsi, nous obtenons les formules cristallographiques suivantes :



Ces formules confirment bien les observations radiocristallographiques concernant les relations entre la phase étudiée et la jamesonite. En effet, la formule de cette phase peut s'écrire en simplifiant : 5 PbS.3(Sb, As)<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ; elle correspond à celle de la jamesonite (4 PbS.FeS. 3 Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) dans laquelle le fer est complètement remplacé par le plomb.

On peut alors se demander si par analogie avec la jamesonite, et à la lumière des analyses effectuées, la formule de cette phase ne devrait pas s'écrire :

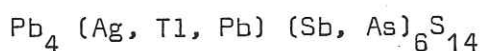


TABLEAU 6

POUVOIRS REFLECTEURS DE 5 PbS.3(Sb, As)<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ET DE LA JAMESONITE

|                | 5 PbS.3(Sb, As) <sub>2</sub> S <sub>3</sub> |                      | Jamesonite           |                      |
|----------------|---------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\lambda$ (nm) | R <sub>max</sub> (%)                        | R <sub>min</sub> (%) | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) |
| 420            | 43,7                                        | 38,6                 | 41,8                 | 36,6                 |
| 440            | 43,2                                        | 38,0                 | 41,9                 | 36,5                 |
| 460            | 42,5                                        | 37,1                 | 41,2                 | 35,6                 |
| 480            | 41,9                                        | 36,6                 | 41,2                 | 35,3                 |
| 500            | 41,4                                        | 36,0                 | 40,7                 | 35,1                 |
| 520            | 41,1                                        | 35,5                 | 40,3                 | 34,6                 |
| 540            | 40,4                                        | 35,0                 | 39,8                 | 34,0                 |
| 560            | 39,7                                        | 34,5                 | 39,1                 | 33,5                 |
| 580            | 39,3                                        | 33,9                 | 38,6                 | 33,1                 |
| 600            | 38,4                                        | 33,3                 | 38,2                 | 32,9                 |
| 620            | 37,8                                        | 32,7                 | 37,7                 | 32,4                 |
| 640            | 37,0                                        | 32,1                 | 37,0                 | 31,8                 |
| 660            | 36,2                                        | 31,4                 | 36,5                 | 31,6                 |
| 680            | 35,2                                        | 30,5                 | 35,6                 | 31,1                 |
| 700            | 34,5                                        | 30,0                 | 35,2                 | 30,8                 |

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



De nombreux travaux ont été publiés sur les phases appartenant au système ternaire Pb - Sb - S. Citons ceux de IITSUKA (1919), ROBINSON (1948), KITAKAZE (1968), DRA FALL et KOUCKY (1969), GARVIN (1973), GRAIG et al (1973).

Parmi ces auteurs, seul KITAKAZE (1968) signale dans sa thèse, non publiée, l'existence du composé de formule  $\text{Pb}_5 \text{Sb}_6 \text{S}_{14}$ , chimiquement identique à notre minéral. Soulignons cependant que l'étude des composés de ce système est très difficile car ils présentent des propriétés optiques voisines. On se trouve le plus souvent devant des mélanges intimes où même les rayons X se révèlent inefficaces. De plus, les conditions de formation de ces phases sont très rigoureuses quant à la température, ce qui explique certaines divergences entre plusieurs auteurs qui utilisèrent des conditions opératoires différentes lors de leurs travaux de synthèse.

En ce qui concerne les composés proches, par leur composition chimique, de notre minéral, CRAIG et al (1973) ont synthétisé la phase  $\text{Pb}_3 \text{Sb}_4 \text{S}_9$  en confirmant sur ce point le résultat d'IITSUKA (1919). Cristallographiquement, cette phase fut étudiée par WANG (1973) ; cependant, son diagramme de poudre est nettement différent de celui de notre minéral.

#### Etude radiocristallographique

Plusieurs essais furent entrepris pour séparer un éclat monocristallin de ce minéral, mais tous se révélèrent infructueux.

Dans tous les cas, les cristaux aciculaires examinés dans la chambre de Weissenberg ont donné des clichés de la zinckénite. Nous fûmes donc obligés de recourir à la méthode du diagramme de poudre en prenant des précautions de microprélèvement sous la loupe binoculaire.

Le diagramme de poudre (tableau 8) présente des ressemblances

TABLEAU 7

ANALYSES CHIMIQUES DE 5 PbS.3(Sb, As)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

|        | A    |        |      | B     |        |      |
|--------|------|--------|------|-------|--------|------|
|        | 1    | 2      | 3    | 1     | 2      | 3    |
| Pb     | 44,0 | 0,2124 | 4,5  | 43,6  | 0,2104 | 4,4  |
| Ag     | 2,4  | 0,0222 | 0,5  | 2,6   | 0,0241 | 0,5  |
| Tl     | n.d. | -      | -    | 3,1   | 0,0152 | 0,3  |
| Sb     | 26,0 | 0,2136 | 4,6  | 22,4  | 0,1840 | 3,8  |
| As     | 5,2  | 0,0694 | 1,5  | 8,5   | 0,1134 | 2,4  |
| S      | 20,8 | 0,6487 | 13,9 | 20,8  | 0,6487 | 13,6 |
| Totaux | 98,4 | 1,1663 | 25   | 101,0 | 1,1958 | 25   |

1 - Résultat d'analyse à la microsonde électronique (témoins : zinckénite, Ag-métal, lorandite)

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total de 25

n.d. = non dosé



frappantes avec le diagramme de la jamesonite. Elles sont particulièrement visibles dans la région des petits angles  $2\theta$ , où la position et même les intensités des raies sont analogues dans les deux cas.

Compte tenu de ces analogies, nous avons indexé le diagramme de poudre de la phase 5  $\text{PbS} \cdot 3 \text{Sb}_2\text{S}_3$ , en nous basant sur la symétrie et les dimensions de la maille de la jamesonite. Le résultat obtenu, comparé à la jamesonite est le suivant :

| phase 5 $\text{PbS} \cdot 3 \text{Sb}_2\text{S}_3$ | jamesonite (A.S.T.M. ; fiche 13-461) |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $a_0$ $17,640 \pm 0,008 \text{ \AA}$               | $15,65 \text{ \AA}$                  |
| $b_0$ $18,464 \pm 0,008$                           | $19,03$                              |
| $c_0$ $3,967 \pm 0,003$                            | $4,03$                               |
| $\beta$ $90^\circ 48'$                             | $91^\circ 48'$                       |
| Z 2                                                | 2                                    |
| V $1292 \text{ \AA}^3$                             | $1199 \text{ \AA}^3$                 |

Pour l'indexation, nous n'avons pas tenu compte d'éventuelles extinctions systématiques du groupe spatial  $P2_1/a$  (celui de la jamesonite), car il n'est pas exclu que le groupe spatial du minéral étudié soit différent.

La densité calculée pour la formule 5  $\text{PbS} \cdot 3 \text{Sb}_2\text{S}_3$  est  $d_x = 5,66$  ; en considérant la formule cristallographique  $\text{Pb}_{4,5} \text{Ag}_{0,5} (\text{Sb}_{4,5} \text{As}_{1,5})_6 \text{S}_{14}$ , on obtient  $d_x = 5,35$ .

Ces valeurs sont comparables à celles des composés chimiquement proches et se situent à proximité de la droite de corrélation pour la densité des sulfo-antimoniures de plomb définie par JAMBOR (1967a).

Parmi les minéraux appartenant au système ternaire Pb - Sb - S ou au système quaternaire Pb - Sb - As - S, ceux qui sont chimiquement proches de la phase étudiée sont : dadsonite, hétéromorphite, veenite et tintinaïte. En comparant leurs diagrammes de poudre, (tableau 9), on s'aperçoit rapidement qu'aucun d'entre eux ne peut s'identifier au minéral 5  $\text{PbS} \cdot 3 \text{Sb}_2\text{S}_3$ .

T A B L E A U 8

DIAGRAMME DE POUDRE DE 5 PbS.3(Sb, As)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

Cu/Ni , chambre de 240 mm de circonférence, intensités relatives de 1 à 10

| I   | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|-----|------------------|-------------------|-----|
| 1   | 4,42 Å           | 4,41 Å            | 400 |
| 5   | 4,09             | 4,09              | 240 |
| 5   | 3,877            | 3,877             | 011 |
| 3 ~ | 3,598            | 3,615             | 150 |
|     |                  | 3,586             | 430 |
| 10  | 3,406            | 3,406             | 250 |
| 3   | 3,326            | 3,333             | 031 |
| 5   | 3,215            | 3,217             | 311 |
| 3 ~ | 3,105            | 3,128             | 350 |
| 3 ~ | 3,049            | 3,060             | 530 |
| 8   | 2,960            | 2,960             | 141 |
| 3   | 2,901            | 2,905             | 260 |
|     |                  | 2,904             | 610 |
| 7   | 2,821            | 2,832             | 450 |
|     |                  | 2,827             | 421 |
| 7   | 2,730            | 2,727             | 360 |
| 4   | 2,647            | 2,653             | 630 |
| 1   | 2,543            | 2,551             | 550 |
| 3   | 2,453            | 2,447             | 351 |
| 3   | 2,369            | 2,377             | 601 |
| 5   | 2,288            | 2,289             | 180 |
| 2   | 2,221            | 2,218             | 631 |
| 3   | 2,160            | 2,155             | 551 |
| 8   | 2,089            | 2,091             | 641 |
| 1 ~ | 1,981            | 1,983             | 002 |
|     |                  | 1,981             | 181 |
| 1 ~ | 1,943            | 1,943             | 281 |
| 1   | 1,910            | 1,905             | 811 |
| 6   | 1,866            | 1,867             | 930 |
|     |                  | 1,866             | 661 |
|     |                  | 1,865             | 312 |
| 2   | 1,814            | 1,815             | 680 |
|     |                  | 1,815             | 142 |
|     |                  | 1,814             | 191 |
|     |                  | 1,811             | 191 |
| 4   | 1,783            | 1,782             | 291 |
|     |                  | 1,780             | 242 |
| 3   | 1,723            | 1,727             | 432 |
| 3   | 1,703            | 1,702             | 780 |

TABLEAU 9

COMPARAISON DES RAIES LES PLUS INTENSES DES DIAGRAMMES  
DE POUDRES DES COMPOSES PROCHES DE  $5 \text{ PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$

| Dadsonite                                      | Hétéromorphite                                | Veenite                                                 | Tintinaïte                                    | Phase                                         |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 11 $\text{PbS} \cdot 6 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ | 7 $\text{PbS} \cdot 4 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ | 2 $\text{PbS} \cdot (\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ | 5 $\text{PbS} \cdot 4 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ | 5 $\text{PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ |
| JAMBOR (1969a)                                 | JAMBOR (1969b)                                | JAMBOR (1967b)                                          | HARRIS et al (1968)                           |                                               |
| 4 4,10                                         | 6 3,85                                        | 3 4,15                                                  | 8 3,51                                        | 5 4,09                                        |
| 7 3,78                                         | 4 3,82                                        | 10 3,81                                                 | 10 3,40                                       | 5 3,877                                       |
| 6 3,62                                         | 7 3,75                                        | 8 3,42                                                  | 4 3,27                                        | 10 3,406                                      |
| 10 3,38                                        | 8 3,40                                        | 8 3,26                                                  | 5 2,87                                        | 5 3,215                                       |
| 7 2,840                                        | 10 3,30                                       | 9 3,03                                                  | 4 2,83                                        | 8 2,960                                       |
| 6 2,794                                        | 8 3,25                                        | 5 2,93                                                  | 7 2,71                                        | 7 2,821                                       |
| 4 2,218                                        | 7 3,097                                       | 5 2,83                                                  | 6 2,022                                       | 7 2,730                                       |
| 4 2,065                                        | 7 2,970                                       | 7 2,76                                                  |                                               | 5 2,288                                       |
| 4 1,886                                        | 7 2,884                                       | 5 2,74                                                  |                                               | 8 2,089                                       |
|                                                | 5 2,710                                       | 5 2,386                                                 |                                               | 6 1,866                                       |
|                                                | 6 2,135                                       | 4 2,107                                                 |                                               |                                               |



## ZINCKENITE

La zinckénite est incontestablement le sulfo-antimoniure de plomb le plus fréquent de la minéralisation mise en évidence dans le compartiment n° 2 du Trias. Macroscopiquement, il est impossible de la distinguer des autres espèces associées, sauf toutefois lorsqu'elle se présente en cristaux automorphes aciculaires, épars dans la gangue à prépondérance quartzeuse.

L'étude en sections polies a démontré que la zinckénite est constamment associée à la stibine, à la phase 5  $\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  et parfois à l'andorite. Elle se présente en agrégats de cristaux aciculaires finement enchevêtrés et partiellement remplacés par la stibine.

### Propriétés optiques

Le pouvoir réflecteur et la couleur en section polie, comparables à ceux des autres sulfo-antimoniures de plomb, ne permettent pas de distinguer, en lumière naturelle, la zinckénite des autres minéraux qui lui sont associés, tels que la twinnite, la phase 5  $\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  ou la stibine. La couleur est blanche à blanc gris, le pléochroïsme relativement faible dans les tons grisâtres.

Dans le tableau 10, nous donnons des mesures de pouvoir réflecteur obtenues sur la section d'un cristal de zinckénite, parallèle approximativement à (001) et montrant une biréflectance maximale.

Sur la fig. 9, les courbes du pouvoir réflecteur de la zinckénite de Jas Roux sont comparées à celles obtenues sur la zinckénite de Malé Zelezné (Tchécoslovaquie), qui est pratiquement exempte d'arsenic (cf. ci-dessous).

Cette comparaison est destinée à mettre en évidence une influence éventuelle du changement de la composition chimique de la zinckénite

TABLEAU 10

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA ZINCKENITE

| $\lambda$ (nm) | Jas Roux       |                | Malé Zelezné   |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
| 420            | 43,4           | 37,9           | 44,4           | 39,2           |
| 440            | 42,7           | 38,1           | 44,6           | 39,4           |
| 460            | 42,3           | 37,9           | 44,5           | 39,2           |
| 480            | 41,6           | 37,4           | 44,2           | 39,0           |
| 500            | 41,2           | 37,2           | 43,8           | 38,8           |
| 520            | 40,8           | 36,9           | 43,2           | 38,4           |
| 540            | 40,1           | 36,5           | 42,5           | 37,9           |
| 560            | 39,6           | 36,2           | 41,8           | 37,4           |
| 580            | 38,9           | 35,6           | 41,0           | 36,6           |
| 600            | 38,3           | 35,1           | 40,4           | 36,0           |
| 620            | 37,5           | 34,6           | 39,8           | 35,4           |
| 640            | 36,8           | 33,9           | 39,0           | 34,6           |
| 660            | 36,0           | 33,2           | 38,2           | 34,0           |
| 680            | 35,1           | 32,5           | 37,3           | 33,2           |
| 700            | 34,3           | 31,7           | 36,2           | 32,4           |

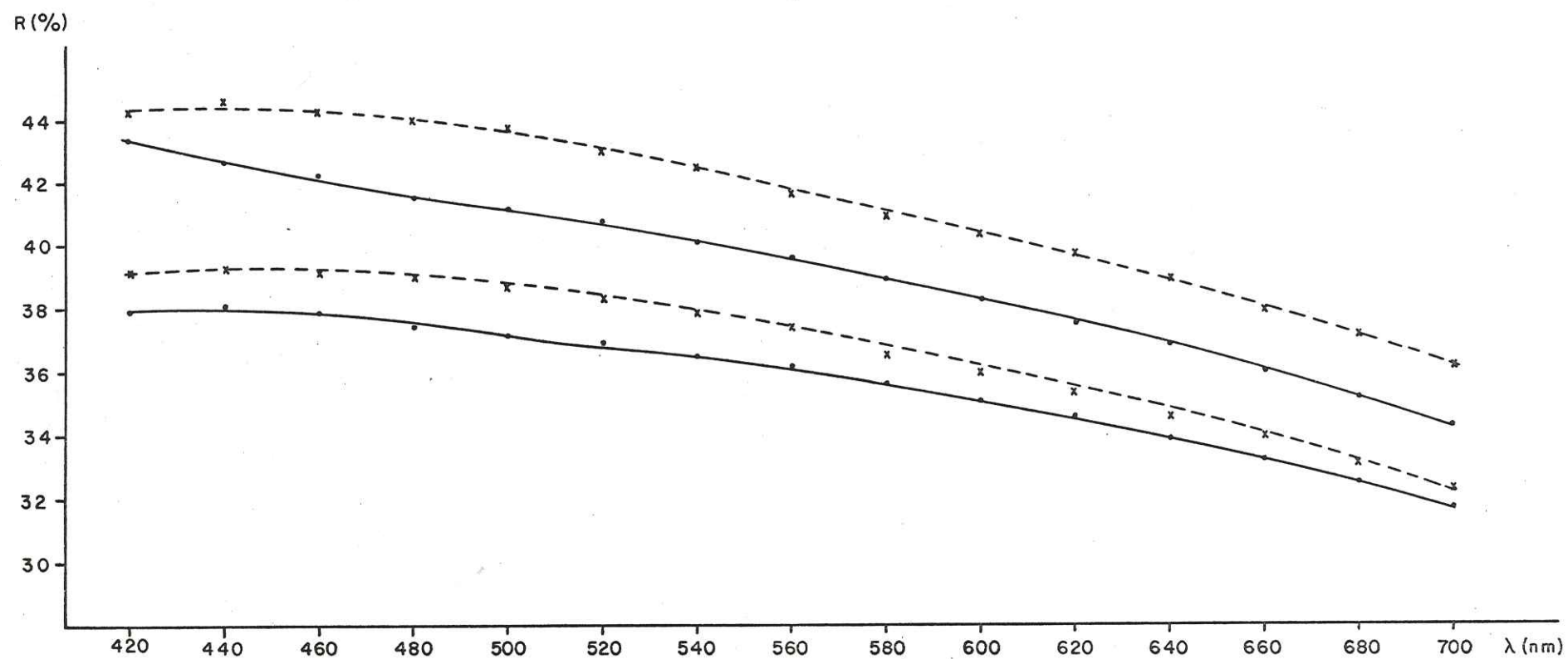


Fig. 9

— Zinckénite Jas Roux  
- - - Zinckénite Male Zelezne



sur ses propriétés optiques. On remarque immédiatement que si les valeurs absolues du pouvoir réflecteur maximal et minimal sont plus élevées pour la zinckénite de Malé Zelezné, l'intensité de la biréflexance demeure approximativement la même dans les deux cas examinés. Il est donc probable que les différences de pouvoir réflecteur sont dues à des orientations différentes des deux plages mesurées ; une recherche statistique serait nécessaire pour résoudre ce problème.

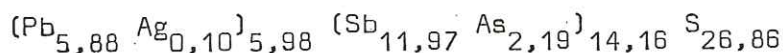
Entre nicols croisés, l'anisotropie est assez faible par rapport aux autres sulfo-antimoniures de plomb. On observe des teintes de polarisation peu variées, allant de gris brunâtre à gris bleuâtre entre les nicols légèrement décroisés. Le minéral présente de nombreuses réflexions internes rouge pourpre. Nous devons signaler que la fréquence des réflexions internes est plus élevée dans la zinckénite de Jas Roux que dans des zinckénites de référence, pauvres en arsenic. De plus, la zinckénite de Jas Roux est abondamment maclée, ce qui est une caractéristique tout à fait inhabituelle de ce minéral. Les macles sont polysynthétiques avec des lamelles étroites, parfois peu nettes.

Sur les sections hexagonales ( $\perp$  à (0001)), on observe des macles "en parquet" (fig. II-4).

La microdureté fut mesurée pour  $P = 25$  g. Cinq mesures effectuées varient de 135 à 146 kg/mm<sup>2</sup> ; la valeur moyenne est de 141 kg/mm<sup>2</sup>.

#### Etude chimique

L'analyse qualitative réalisée à la microsonde électronique a mis en évidence les éléments suivants : Pb, Ag, Sb, As et S. Une analyse quantitative a été effectuée ; nous en donnons le résultat dans le tableau 11. En admettant que Ag remplace Pb et As remplace Sb, nous avons calculé la formule cristallographique sur la base de 47 atomes par unité formulaire. On obtient ainsi :

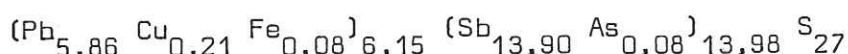


La teneur en arsenic dans la zinckénite de Jas Roux est relativement élevée ; par sa composition chimique, elle se situe approximativement à mi-chemin entre les deux termes extrêmes de la solution solide à structure de zinckénite définie dans le système ternaire  $\text{PbS} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{As}_2\text{S}_3$ .

D'après WALIA et CHANG (1973), la zinckénite existe entre les compositions correspondant aux formules  $6 \text{PbS} \cdot 7 \text{Sb}_2\text{S}_3$  et  $6 \text{PbS} \cdot 7(\text{Sb}_{1,40} \text{As}_{0,60})_2 \text{S}_3$ .

La possibilité de fixation de As, dans le réseau de zinckénite est également signalée par JAMBOR (1968).

Il semble cependant que l'enrichissement en arsenic de la zinckénite est caractéristique des paragenèses sursaturées en As, comme par exemple Madoc en Ontario. Jas Roux fait également partie de cette catégorie de gisements. En effet, dans les paragenèses où on trouve la zinckénite associée à la stibine prépondérante, la zinckénite renferme très peu d'arsenic bien que As participe souvent à la minéralisation sous forme de mispickel. Citons à titre d'exemple les gisements des Basses Tatra en Tchécoslovaquie : la zinckénite y est relativement fréquente ; HAK (1966) donne la formule :



pour la zinckénite du gisement de Malé Zelezné.

#### Etude radiocristallographique

Le diagramme de poudre indexé de la zinckénite de Jas Roux a permis d'obtenir les paramètres suivants de la maille hexagonale :

$$a_0 = 44,11 \pm 0,03 \text{ \AA}$$

$$c_0 = 8,625 \pm 0,002$$

$$V = 14,533 \text{ \AA}^3, Z = 12 ; d_x = 5,19 \text{ (calculé pour la formule théorique } \text{Pb}_6\text{Sb}_{14}\text{S}_{27}\text{)}.$$

TABLEAU 11

ANALYSE CHIMIQUE DE LA ZINCKENITE

|        | A    |        |       | B      |
|--------|------|--------|-------|--------|
|        | 1    | 2      | 3     | 4      |
| Pb     | 32,7 | 0,1578 | 5,88  | 32,60  |
| Ag     | 0,3  | 0,0028 | 0,10  |        |
| Sb     | 39,1 | 0,3211 | 11,97 | 44,70  |
| As     | 4,4  | 0,0587 | 2,19  |        |
| S      | 23,1 | 0,7204 | 26,86 | 22,70  |
| Totaux | 99,6 | 1,2608 | 47    | 100,00 |

A - Zinckénite de Jas Roux ; analyse à la microsonde électronique  
(témoins : PbS, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, TlAsS<sub>2</sub>, Ag métal)

1 - résultat d'analyse

2 - rapports atomiques

3 - nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total 47

B - 4 - Composition théorique pour Pb<sub>6</sub>Sb<sub>14</sub>S<sub>27</sub>



La présence de l'arsenic dans le réseau conduit à une diminution des paramètres de la zinckénite, en particulier de  $c_o$ , comme le montre la comparaison ci-dessous.

|                                                                              | $a_o$ (Å) | $c_o$ (Å) | Auteur                |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| 6 PbS.7 Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>                                       | 44,4      | 8,65      | JAMBOR (1968)         |
| 6 PbS.7 Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>                                       | 44,361    | 8,64      | WALIA et CHANG (1973) |
| 6 PbS.7 (Sb <sub>1,54</sub> As <sub>0,46</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | 44,131    | 8,636     | detto                 |
| 6 PbS.7 (Sb <sub>1,50</sub> As <sub>0,50</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | 44,1      | 8,61      | JAMBOR (1968)         |
| 6 PbS.7 (Sb <sub>1,40</sub> As <sub>0,60</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | 44,064    | 8,626     | WALIA et CHANG (1973) |
| Zinckénite Jas Roux                                                          | 44,11     | 8,625     | Ce travail            |

Cette diminution, quoique bien perceptible, est difficile à exploiter pour la corrélation entre la teneur en arsenic et la grandeur des paramètres, étant donné une faible précision des paramètres, particulièrement de  $a_o$ .

## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA ZINCKENITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence, intensités relatives de 1 à 10

| I  | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl     |
|----|------------------|-------------------|---------|
| 5  | 3,934 Å          | 3,928 Å           | 5.5.1   |
|    |                  | 3,928             | 4.0.2   |
| 2  | 3,699            | 3,700             | 4.2.2   |
| 4  | 3,561            | 3,554             | 4.3.2   |
| 10 | 3,430            | 3,430             | 10.2.0  |
| 5  | 3,346            | 3,344             | 6.2.2   |
|    |                  | 3,342             | 10.1.1  |
| 1  | 3,133            | 3,140             | 8.6.0   |
|    |                  | 3,134             | 8.5.1   |
| 3  | 3,062            | 3,059             | 10.4.0  |
| 4  | 2,990            | 2,992             | 11.3.0  |
|    |                  | 2,987             | 12.0.1  |
| 1  | 2,912            | 2,917             | 7.4.2   |
|    |                  | 2,912             | 12.2.0  |
| 7  | 2,795            | 2,804             | 3.0.3   |
|    |                  | 2,790             | 7.5.2   |
| 7  | 2,772            | 2,779             | 12.3.0  |
|    |                  | 2,775             | 3.1.3   |
|    |                  | 2,775             | 10.1.2  |
| 1  | 2,679            | 2,684             | 10.2.2  |
|    |                  | 2,684             | 13.1.1  |
|    |                  | 2,677             | 3.3.3   |
| 1  | 2,549            | 2,549             | 4.4.3   |
|    |                  | 2,547             | 15.0.0  |
|    |                  | 2,543             | 11.2.2  |
| 3  | 2,410            | 2,413             | 12.2.2  |
|    |                  | 2,409             | 5.5.3   |
|    |                  | 2,406             | 12.6.0  |
| 2  | 2,313            | 2,318             | 12.6.1  |
|    |                  | 2,312             | 11.8.0  |
|    |                  | 2,310             | 8.3.3   |
| 3  | 2,253            | 2,256             | 12.4.2  |
|    |                  | 2,252             | 14.4.1  |
|    |                  | 2,252             | 10.1.3  |
| 1  | 2,194            | 2,196             | 13.6.1  |
|    |                  | 2,193             | 7.6.3   |
|    |                  | 2,193             | 15.0.2  |
|    |                  | 2,191             | 12.8.0  |
| 4  | 2,156            | 2,158             | 16.3.0  |
|    |                  | 2,156             | 0.0.4   |
| 4  | 2,124            | 2,127             | 10.8.2  |
|    |                  | 2,126             | 3.0.4   |
|    |                  | 2,124             | 7.7.3   |
|    |                  | 2,124             | 12.8.1  |
|    |                  | 2,122             | 18.0.0  |
| 1  | 2,084            | 2,085             | 14.6.1  |
|    |                  | 2,084             | 16.4.0  |
|    |                  | 2,081             | 13.8.0  |
| 5  | 2,050            | 2,052             | 14.4.2  |
|    |                  | 2,052             | 17.2.1  |
|    |                  | 2,049             | 9.6.3   |
| 6  | 1,978            | 1,980             | 14.8.0  |
|    |                  | 1,979             | 10.6.3  |
|    |                  | 1,978             | 17.4.0  |
| 3  | 1,873            | 1,874             | 13.8.2  |
|    |                  | 1,872             | 12.11.1 |
|    |                  | 1,871             | 9.2.4   |
|    |                  | 1,871             | 16.7.0  |
| 6  | 1,822            | 1,823             | 18.5.0  |
|    |                  | 1,822             | 18.5.2  |
|    |                  | 1,820             | 20.1.1  |
|    |                  | 1,820             | 7.6.4   |
| 2  | 1,768            | 1,770             | 17.0.3  |
|    |                  | 1,768             | 16.6.2  |
|    |                  | 1,766             | 14.5.3  |
|    |                  | 1,766             | 18.6.0  |
| 3  | 1,713            | 1,715             | 20.4.0  |
|    |                  | 1,714             | 13.1.4  |
|    |                  | 1,713             | 2.1.5   |
| 3  | 1,653            | 1,655             | 10.7.4  |
|    |                  | 1,654             | 6.1.5   |

## ANDORITE

Ce minéral typiquement bolivien (paragenèse des gisements à Sn, Pb et Ag : Oruro ou Potosi), est exceptionnel en France. Jusqu'alors, il n'avait été signalé que dans le gisement des Cougnasses (Htes Alpes) où il fait partie d'une association minérale riche en sulfo-antimoniures de plomb (boulangérite, semseyite, plagionite et zinckénite) (MOELO, 1972).

Jas Roux est donc le deuxième gisement français d'andorite. Elle y est assez rare, intimement associée à la zinckénite et à la phase  $5 \text{ PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ . Les agrégats macroscopiques de taille millimétrique sont très rares ; la plupart des plages d'andorite sont microscopiques.

D'après nos observations en sections polies, l'andorite a un caractère interstitiel, remplissant des cavités entre les cristaux de zinckénite ou de  $5 \text{ PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ . Elle est sûrement le minéral le plus tardif de la minéralisation à sulfo-antimoniures de plomb, à l'exception toutefois de la stibine.

Sa répartition au sein de la minéralisation est très irrégulière, avec une tendance à former des accumulations locales. Pour illustrer la complexité des agrégats polyminéraux constitués par  $5 \text{ PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ , la zinckénite et l'andorite, nous reproduisons en fig. I, deux zones d'une section polie, étudiée à la microsonde électronique. Les différentes phases minérales sont bien visibles sur les images  $e^+$ . Nous les complétons par les scannings de Ag permettant de visualiser les plages d'andorite.

En examinant ces images représentant un carré de 150 microns, on se rend très bien compte de l'enchevêtrement très intime des minéraux entre eux.

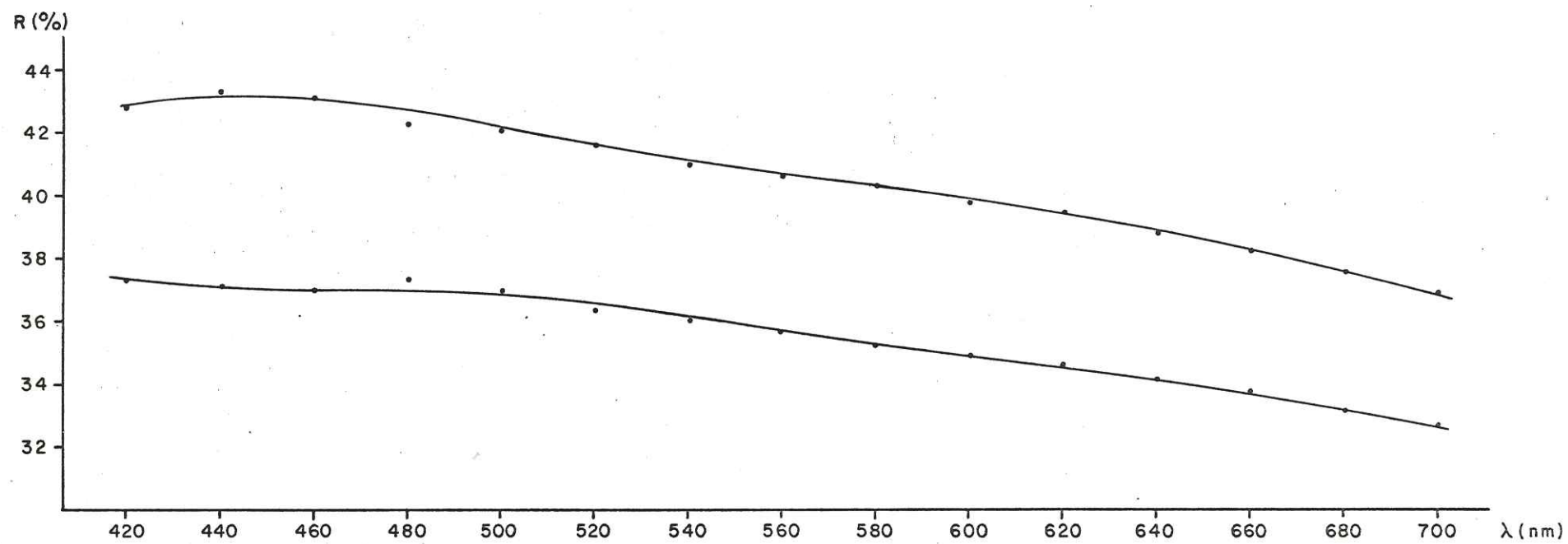


### Propriétés optiques

En lumière polarisée non analysée, à l'air, l'andorite ressemble par sa couleur en section polie et même par son pouvoir réflecteur à la zinckénite et à la jamesonite. A l'immersion, son pouvoir réflecteur devient légèrement inférieur à celui des minéraux cités. Le pléochroïsme est faible, comparable à celui de la zinckénite. Des mesures de pouvoir réflecteur effectuées sur une plage, présentant un pléochroïsme maximal, sont résumées dans le tableau 13 et exprimées sous forme d'une courbe sur la fig. 10. Les valeurs obtenues coïncident bien avec celles d'un échantillon témoin provenant d'Oruro (Bolivie).

L'anisotropie est relativement forte. La plupart des plages présentent des teintes de polarisation caractéristiques, allant de gris-vert à brun-rougeâtre. Les macles, assez fréquentes, se terminent en biseau, et se rapprochent, par leur forme, des triangles équilatéraux. Notons enfin que les sections à biréflectance maximale ont des effets d'anisotropie peu colorés et peuvent être par conséquent facilement confondues avec  $5 \text{ PbS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$  ou la zinckénite. Cette dernière se reconnaît cependant par ses réflexions internes rouges, absentes dans l'andorite.

La microdureté ( $P = 25 \text{ g}$ ) est de  $162 \text{ kg/mm}^2$  (valeur moyenne de 5 mesures variant de 153 à  $174 \text{ kg/mm}^2$ ). Cette valeur se situe dans la fourchette donnée par YOUNG et MILLMAN (1964). A la différence de la zinckénite, les empreintes sont bien régulières.



**Fig.10**

TABLEAU 13

POUVOIRS REFLECTEURS DE L'ANDORITE

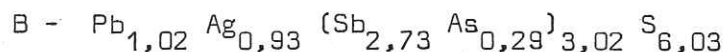
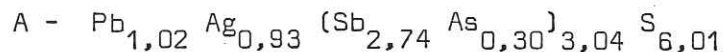
| $\lambda$ (nm) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
|----------------|----------------|----------------|
| 420            | 42,8           | 37,3           |
| 440            | 43,4           | 37,1           |
| 460            | 43,1           | 37,0           |
| 480            | 42,3           | 37,3           |
| 500            | 42,1           | 37,0           |
| 520            | 41,6           | 36,3           |
| 540            | 41,0           | 36,0           |
| 560            | 40,7           | 35,7           |
| 580            | 40,4           | 35,2           |
| 600            | 39,8           | 34,9           |
| 620            | 39,5           | 34,6           |
| 640            | 38,8           | 34,2           |
| 660            | 38,2           | 33,8           |
| 680            | 37,5           | 33,1           |
| 700            | 36,9           | 32,7           |

Etude chimique

Deux analyses à la microsonde électronique ont été réalisées dont les résultats sont consignés dans le tableau 14. Ces analyses, parfaitement concordantes, confirment la formule chimique de l'andorite en montrant la possibilité d'un remplacement partiel de Sb par As.

Les formules cristallographiques de l'andorite de Jas Roux, calculées sur la base d'un total de 11 atomes sont les suivantes :





Nous n'avons réussi à trouver aucune donnée dans la littérature sur la solution solide Sb-As dans l'andorite.

#### Etude radiocristallographique

Par suite du caractère microscopique du minéral et de son association étroite avec d'autres espèces, aucune étude sur un monocristal n'a pu être effectuée.

Il nous a donc été impossible de préciser de quel type d'andorite il s'agit, ou si le matériel de Jas Roux représente une intercroissance de deux types d'andorite (andorite VI et andorite IV, DONNAY et DONNAY, 1954).

Le diagramme de poudre (tableau 15) a été indexé avec les paramètres suivants :

$$a_0 = 12,778 \pm 0,006 \text{ \AA}$$

$$b_0 = 19,244 \pm 0,008$$

$$c_0 = 4,248 \pm 0,003$$

$$V = 1044 \pm 2 \text{ \AA}^3; Z = 4$$

La densité calculée pour la formule cristallochimique ci-dessus est  $d_x = 5,425$ .

Les paramètres obtenus sont également plus petits que ceux donnés par NUFFIELD (1945) pour l'andorite de Bolivie ( $a_0 = 12,98$ ,  $b_0 = 19,15$ ,  $c_0 = 4,26 \text{ \AA}$ ).

Ceci peut s'expliquer par le remplacement partiel de Sb par As dans l'andorite étudiée.

TABLEAU 14

ANALYSES CHIMIQUES DE L'ANDORITE

|        | A    |        |      | B    |        |      |
|--------|------|--------|------|------|--------|------|
|        | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    |
| Pb     | 24,6 | 0,1187 | 1,02 | 24,5 | 0,1182 | 1,02 |
| Ag     | 11,6 | 0,1075 | 0,93 | 11,5 | 0,1066 | 0,93 |
| Sb     | 38,6 | 0,3170 | 2,74 | 38,4 | 0,3154 | 2,73 |
| As     | 2,6  | 0,0347 | 0,30 | 2,5  | 0,0334 | 0,29 |
| S      | 22,3 | 0,6954 | 6,01 | 22,3 | 0,6954 | 6,03 |
|        |      |        | 3,04 |      |        | 3,02 |
| Totaux | 99,7 | 1,2733 | 11   | 99,2 | 1,2690 | 11   |

1 - Analyse à la microsonde électronique (témoins : zinckénite, Ag métal, lorandite)

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total de 11

TABLEAU 15

DIAGRAMME DE POUDRE DE L'ANDORITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence  
intensités relatives de 1 à 10

| I  | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|----|------------------|-------------------|-----|
| 1  | 6,2 Å            | 6,06 Å            | 210 |
| 1  | 5,36             | 5,32              | 220 |
| 1  | 3,828            | 3,843             | 240 |
| 5  | 3,716            | 3,719             | 121 |
| 7  | 3,406            | 3,414             | 131 |
| 9  | 3,295            | 3,297             | 250 |
| 2  | 3,207            | 3,207             | 060 |
| 4  | 2,983            | 2,971             | 311 |
| 10 | 2,880            | 2,870             | 321 |
| 5  | 2,733            | 2,723             | 331 |
| 3  | 2,262            | 2,262             | 460 |
| 1  | 2,190            | 2,193             | 361 |
| 4  | 2,124            | 2,128             | 600 |
|    |                  | 2,127             | 451 |
|    |                  | 2,124             | 002 |
| 2  | 2,089            | 2,094             | 081 |
|    |                  | 2,083             | 112 |
|    |                  | 2,083             | 470 |
| 4  | 2,056            | 2,048             | 122 |
| 4  | 2,006            | 2,005             | 212 |
| 3  | 1,963            | 1,973             | 222 |
| 1  | 1,912            | 1,921             | 480 |
| 4  | 1,876            | 1,878             | 381 |
| 1  | 1,812            | 1,808             | 561 |
| 5  | 1,782            | 1,786             | 252 |
|    |                  | 1,776             | 490 |



## STIBINE

C'est l'un des minéraux les plus abondants à Jas Roux. Dans le compartiment n° 1 du Trias, la stibine forme une minéralisation disséminée et localisée dans un niveau lithologique peu puissant de roches silicifiées (trente cm environ). Elle s'y trouve associée uniquement à un peu de pyrite et de blende, formant des plages situées aux joints des grains de la roche encaissante.

L'examen en section polie révèle un caractère polycristallin de ces plages, constituées de grains xénomorphes de stibine présentant souvent des macles de pression.

Dans le compartiment n° 2 du Trias, on trouve la stibine associée soit à des sulfo-antimoniures de plomb, soit à la paragenèse thallifère avec du réalgar.

Cette dernière, développée en grande partie dans des diaclases, permet à la stibine de former des cristaux subautomorphes remplissant toute leur largeur.

Parfois, mais assez rarement, la stibine tapisse, en cristaux prismatiques d'un centimètre environ, des cavités dans le quartz hydrothermal. Microscopiquement, de rares structures myrmékitiques de stibine avec le réalgar ont été observées.

La stibine associée à des sulfo-antimoniures de thallium et au réalgar, a été examinée à la microsonde électronique. L'analyse, à notre grande surprise, a mis en évidence une teneur non négligeable en arsenic.

Le dosage effectué avec  $\text{TlAsS}_2$  comme témoin a donné 2,6 % As. Par contre, la présence de Tl n'a pas été détectée. A notre connaissance, des teneurs en arsenic atteignant quelques pour cents dans la stibine n'ont jamais été signalées. WALIA et CHANG (1973) ne mentionnent aucune donnée concernant le système binaire  $\text{As}_2\text{S}_3$ - $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

## CHABOURNEITE

Ce nouveau minéral, nommé chabournéïte d'après le glacier de Chabournéou au pied duquel se trouve l'indice, est la phase thallifère la plus fréquente à Jas Roux.

La chabournéïte n'est pas macroscopiquement distinguable de la pierrotite et de la clinopierrotite ; elle se présente en agrégats ou en placages noir mats, atteignant au maximum 4 cm<sup>2</sup>.

La cassure est conchoïdale, l'éclat semi-métallique à gras, parfois avec des réflexions internes rouges, observables sous la loupe binoculaire. De même que pour la pierrotite et la clinopierrotite, la couleur de la poussière est rouge-brun. Une seule fois, nous avons observé un cristal imparfait de 2 mm environ, non mesurable au goniomètre.

La chabournéïte est toujours associée au réalgar et très souvent à la stibine, moins fréquemment à la smithite, la routhiérîte, la laffittite et la wakabayashilite.

### Propriétés optiques

En sections polies, la chabournéïte se présente en grandes plages monocristallines de couleur blanche avec une légère teinte crème si on la compare à la stibine. Le pouvoir réflecteur est du même ordre que celui de la pierrotite ou de la clinopierrotite.

$R_{\text{max}}$  de la chabournéïte se situe entre le pouvoir réflecteur maximal et le pouvoir réflecteur minimal de la stibine, comme le montre le tableau 16 où nous reportons les mesures effectuées sur quatre plages d'orientations différentes.

Ces valeurs sont exprimées sous forme de courbes sur la figure 11. La faible symétrie du minéral se manifeste par l'absence du pouvoir réflecteur commun.

TABLEAU 16

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA CHABOURNEITE

| Plage          | 1              |                | 2              |                | 3              |                | 4              |                | Stibine        |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\lambda$ (nm) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
| 420            | 40,1           | 32,2           | 38,1           | 31,3           | 40,5           | 37,9           | 41,6           | 34,4           | 44,9           | 31,3           |
| 440            | 39,5           | 32,0           | 37,4           | 31,3           | 40,2           | 37,1           | 40,6           | 33,7           | 44,5           | 31,3           |
| 460            | 39,0           | 31,5           | 36,6           | 30,7           | 39,4           | 36,2           | 40,2           | 33,6           | 43,7           | 30,9           |
| 480            | 38,6           | 31,2           | 36,5           | 30,8           | 38,8           | 35,6           | 39,7           | 33,3           | 43,7           | 31,2           |
| 500            | 38,0           | 31,3           | 35,3           | 30,3           | 38,2           | 35,1           | 39,3           | 32,8           | 42,8           | 31,3           |
| 520            | 37,3           | 31,0           | 34,8           | 30,2           | 37,3           | 34,1           | 38,5           | 32,7           | 42,4           | 31,5           |
| 540            | 36,6           | 30,8           | 33,9           | 29,8           | 36,4           | 33,5           | 38,0           | 32,5           | 41,7           | 31,2           |
| 560            | 36,0           | 30,7           | 33,3           | 29,6           | 35,8           | 32,9           | 37,4           | 32,3           | 40,9           | 30,7           |
| 580            | 35,1           | 30,2           | 32,7           | 29,2           | 35,1           | 32,1           | 36,7           | 31,7           | 40,4           | 30,2           |
| 600            | 34,3           | 29,7           | 31,9           | 28,5           | 34,1           | 31,5           | 36,1           | 31,1           | 39,8           | 29,7           |
| 620            | 33,6           | 29,0           | 31,2           | 27,8           | 33,4           | 30,6           | 35,3           | 30,4           | 39,7           | 29,4           |
| 640            | 32,9           | 28,3           | 30,3           | 27,1           | 32,5           | 30,1           | 34,5           | 29,7           | 39,9           | 29,7           |
| 660            | 32,0           | 27,4           | 29,8           | 26,4           | 31,8           | 29,4           | 33,6           | 29,0           | 40,0           | 30,0           |
| 680            | 31,3           | 26,9           | 29,1           | 25,7           | 31,1           | 28,9           | 32,9           | 28,3           | 39,3           | 29,7           |
| 700            | 31,2           | 26,7           | 28,8           | 25,3           | 30,8           | 28,4           | 32,4           | 27,9           | 38,0           | 28,8           |



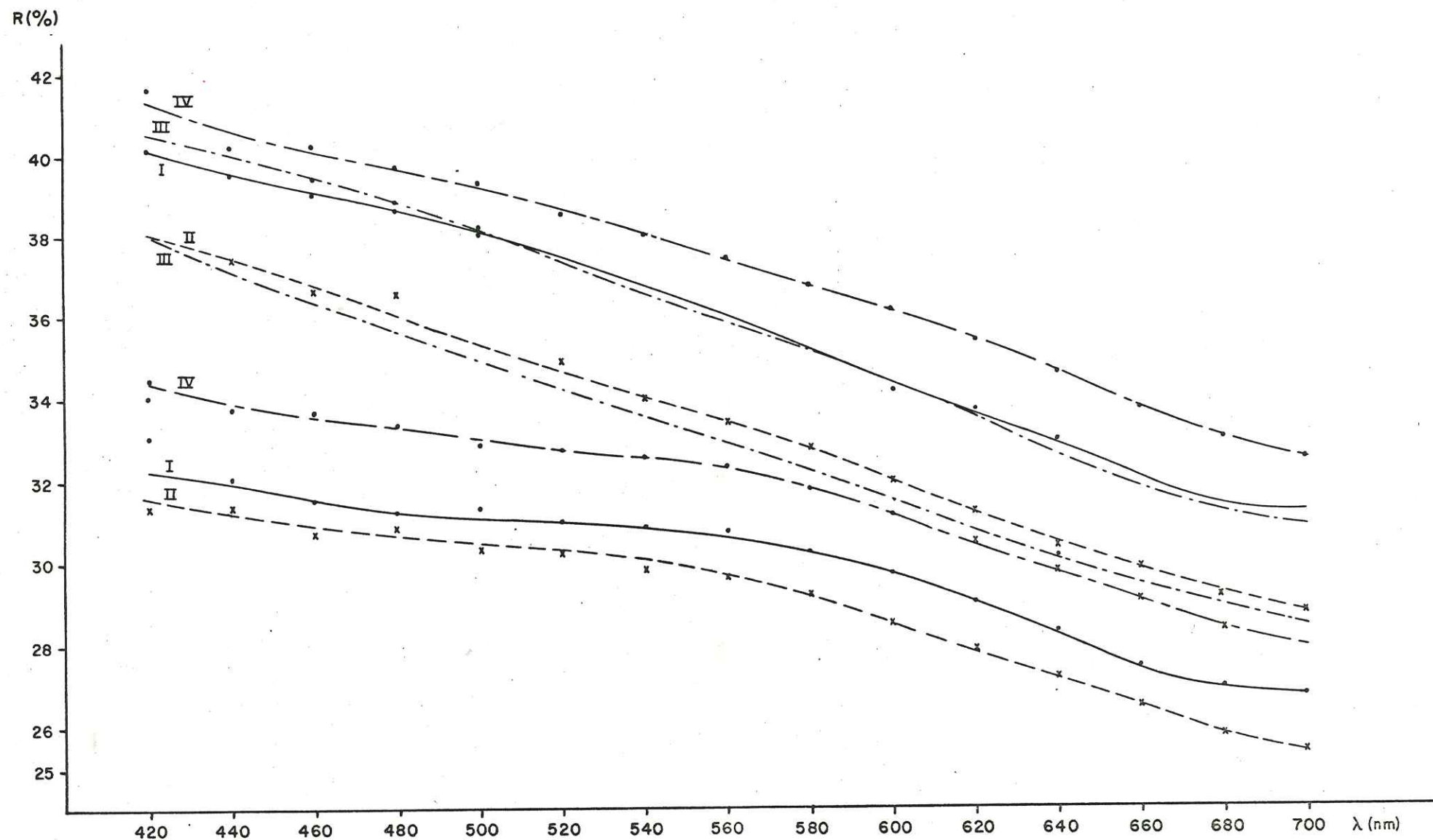


Fig. 11

La biréflectance est perceptible à l'air, allant du blanc pur au blanc grisâtre.

La chabournéïte montre une anisotropie moyenne avec des couleurs de polarisation brunâtres et bleuâtres entre les nicols légèrement décroisés. Très rarement, on aperçoit des macles polysynthétiques dans une seule direction. Les réflexions internes rouge pourpre sont abondantes, surtout dans l'huile, plus fréquentes que dans la pierrotite ou la clinopierrotite. Optiquement, il est très difficile de distinguer la chabournéïte de ces dernières. L'intensité d'anisotropie de la chabournéïte semble être moins élevée, mais ceci peut être partiellement dû au caractère monocristallin de ces plages.

Nous n'avons pas observé de clivage en sections polies, cependant les empreintes de la pyramide Vickers, très irrégulières sont accompagnées de deux directions de cassures d'orientation constante. Ceci laisse supposer l'existence d'un clivage très imparfait.

La microdureté Vickers ( $P = 25$  g, moyenne de dix mesures) est de  $95 \text{ kg/mm}^2$ . Les mesures varient considérablement de 78 à  $124 \text{ kg/mm}^2$ .

La densité de la chabournéïte mesurée sur des grains triés est  $5,14 \pm 0,03$ .

#### Etude chimique

L'analyse qualitative à la microsonde électronique a mis en évidence la présence de Pb, Tl, Sb, As, S, à l'exclusion de tout autre élément.

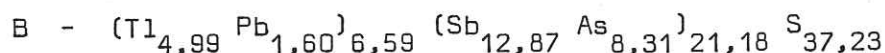
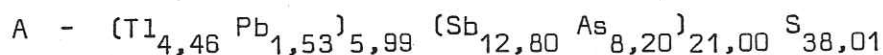
Deux analyses quantitatives ont été réalisées sur deux plages différentes dont le résultat est donné dans le tableau 17.

La formule du minéral a été calculée compte tenu du résultat de l'étude radiocristallographique (cf. ci-dessous), en se basant sur

le volume de la maille et la densité mesurée. Une bonne concordance entre la densité mesurée et calculée a été obtenue pour la formule idéale  $(\text{Tl}, \text{Pb})_6 (\text{Sb}, \text{As})_{21} \text{S}_{38}$ .

Cette formule conduit également au nombre d'unités formulaires par maille égal à deux.

En calculant les formules cristallographiques sur la base de 65 atomes, on obtient :



Par la présence de plomb dans sa composition chimique, la chabournéite se distingue de la pierrotite et de la clinopierrotite. Nous considérons que le plomb remplace le thallium dans la structure du minéral ; naturellement, la formule chimique de la chabournéite nécessite une confirmation par l'étude de cette structure.

#### Etude radiocristallographique

Les éclats monocristallins du nouveau minéral ont été examinés par les méthodes du cristal tournant et de Weissenberg. La chabournéite possède une maille triclinique  $P \ 1$  ou  $P \ \bar{1}$ , avec les paramètres suivants :

$$\begin{aligned} a_0 &= 16,33 \pm 0,05 & \alpha &= 93^\circ 51' \pm 20' \\ b_0 &= 8,530 \pm 0,006 & \beta &= 95^\circ 24' \pm 20' \\ c_0 &= 21,24 \pm 0,05 & \gamma &= 104^\circ 29' \pm 20' \\ V &= 2952 \text{ \AA}^3 ; Z = 2 \end{aligned}$$

La densité calculée pour la formule  $(\text{Tl}_{4,5} \text{Pb}_{1,5})_6 (\text{Sb}_{13} \text{As}_8)_{21} \text{S}_{38}$  est  $d_x = 5,177$ .



TABLEAU 17

ANALYSES CHIMIQUES DE LA CHABOURNEITE

|        | I    |        |       | II    |        |       |
|--------|------|--------|-------|-------|--------|-------|
|        | 1    | 2      | 3     | 1     | 2      | 3     |
| Pb     | 6,8  | 0,0328 | 1,53  | 7,0   | 0,0338 | 1,60  |
| Tl     | 19,6 | 0,0959 | 4,46  | 21,6  | 0,1057 | 4,99  |
| Sb     | 33,5 | 0,2751 | 12,80 | 33,2  | 0,2727 | 12,87 |
| As     | 13,2 | 0,1762 | 8,20  | 13,2  | 0,1762 | 8,31  |
| S      | 26,2 | 0,8171 | 38,01 | 25,3  | 0,7890 | 37,23 |
| Totaux | 99,3 | 1,3971 | 65    | 100,3 | 1,3774 | 65    |

1 - Résultat d'analyse à la microsonde électronique (témoins : PbS, TlAsS<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes calculé sur la base de 65 atomes par unité formulaire

On remarque que, par le volume de la maille, la chabournéïte est très proche de la pierrotite et de la clinopierrotite. Les ressemblances sont également nettes en ce qui concerne les valeurs des paramètres.

Le diagramme de poudre de la chabournéïte (tableau 18) est nettement différent de ceux de la pierrotite et de la clinopierrotite. Son indexation a été effectuée avec les paramètres indiqués ci-avant.

## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA CHABOURNEITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| I   | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub>                         | hkl                             |
|-----|------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| 2   | 10,5 Å           | 10,5 Å                                    | 002                             |
| 3   | 7,02             | 7,036<br>6,967                            | 003<br>012                      |
| 3   | 6,08             | 6,074                                     | 112                             |
| 1 ~ | 5,65             | 5,698<br>5,598                            | 013<br>212                      |
| 1   | 5,05             | 5,076<br>5,012                            | 310<br>311                      |
| 1   | 4,69             | 4,688<br>4,682                            | 014<br>312                      |
| 5   | 4,196            | 4,195<br>4,195                            | 105<br>214                      |
| 6   | 4,067            | 4,055                                     | 311                             |
| 7   | 3,929            | 3,928<br>3,928                            | 400<br>015                      |
| 2   | 3,620            | 3,620                                     | 412                             |
| 10  | 3,573            | 3,574                                     | 123                             |
| 4   | 3,490            | 3,496<br>3,484                            | 215<br>305                      |
| 7   | 3,358            | 3,363<br>3,363<br>3,363<br>3,354<br>3,354 | 016<br>323<br>323<br>420<br>206 |
| 4   | 3,345            | 3,348                                     | 108                             |
| 3   | 3,093            | 3,099<br>3,096<br>3,086                   | 324<br>324<br>306               |
| 3   | 3,031            | 3,037<br>3,037<br>3,033<br>3,032          | 225<br>224<br>513<br>125        |
| 3   | 2,997            | 3,002<br>3,000<br>2,998                   | 423<br>503<br>412               |
| 3   | 2,926            | 2,927<br>2,926<br>2,926                   | 017<br>207<br>230               |
| 7   | 2,853            | 2,857<br>2,848<br>2,847<br>2,847          | 031<br>513<br>030<br>504        |
| 8   | 2,808            | 2,812<br>2,810                            | 331<br>117                      |
| 4   | 2,754            | 2,758<br>2,754<br>2,753<br>2,750          | 233<br>322<br>503<br>332        |
| 6   | 2,709            | 2,710<br>2,708<br>2,707                   | 207<br>224<br>610               |
| 1   | 2,685            | 2,685<br>2,680                            | 032<br>612                      |
| 3   | 2,419            | 2,421<br>2,418<br>2,416                   | 133<br>127<br>208               |
| 2   | 2,394            | 2,391                                     | 505                             |
| 7   | 2,345            |                                           |                                 |
| 1   | 2,271            |                                           |                                 |
| 1   | 2,194            |                                           |                                 |
| 9   | 2,135            |                                           |                                 |
| 1   | 2,027            |                                           |                                 |
| 1   | 1,984            |                                           |                                 |
| 1   | 1,964            |                                           |                                 |
| 2   | 1,884            |                                           |                                 |
| 2   | 1,867            |                                           |                                 |
| 2   | 1,834            |                                           |                                 |
| 5   | 1,810            |                                           |                                 |
| 2   | 1,783            |                                           |                                 |
| 2   | 1,740            |                                           |                                 |
| 2 ~ | 1,661            |                                           |                                 |
| 1   | 1,619            |                                           |                                 |
| 2   | 1,597            |                                           |                                 |
| 3 ~ | 1,569            |                                           |                                 |

~ : raie large



## CLINOPIERROTITE

Cette nouvelle espèce minérale a été découverte simultanément dans deux gisements : à Jas Roux et à Allchar (Macédoine, Yougoslavie).

A Jas Roux, la clinopierrotite semble extrêmement rare ; ceci peut toutefois être dû au fait que même microscopiquement, on ne peut la distinguer de la pierrotite. Ainsi, la seule possibilité de reconnaissance est l'examen, toujours ponctuel, aux rayons X.

La répartition de la clinopierrotite semble se limiter au compartiment n° 1 du Trias, où elle est associée au réalgar.

A la différence du gisement d'Allchar, où la clinopierrotite se présente en cristaux prismatiques bien développés, dans les cavités du réalgar auquel elle est nettement postérieure, elle forme à Jas Roux, des agrégats polycristallins antérieurs au réalgar.

La taille de ces agrégats ou de rares cristaux subautomorphes ne dépasse pas quelques millimètres.

### Propriétés optiques

Ainsi que nous venons de le signaler, la clinopierrotite, par ses propriétés optiques, ressemble beaucoup à la pierrotite et, en partie également, à la chabournéite. La couleur en section polie est blanche avec une légère teinte crème.

Le pléochroïsme, très faible dans l'huile, est imperceptible à l'air, observable seulement sur les sections proches de (010). Les sections perpendiculaires à ces directions sont quasi isotropes ; ceci permet d'ailleurs de distinguer, le cas échéant, la clinopierrotite des deux autres espèces mentionnées ci-dessus, qui demeurent toujours anisotropes.

Le pouvoir réflecteur est du même ordre que celui de la pierrotite ou de la chabournéïte. Dans le tableau 19, où nous donnons des mesures de pouvoir réflecteur, obtenues sur une plage approximativement perpendiculaire à (010), on remarquera une très faible biréfractance. L'étude des sections d'orientations cristallographiques définies, (100), (010) et (001), effectuée sur la clinopierrotite d'Allchar, permet de conclure que la section étudiée contient  $R_m$  et  $R'_g$ .

L'anisotropie est nette, mais dans des teintes peu caractéristiques brun à gris-bleuâtre. Les réflexions internes rouge pourpre sont rares à l'air, devenant plus fréquentes dans l'huile. Nous n'avons observé ni macles ni clivage.

La microdureté mesurée sur la plage quasi isotrope est de 134 kg/mm<sup>2</sup> (moyenne de 5 mesures variant de 128 à 142 kg/mm<sup>2</sup> ; P = 25 g).

Cette valeur est nettement supérieure à celle obtenue sur les plages d'orientation quelconque de la clinopierrotite d'Allchar : 76 kg/mm<sup>2</sup>.

#### Etude chimique

La clinopierrotite est un sulfo-antimoniure de thallium avec un remplacement partiel de Sb par As. Une analyse chimique a été réalisée à la microsonde électronique sur la clinopierrotite de Jas Roux.

Nous en donnons le résultat dans le tableau 20, en le comparant à l'analyse de la clinopierrotite d'Allchar. La composition chimique correspond parfaitement à la formule théorique  $TlSb_5S_8$  comme le montrent les formules cristallographiques suivantes :

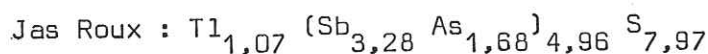
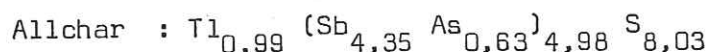


TABLEAU 19

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA CLINOPIERROTITE DE JAS ROUX

| $\lambda$ (nm) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) | $\lambda$ (nm) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 420            | 39,9           | 38,1           | 580            | 34,0           | 32,8           |
| 440            | 38,7           | 37,5           | 600            | 33,3           | 32,1           |
| 460            | 38,0           | 36,6           | 620            | 32,7           | 31,7           |
| 480            | 37,3           | 35,9           | 640            | 31,9           | 30,8           |
| 500            | 36,5           | 35,3           | 660            | 31,1           | 30,0           |
| 520            | 35,8           | 34,5           | 680            | 30,6           | 29,1           |
| 540            | 35,3           | 33,9           | 700            | 30,1           | 29,1           |
| 560            | 34,6           | 33,4           |                |                |                |



On constate que la clinopierrotite de Jas Roux se distingue par un remplacement beaucoup plus important de Sb par As. Nous avons ainsi la preuve que la présence d'arsenic n'est pas indispensable dans la structure de ce minéral. Ceci a été également confirmé par la synthèse de la clinopierrotite uniquement antimonifère, réalisée aux laboratoires du B.R.G.M. par Madame S. DOUCET.

Le caractère plus arsenié de la clinopierrotite de Jas Roux peut s'expliquer par sa position dans la succession minérale du gisement. En effet, elle se situe entre la plus forte expression d'antimoine dans la minéralisation d'une part (cristallisation de stibine) et les termes purement arseniés d'autre part. Par contre, à Allchar, la clinopierrotite fait partie d'une phase minéralisatrice antimonifère, postérieure au dépôt principal d'arsenic (réalgar).

#### Etude radiocristallographique

L'étude effectuée sur les cristaux de la clinopierrotite d'Allchar montre que ce minéral est monoclinique avec les paramètres suivants :

$$a_0 = 8,02 \pm 0,02 \text{ \AA} \quad \beta = 91^\circ 58' \pm 5'$$

$$b_0 = 19,35 \pm 0,05$$

$$c_0 = 9,03 \pm 0,02$$

$$a_0 : b_0 : c_0 = 0,414_6 : 1 : 0,467_0 ; V = 1401 \pm 9 \text{ \AA}^3 ; Z = 4$$

La maille est du type P, car aucune extinction systématique des taches hkl n'a été observée. Par contre, nous avons constaté que les réflexions h0l obéissent à la condition d'existence  $h + 1 = 2n$ . Pour les réflexions 0k0, la condition d'existence est  $k = 2n$ .

Ces extinctions systématiques sont compatibles avec le groupe spatial  $C_{2h}^5 - P 2_1/n$ .

La densité calculée pour la formule idéale  $TlSb_5S_8$  est égale à  $d_x = 5,04$ , valeur en bon accord avec la densité mesurée pour la clinopierrotite d'Allchar (5,07).

TABLEAU 20

ANALYSES CHIMIQUES DE LA CLINOPIERROTITE

|        | A     |       |      | B    |       |      |
|--------|-------|-------|------|------|-------|------|
|        | 1     | 2     | 3    | 1    | 2     | 3    |
| Tl     | 19,6  | 0,096 | 0,99 | 21,8 | 0,107 | 1,07 |
| Sb     | 51,1  | 0,420 | 4,35 | 39,7 | 0,326 | 3,28 |
| As     | 4,6   | 0,061 | 0,63 | 12,5 | 0,167 | 1,68 |
| S      | 24,8  | 0,775 | 8,03 | 25,4 | 0,794 | 7,97 |
| Totaux | 100,1 | 1,352 | 14   | 99,4 | 1,394 | 14   |

A - Clinopierrotite d'Allchar (Yougoslavie), moyenne de trois analyses à la microsonde électronique (JOHAN et al, 1973)

B - Clinopierrotite de Jas Roux, analyse à la microsonde électronique (témoins :  $\text{TlAsS}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )

1 - Résultat d'analyse

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes calculé sur la base d'un total de 14 atomes par unité formulaire

La maille de la clinopierrotite montre des relations géométriques avec celle de la pierrotite (JOHAN et al, 1973).

Nous résumons les relations entre ces deux minéraux dans le tableau 21, où nous avons reporté également les raies les plus intenses de leurs diagrammes de poudres, permettant de distinguer sans difficulté ces deux sulfo-antimoniures de thallium.

Le diagramme de poudre de la clinopierrotite de Jas Roux est donné dans le tableau 22, où nous le comparons à la clinopierrotite d'Allchar.

L'absence des raies faibles dans le diagramme de la clinopierrotite de Jas Roux est due au fait que celui-ci a été obtenu à partir d'un microprélèvement.



TABLEAU 21

COMPARAISON DE LA PIERROTITE ET DE LA CLINOPIERROTITE

|               | Pierrotite          | Clinopierrotite |
|---------------|---------------------|-----------------|
| symétrie      | orthorhombique      | monoclinique    |
| $a_o$         | 8,02 Å              | 8,02 Å          |
| $b_o$         | 38,8                | 19,35           |
| $c_o$         | 8,77                | 9,03            |
| $\beta$       | --                  | 91°58'          |
| Z             | 4                   | 4               |
|               | $Tl_2Sb_{10}S_{17}$ | $TlSb_5S_8$     |
| $d_x$         | 4,97                | 5,04            |
| $d_{mes}$     | 4,97                | 5,07            |
| raie les      | 3,626 (8)           | 4,15 (9)        |
| plus intenses | 3,593 (10)          | 3,696 (9)       |
| du diagramme  | 3,492 (9)           | 3,599 (7)       |
| de poudre     | 2,845 (8)           | 3,493 (10)      |
|               | 2,697 (9)           | 2,913 (9)       |
|               | 2,348 (7)           | 2,832 (10)      |
|               |                     | 2,356 (9)       |

TABLEAU 22

## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA CLINOPIERROTITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| Clinopierrotite Jas Roux |                  | Clinopierrotite Allchar |                  |                   |        |
|--------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------|--------|
| I                        | d <sub>mes</sub> | I                       | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl    |
|                          |                  | 3                       | 5,6 Å            | 5,6 Å             | 111    |
|                          |                  | 4                       | 5,02             | 5,03              | 130    |
|                          |                  | 1                       | 4,82             | 4,83              | 040    |
| 3                        | 4,380 Å          | 5                       | 4,40             | 4,40              | 012    |
|                          |                  | 1,26                    | 4,26             | 4,26              | 041    |
| 7                        | 4,14             | 9                       | 4,15             | 4,14              | 140    |
| 4                        | 3,934            | 6                       | 3,927            | 3,927             | 210    |
|                          |                  | 2                       | 3,795            | 3,791             | 141    |
| 10                       | 3,692            | 9                       | 3,696            | 3,698             | 032    |
| 5                        | 3,593            | 7                       | 3,599            | 3,599             | 122    |
| 10                       | 3,500            | 10                      | 3,493            | 3,486             | 150    |
| 4                        | 3,411            | 6                       | 3,406            | 3,406             | 230    |
|                          |                  | 3                       | 3,321            | 3,322             | 132    |
| 6                        | 3,073            | 6 ~                     | 3,091            | 3,088             | 240    |
|                          |                  | 2                       | 3,034            | 3,037             | 061    |
|                          |                  |                         |                  | 3,026             | 142    |
| 7                        | 2,908            | 9                       | 2,913            | 2,915             | 212    |
|                          |                  |                         |                  | 2,909             | 222    |
| 10                       | 2,827            | 10                      | 2,832            | 2,830             | 161    |
|                          |                  | 2                       | 2,762            | 2,758             | 113    |
|                          |                  |                         |                  | 2,758             | 232    |
| 3                        | 2,667            | 5                       | 2,679            | 2,681             | 232    |
|                          |                  |                         |                  | 2,679             | 251    |
|                          |                  |                         |                  | 2,677             | 123    |
|                          |                  | 1                       | 2,606            | 2,606             | 133    |
|                          |                  | 1                       | 2,577            | 2,580             | 242    |
|                          |                  |                         |                  | 2,577             | 320    |
|                          |                  | 3 ~                     | 2,517            | 2,519             | 171    |
|                          |                  |                         |                  | 2,518             | 311    |
|                          |                  |                         |                  | 2,517             | 242    |
|                          |                  |                         |                  | 2,513             | 260    |
| 9                        | 2,357            | 9                       | 2,356            | 2,358             | 072    |
|                          |                  | 2                       | 2,312            | 2,316             | 180    |
| 5                        | 2,515            | 6                       | 2,252            | 2,251             | 312    |
|                          |                  |                         |                  | 2,251             | 172    |
|                          |                  |                         |                  | 2,249             | 181    |
|                          |                  |                         |                  | 2,249             | 341    |
|                          |                  | 2                       | 1,991            | 1,994             | 410    |
|                          |                  |                         |                  | 1,990             | 323    |
|                          |                  | 2                       | 1,935            | 1,935             | 0.10.0 |
|                          |                  |                         |                  | 1,934             | 411    |
| 4                        | 1,9019           | 5                       | 1,897            | 1,895             | 282    |
|                          |                  |                         |                  | 1,895             | 290    |
| 4                        | 1,855            | 5                       | 1,857            | 1,857             | 234    |
|                          |                  |                         |                  | 1,854             | 362    |
|                          |                  | 2                       | 1,806            |                   |        |
|                          |                  | 2                       | 1,871            |                   |        |
| 4                        | 1,742            | 4 ~                     | 1,746            |                   |        |

~ raie diffuse

Le diagramme de poudre a été indexé en utilisant les valeurs suivantes des paramètres :  
 $a_0 = 8,023$  ;  $b_0 = 19,35$  ;  $c_0 = 9,033$  Å ;  $\beta = 91^\circ 58'$

## PIERROTITE

La pierrotite a été la première espèce nouvelle de l'indice de Jas Roux, étudiée en détail et dédiée à Roland PIERROT (GUILLEMIN et al, 1970). La rareté de son chimisme a été la raison principale qui nous a amené à étudier la minéralisation de Jas Roux dans son ensemble.

Bien que toutes les données concernant cette espèce aient déjà été publiées, nous devons, pour des raisons d'exhaustivité, les reprendre succinctement dans ce chapitre.

Dans les échantillons types, la pierrotite est associée à la stibine, au réalgar et à la phase amorphe  $Tl(As, Sb)_{10}S_{16}$ . Nos études ont démontré que cette association est plutôt exceptionnelle car la pierrotite y est le seul sulfo-antimoniure de thallium.

En effet, elle se trouve généralement accompagnée de chabournéite et de clinopierrotite. On observe par exemple, en sections polies, que les agrégats de pierrotite bordent des plages souvent monocristallines ou des agrégats de chabournéite (fig. IV-4).

Macroscopiquement, la pierrotite se présente en grains millimétriques sans clivage, de couleur noire et d'éclat métallique, que l'on ne peut distinguer des deux autres sulfo-antimoniures de thallium présents à Jas Roux. Très rarement, quelques cristaux non mesurables ont été trouvés.

### Propriétés optiques

Le minéral présente un pouvoir réflecteur moyen, proche de la chabournéite et de la clinopierrotite. Les analogies dans les propriétés optiques des trois espèces sont si frappantes qu'il nous paraît superflu de redire ce qui a été indiqué pour les deux dernières.



Parmi les différences notables, signalons cependant une anisotropie plus forte de la pierrotite par rapport à la chabournéïte, laquelle a par ailleurs tendance à former des plages monocristallines.

Les teintes de polarisation restent toujours peu caractéristiques, mais un peu plus colorées que pour la chabournéïte (de gris-brunâtre à gris-verdâtre), et les réflexions internes rouge pourpre moins abondantes.

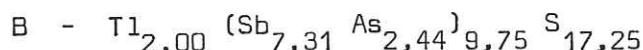
Pour les valeurs de pouvoir réflecteur, nous nous référons au travail de GUILLEMIN et al (1970).

#### Caractères chimiques

Les résultats de deux analyses effectuées à la microsonde électronique, l'une sur une plage polycristalline, l'autre sur un fragment de cristal, sont donnés dans le tableau 23. La teneur en soufre est légèrement plus élevée que dans la clinopierrotite.

Cette différence semble réelle, non imputable aux erreurs analytiques de la microsonde, car les teneurs données dans le tableau 23 ont été confirmées par une analyse chimique classique (GUILLEMIN et al, 1970).

Compte tenu de ces différences, la formule chimique de la pierrotite a été calculée sur la base de 29 atomes par unité formulaire, ce qui conduit aux formules cristallographiques suivantes :



donnant une formule idéale :  $\text{Tl}_2 (\text{Sb}, \text{As})_{10} \text{S}_{17}$ .

#### Caractères cristallographiques

Les diagrammes de cristal tournant et les clichés de Weissenberg ont mis en évidence une symétrie orthorhombique. Les paramètres

TABLEAU 23

ANALYSES CHIMIQUES DE LA PIERROTITE

|        | A     |        |       | B    |        |       |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|-------|
|        | 1     | 2      | 3     | 1    | 2      | 3     |
| Tl     | 19,9  | 0,0974 | 2,01  | 19,9 | 0,0974 | 2,00  |
| Sb     | 44,9  | 0,3688 | 7,60  | 43,3 | 0,3556 | 7,31  |
| As     | 8,8   | 0,1175 | 2,42  | 8,9  | 0,1188 | 2,44  |
| S      | 26,4  | 0,8233 | 16,97 | 26,9 | 0,8389 | 17,25 |
| Totaux | 100,0 | 1,4070 | 29    | 99,0 | 1,4107 | 29    |

A et B - Analyses à la microsonde électronique (témoins :  $\text{TlAsS}_2$  et  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )

- 1 - Résultat d'analyse
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total de 29 atomes

obtenus à partir des diagrammes de poudre sont les suivants (GUILLEMIN et al., 1970) :

$$a_0 = 8,77 \pm 0,03 \text{ \AA}$$

$$b_0 = 38,8 \pm 0,1 \text{ \AA}$$

$$c_0 = 8,03 \pm 0,03 \text{ \AA}$$

$$a : b : c = 0,226 : 1 : 0,207 ; V = 2732 \text{ \AA}^3 \pm 15 ; Z = 4$$

Groupes spatiaux possibles :  $Pbn2_1$  ou  $Pbnm$ .

Par son diagramme de poudre (tableau 24), la pierrotite se distingue nettement de la clinopierrotite et de la chabournéite.



TABLEAU 24

## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA PIERROTITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence  
intensités relatives de 1 à 10

| GUILLEMIN et al. (1970) |                  |                   |            | Ce travail |                  |
|-------------------------|------------------|-------------------|------------|------------|------------------|
| I                       | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl        | I          | d <sub>mes</sub> |
| 1                       | 6,5 Å            | 6,51 Å            | 140        |            |                  |
| 3                       | 5,9              | 5,86<br>5,81      | 111<br>150 | 1          | 5,7 Å            |
| 4                       | 4,7              | 4,71              | 151        | 3          | 4,66             |
| 3 ~                     | 4,3              | 4,36              | 210        | 5          | 3,97             |
| 5                       | 4,0              | 4,01              | 002        | 2          | 3,66             |
| 2                       | 3,8              | 3,80              | 250        | 9          | 3,57             |
| 3                       | 3,7              | 3,68              | 231        | 9          | 3,464            |
| 8                       | 3,63             | 3,629             | 260        | 1          | 3,387            |
| 10                      | 3,59             | 3,590             | 122        |            |                  |
| 9                       | 3,49             | 3,495             | 0.10.1     | 4          | 3,066            |
| 1                       | 3,41             | 3,412             | 082        | 7          | 3,016            |
| 1                       | 3,31             | 3,308             | 261        | 9          | 2,828            |
| 1                       | 3,17             | 3,180             | 162        | 3          | 2,757            |
| 4                       | 3,09             | 3,095             | 082        |            |                  |
| 5                       | 3,03             | 3,034             | 1.12.0     | 10         | 2,685            |
|                         |                  | 3,032             | 1.11.1     | 3          | 2,605            |
| 8                       | 2,84             | 2,839             | 1.12.1     | 4          | 2,520            |
| 4                       | 2,78             | 2,791             | 0.10.2     | 3          | 2,462            |
|                         |                  | 2,787             | 192        | 9          | 2,340            |
|                         |                  | 2,774             | 0.14.0     | 2          | 2,301            |
| 9                       | 2,70             | 2,693             | 262        | 2          | 2,247            |
| 4                       | 2,61             | 2,613             | 272        | 6          | 2,208            |
| 6                       | 2,52             | 2,529             | 282        | 2          | 2,055            |
| 6                       | 2,47             | 2,469             | 2.13.0     | 2          | 2,017            |
| 8                       | 2,347            | 2,347             | 322        | 1          | 1,989            |
| 4                       | 2,314            | 2,312             | 1.13.2     | 1          | 1,963            |
| 2                       | 2,259            | 2,261             | 352        |            |                  |
| 6                       | 2,225            | 2,224             | 243        | 4          | 1,933            |
| 2                       | 2,068            |                   |            | 4          | 1,910            |
| 2                       | 2,025            |                   |            | 4          | 1,862            |
| 1                       | 1,972            |                   |            | 2          | 1,818            |
|                         |                  |                   |            | 3          | 1,752            |
| 1                       | 1,943            |                   |            | 2          | 1,727            |
| 3 ~                     | 1,920            |                   |            | 2          | 1,697            |
| 4                       | 1,872            |                   |            | 2          | 1,677            |
| 2                       | 1,829            |                   |            |            |                  |
| 2                       | 1,803            |                   |            |            |                  |
| 3 ~                     | 1,765            |                   |            |            |                  |
| 3 ~                     | 1,745            |                   |            |            |                  |
| 3                       | 1,703            |                   |            |            |                  |
| 1                       | 1,681            |                   |            |            |                  |

## SMITHITE

La smithite  $\text{AgAsS}_2$  est un minéral extrêmement rare, connu jusqu'à présent dans un seul gisement au monde, celui de Lengenbach, dans la vallée de Binn en Suisse. Par suite de sa rareté, la plupart de ses propriétés restaient indéterminées. Citons à titre d'exemple GRAESER (1965), qui dans son important travail sur la minéralogie de la vallée de Binn, basé en grande partie sur les échantillons des collections minéralogiques suisses, ne pût donner, faute de matériel, aucune indication sur les propriétés optiques de la smithite, ni sur son diagramme de poudre. La découverte de la smithite à Jas Roux, où elle est beaucoup plus abondante qu'à Lengenbach, nous a permis de combler des lacunes dans la définition des propriétés de ce minéral, particulièrement en ce qui concerne les propriétés optiques en lumière réfléchie, étudiées pour la première fois sur un matériel naturel, ainsi que l'étude aux rayons X.

A Jas Roux, la smithite forme des lamelles de clivage atteignant un centimètre maximum, ainsi que des cristaux imparfaits dont les plus grands sont millimétriques ; cependant, le plus souvent, elle forme des imprégnations microscopiques dans la gangue quartzeuse. C'est le minéral d'argent le plus fréquent de la minéralisation étudiée.

### Historique

SOLLY (1905) décrivit la smithite comme un nouveau minéral en se basant essentiellement sur les mesures cristallographiques au goniomètre. Aucune analyse chimique ne pût être réalisée, et, cet auteur supposa par analogie qu'il s'agissait d'un sulfo-arséniure de plomb.

Pour la première fois, la smithite fut analysée par SMITH et PRIOR (1907) qui établirent sa formule -  $\text{AgAsS}_2$ . Depuis, les

seules données concernant la smithite de Lengenbach sont résumées dans la publication de NOWACKI et BAHEZRE (1963) et celle de GRAESER (1965). En étudiant la hutchinsonite de Wiesloch (Baden), SEELIGER (1954) signale la présence d'un minéral non déterminé, associé à la hutchinsonite et suggère la possibilité qu'il s'agisse de la smithite.

Depuis, aucune précision n'a été donnée sur la nature de ce minéral.

La synthèse de la smithite fut effectuée pour la première fois par BELAND (1948). Il obtint des cristaux de  $\text{AgAsS}_2$  à partir des solutions aqueuses alcalines à des températures voisines de  $390^\circ\text{C}$ . Ces cristaux furent examinés par PEACOCK (1946) qui, en utilisant la méthode de Weissenberg, démontra leur identité avec la smithite de Lengenbach. Ceci a permis d'ailleurs d'attribuer le diagramme de poudre de la phase synthétique de BELAND à la smithite. HALL (1966) a synthétisé la smithite par fusion de ses constituants élémentaires dans des tubes siliceux. Une technique semblable a été utilisée par ROLAND (1968), qui réussit à synthétiser deux formes de  $\text{AgAsS}_2$  - la smithite et la trechmannite. Nous devons également à cet auteur une étude sommaire des propriétés optiques de ces deux phases synthétiques.

#### Propriétés optiques

En lumière réfléchie non analysée, la smithite a une couleur blanche avec une teinte bleuâtre très nette, observable à l'air. Dans l'huile, la couleur devient blanc-bleu surtout par rapport à la pierrotite ou à la chabournéite. Par sa couleur en section polie, la smithite ressemble beaucoup à la proustite ou à d'autres argents rouges, ainsi qu'à la routhiérite et à la laffittite. Les traces de clivage suivant (100) sont constamment observables dans les plages de smithite, constituant un critère de distinction efficace.

En effet, la majorité des espèces indiquées ci-dessus ne présente aucun clivage en section polie. Le pléochroïsme de la smithite est faible, pratiquement imperceptible à l'air.



La smithite présente un pouvoir réflecteur moyennement élevé, nettement supérieur à celui du réalgar, situé entre  $R_{\max}$  et  $R_{\min}$  de stibine, très proche du pouvoir réflecteur de la proustite et de la pyrargyrite.

La routhiérite et la laffittite ont des pouvoirs réflecteurs légèrement moins élevés. Deux plages, d'orientation différente, ont été mesurées ; les pouvoirs réflecteurs obtenus sont consignés dans le tableau 25 et exprimés sous forme de courbes sur la fig. 12.

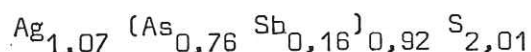
La forme des courbes du pouvoir réflecteur est peu caractéristique. Notons toutefois que l'absorption dans le domaine rouge du spectre est moins prononcée que pour la proustite ou la pyrargyrite.

L'anisotropie est assez faible, masquée par des réflexions internes rouge pourpre généralisées. L'intensité d'anisotropie est inférieure à celle du cinabre, comparable à la lorandite. A la différence de ces derniers, la smithite présente des teintes de polarisation peu colorées, grises ou très légèrement violacées.

La microdureté est de 53 kg/mm<sup>2</sup>. Cette valeur représente la moyenne de 5 mesures obtenues avec le poids de 25 g. Les empreintes sont déformées par suite du clivage suivant (100), ce qui explique les fortes variations des valeurs allant de 46 à 60 kg/mm<sup>2</sup>.

#### Composition chimique

L'analyse réalisée à la microsonde électronique (tableau 26) met en évidence un remplacement partiel de l'arsenic par l'antimoine dans la smithite de Jas Roux. Le résultat d'analyse correspond à la formule cristallographique suivante :



Ceci démontre que, malgré l'hétérotypie des composés  $\text{AgAsS}_2$  et  $\text{AgSbS}_2$  (miargyrite), un remplacement notable de As par Sb est pos-

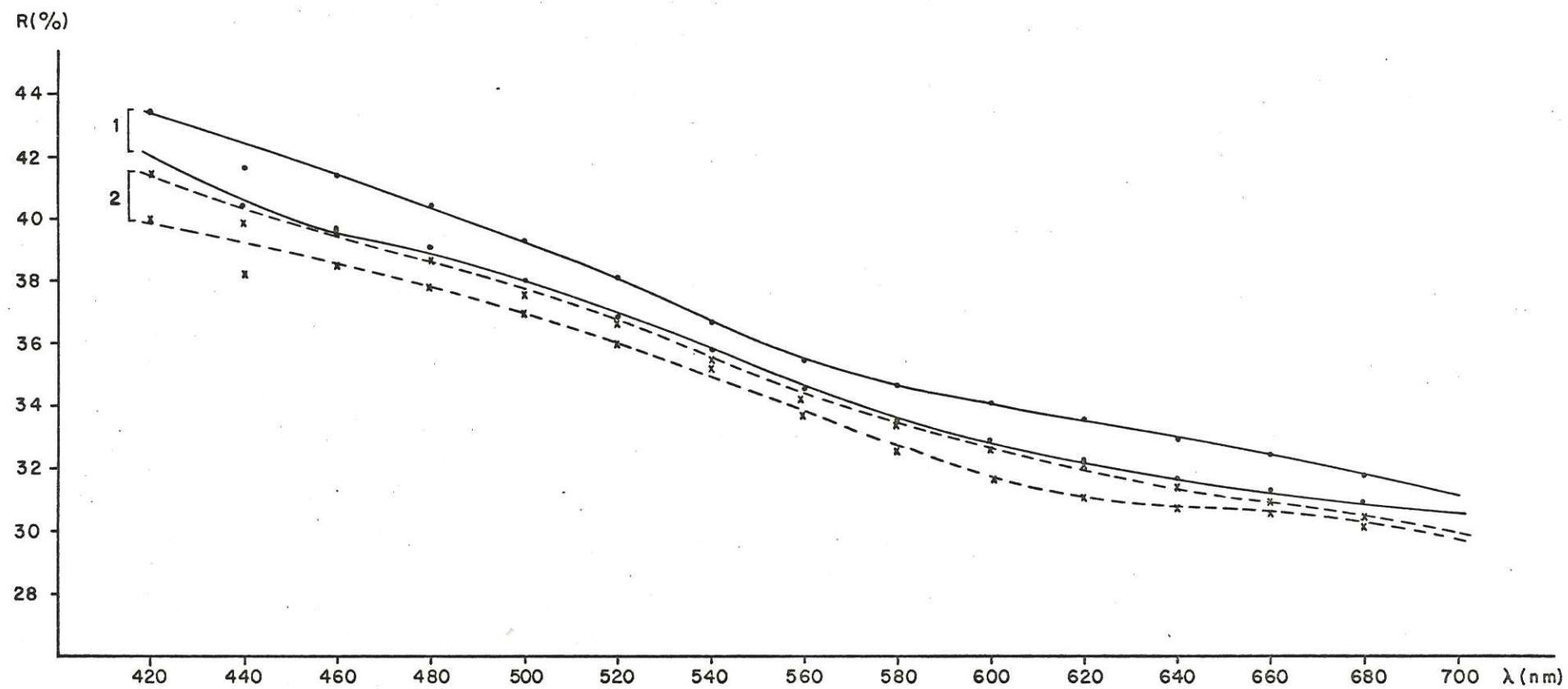


Fig.12

TABLEAU 25

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA SMITHITE

| $\lambda$ (nm) | Plage 1              |                      | Plage 2              |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) |
| 420            | 43,4                 | 42,0                 | 41,4                 | 40,0                 |
| 440            | 42,4                 | 40,7                 | 40,3                 | 39,2                 |
| 460            | 41,4                 | 39,6                 | 39,4                 | 38,6                 |
| 480            | 40,4                 | 38,9                 | 38,6                 | 37,8                 |
| 500            | 39,2                 | 38,0                 | 37,7                 | 37,0                 |
| 520            | 38,0                 | 37,0                 | 36,6                 | 36,0                 |
| 540            | 36,6                 | 35,8                 | 35,5                 | 35,0                 |
| 560            | 35,4                 | 34,6                 | 34,5                 | 33,8                 |
| 580            | 34,6                 | 33,6                 | 33,4                 | 32,7                 |
| 600            | 34,0                 | 32,8                 | 32,6                 | 31,7                 |
| 620            | 33,5                 | 32,2                 | 32,0                 | 31,1                 |
| 640            | 33,0                 | 31,6                 | 31,4                 | 30,8                 |
| 660            | 32,4                 | 31,2                 | 31,0                 | 30,7                 |
| 680            | 31,8                 | 30,8                 | 30,5                 | 30,2                 |
| 700            | 31,1                 | 30,6                 | 30,0                 | 29,8                 |



sible. Dans le cas du gisement de Jas Roux, ce remplacement reflète des conditions de formation particulières de la smithite, caractérisées par une forte prépondérance d'antimoine dans les phases minéralisatrices précédant la cristallisation de ce minéral (cf. plus loin).

Etant donné la rareté de la smithite, il existe peu de données concernant son chimisme. Outre une analyse chimique ancienne (SMITH et PRIOR, 1907), on dispose des données de NOWACKI et BAHEZRE (1963), qui ont réalisé, à la microsonde électronique, une analyse de la smithite de Lengenbach, en confirmant la formule  $\text{AgAsS}_2$ . Alors que SMITH et PRIOR (1907) avaient trouvé 0,4 % de Sb dans cette smithite, la présence d'antimoine n'a pas été confirmée par NOWACKI et BAHEZRE (1963) (tableau 26).

#### Etude radiocristallographique

Le diagramme de poudre de la smithite (tableau 27) a été indexé avec les paramètres suivants :

$$a_0 = 17,230 \pm 0,06 \text{ \AA}$$

$$b_0 = 7,781 \pm 0,003 \quad \beta = 101^\circ 11'$$

$$c_0 = 15,196 \pm 0,006$$

$$V = 1998 \pm 2 \text{ \AA}^3 ; Z = 24$$

Ils sont pratiquement identiques avec ceux publiés par PEACOCK (1946). La densité calculée pour la formule  $\text{Ag} (\text{As}_{0,8} \text{Sb}_{0,2}) \text{S}_2$  est  $d_x = 5,08$ .

TABLEAU 26

ANALYSES CHIMIQUES DE LA SMITHITE

|        | 1    | 2      | 3    | 4     | 5    | 6      |
|--------|------|--------|------|-------|------|--------|
| Ag     | 44,2 | 0,4098 | 1,07 | 42,5  | 43,9 | 43,69  |
| As     | 21,7 | 0,2901 | 0,76 | 30,4  | 28,9 | 30,36  |
| Sb     | 7,6  | 0,0622 | 0,16 | -     | 0,4  | -      |
| S      | 24,7 | 0,7693 | 2,01 | 29,2  | 26,0 | 25,95  |
| Totaux | 98,2 | 1,5314 | 4    | 102,1 | 99,2 | 100,00 |

- 1 - Analyse à la microsonde électronique (témoins : Ag métal,  $\text{TlAsS}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes par unité formulaire, calculé sur la base d'un total de 4 atomes
- 4 - Smithite de Lengenbach (Suisse), analyse à la microsonde électronique, NOWACKI et BAHEZRE (1963)
- 5 - Smithite de Lengenbach (Suisse), analyse chimique, SMITH et PRIOR (1907)
- 6 - Composition théorique de  $\text{AgAsS}_2$

## DIAGRAMMES DE POUDRES DE LA SMITHITE

| Smithite J. Roux<br>Chambre de 240 mm de circonférence<br>intensités relatives de 1 à 10 |                  |                                  |                                  | Smithite synthétique<br>BERRY et THOMPSON<br>(1962) |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| I                                                                                        | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub>                | hkl                              | I                                                   | d <sub>mes</sub> |
| 2                                                                                        | 7,51 Å           | 7,37 Å                           | $\bar{1}02$                      | -                                                   | -                |
| 1                                                                                        | 4,21             | 4,23<br>4,18                     | $\bar{1}13$<br>013               | 2                                                   | 4,23 Å           |
| 2                                                                                        | 3,948            | 3,920                            | 113                              | 2                                                   | 3,92             |
| 1                                                                                        | 3,546            | 3,533<br>3,531                   | 220<br>213                       | 1                                                   | 3,53             |
| 9                                                                                        | 3,215            | 3,190                            | 204                              | 8                                                   | 3,21             |
| 4                                                                                        | 3,133            | 3,143<br>3,111                   | 320<br>404                       | 1                                                   | 3,12             |
| 8                                                                                        | 2,831            | 2,831<br>2,823                   | $\bar{1}15$<br>602               | 10                                                  | 2,82             |
| 10                                                                                       | 2,736            | 2,718                            | $\bar{1}24$                      | 6                                                   | 2,72             |
| 1                                                                                        | 2,560            | 2,562<br>2,558                   | 422<br>404                       | 0,5                                                 | 2,53             |
| 1                                                                                        | 2,363            | 2,370                            | $\bar{5}15$                      | 0,5                                                 | 2,35             |
| 1                                                                                        | 2,286            | 2,292<br>2,284<br>2,284<br>2,282 | 504<br>622<br>324<br>620         | 0,5                                                 | 2,29             |
| 1                                                                                        | 2,210            | 2,218                            | $\bar{5}06$                      | -                                                   | -                |
| 1                                                                                        | 2,140            | 2,145<br>2,138<br>2,138          | $\bar{8}02$<br>424<br>615        | -                                                   | -                |
| 1                                                                                        | 2,070            | 2,074<br>2,073<br>2,072<br>2,067 | $\bar{6}06$<br>811<br>531<br>722 | 0,5                                                 | 2,08             |
| 5                                                                                        | 1,983            | 1,986<br>1,980<br>1,980          | 533<br>515<br>406                | 3                                                   | 1,981            |
| 7                                                                                        | 1,950            | 1,947                            | 433                              | 5                                                   | 1,953            |
| 4                                                                                        | 1,913            | 1,916<br>1,915<br>1,913<br>1,911 | 135<br>217<br>335<br>902         | 2                                                   | 1,907            |
| 1                                                                                        | 1,841            | 1,842                            | 408                              | -                                                   | -                |
| 1                                                                                        | 1,786            | 1,785<br>1,785                   | $\bar{7}31$<br>508               | -                                                   | -                |
| 4                                                                                        | 1,698            | 1,700                            | 144                              | 4                                                   | 1,701            |
| 5                                                                                        | 1,667            | 1,665                            | $\bar{4}28$                      | 4                                                   | 1,661            |
| 5                                                                                        | 1,656            | 1,656                            | $\bar{8}31$                      | -                                                   | -                |
| 2                                                                                        | 1,632            | 1,630                            | $\bar{8}33$                      | -                                                   | -                |
| 4                                                                                        | 1,606            |                                  |                                  | 4                                                   | 1,608            |
| -                                                                                        | -                |                                  |                                  | 1                                                   | 1,537            |
| -                                                                                        | -                |                                  |                                  | 0,5                                                 | 1,490            |
| 1                                                                                        | 1,448            |                                  |                                  | 0,5                                                 | 1,451            |
| 3                                                                                        | 1,411            |                                  |                                  | 2                                                   | 1,414            |
| 3                                                                                        | 1,367            |                                  |                                  | 1                                                   | 1,366            |
| 1                                                                                        | 1,284            |                                  |                                  | 1                                                   | 1,285            |
| 3                                                                                        | 1,269            |                                  |                                  | 3                                                   | 1,271            |



## LAFFITTITE

Cette nouvelle espèce minérale découverte à Jas Roux est nommée en l'honneur de Pierre LAFFITTE, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

### Propriétés physiques et optiques

La laffittite n'a été rencontrée qu'en plages microscopiques atteignant au maximum quelques dixièmes de millimètre (autour de 0,2 mm environ), la plupart du temps associée à la routhiérite, moins souvent à du réalgar ou à des sulfo-antimoniures de thallium.

En lumière réfléchie, dans l'air, la laffittite a une couleur blanc-bleuâtre. La teinte bleue se montre nettement plus franche par rapport à la routhiérite ou à la smithite. A l'immersion, la couleur devient encore plus bleue, se rapprochant de celle de la chalcocite. Le pléochroïsme, déjà net à l'air, devient intense dans l'huile, allant de blanc-bleu clair (correspondant à la position d'extinction entre nicols croisés) à gris-bleuâtre (anisotropie maximale).

Le pouvoir réflecteur de la laffittite, légèrement supérieur à celui de la routhiérite, est très proche de celui de la pierrotite et de la chabournélite. Dans le cas d'une association intime de la laffittite avec la routhiérite, on observe que même dans la position extrême du pouvoir réflecteur maximum, la laffittite demeure la plus réfléchissante des deux. Des mesures de pouvoir réflecteur, réalisées dans les mêmes conditions que celles de la routhiérite, sont données dans le tableau 30.

Entre nicols croisés, le nouveau minéral présente une anisotropie relativement forte, comparable à celle des argents rouges avec toutefois des effets peu colorés, variant du gris-bleu clair au gris foncé. La laffittite présente de nombreuses réflexions internes rouge

pourpre, plus foncées et moins fréquentes que celles observées dans la routhiérîte ou dans la smithite. De même que pour la routhiérîte, ces réflexions internes dissimulent parfois les effets d'anisotropie. Les plages de laffittite ne présentent aucune macle.

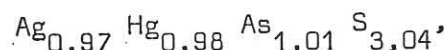
Les mesures de microdureté Vickers, (P = 25 g) ont donné la valeur moyenne (5 mesures) de 115 kg/mm<sup>2</sup> avec les variations de 92 à 138 kg/mm<sup>2</sup>. Les empreintes laissent supposer l'existence d'un clivage imparfait dans une seule direction. Le nouveau minéral a un bon poli.

La densité fut mesurée sur le composé synthétique AgHgAsS<sub>3</sub>, identique à la laffittite :  $d_{mes} = 6,11 \pm 0,02$ .

#### Etude chimique

De même que pour la routhiérîte, la composition chimique de la laffittite a été déterminée à la microsonde électronique. L'analyse qualitative a montré la présence de Ag, Hg, As et S. Compte tenu de l'association intime très fréquente de la laffittite avec la routhiérîte, nous avons vérifié, sur plusieurs plages, la composition chimique qualitative de la laffittite, en particulier en ce qui concerne le remplacement éventuel de Ag par Tl et de As par Sb. Dans aucun cas, nous n'avons pu confirmer la présence de Tl et Sb dans ce nouveau minéral, ce qui permet de penser que sa structure est défavorable à un tel remplacement.

L'analyse quantitative, réalisée également à la microsonde électronique, en utilisant Ag métal et la vrbaïte comme témoins, a donné le résultat consigné dans le tableau 28. Cette analyse conduit à une formule cristallographique



très proche de la formule idéale - AgHgAsS<sub>3</sub>.

La synthèse de la laffittite a été réalisée par Mme MAUREL au C.N.R.S., Orléans, par fusion des sulfures simples la constituant.

L'identité du composé synthétique avec le minéral de Jas Roux fut vérifiée par un examen aux rayons X.

TABLEAU 28

ANALYSE CHIMIQUE DE LA LAFFITTITE

|          | 1    | 2      | 3    | 4     |
|----------|------|--------|------|-------|
| Ag       | 21,9 | 0,2030 | 0,97 | 22,5  |
| Hg       | 41,0 | 0,2044 | 0,98 | 41,8  |
| As       | 15,6 | 0,2082 | 1,01 | 15,6  |
| S        | 20,3 | 0,6330 | 3,04 | 20,1  |
| $\Sigma$ | 98,8 | 1,2486 | 6    | 100,0 |

- 1 - Analyse à la microsonde électronique
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes dans l'unité formulaire,  
calculé sur la base d'un total 6
- 4 - Composition théorique pour  $\text{AgHgAsS}_3$



### Etude radiocristallographique

Les clichés de cristal tournant et de Weissenberg, effectués sur un éclat de laffittite prélevé sur section polie, ont révélé une symétrie monoclinique. D'après ces clichés, il apparaît que la maille appartient au groupe spatial  $C_{2h}^5$  -  $P2_1/c$ . Ses paramètres sont les suivants :

$$a_o = 6,567 \text{ \AA}$$

$$b_o = 14,02$$

$$c_o = 6,388$$

$$\beta = 119^\circ 05'$$

Par un changement de repère suivant la matrice /201/010/001/, on obtient une maille pseudo-orthorhombique  $B2_1/c$  à laquelle se rapportent les paramètres indiqués ci-dessous :

$$a_o = 11,484 \pm 0,005 \text{ \AA}$$

$$b_o = 14,020 \pm 0,005$$

$$c_o = 6,388 \pm 0,002$$

$$\beta = 90^\circ 0'$$

$$V = 1028 \pm 1 \text{ \AA}^3 ; Z = 8 ; d_x = 6,15.$$

Le diagramme de poudre de la laffittite est donné dans le tableau 29.

Les valeurs des paramètres, le groupe spatial, ainsi que la formule chimique laissent entrevoir que la laffittite est homéotype de la pyrostilpnite -  $Ag_3SbS_3$ .

TABLEAU 29

DIAGRAMME DE POUDRE DE LA LAFFITTITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| I  | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|----|------------------|-------------------|-----|
| 5  | 5,31 Å           | 5,31 Å            | 210 |
| 3  | 4,41             | 4,44              | 220 |
| 2  | 3,620            | 3,625             | 230 |
| 7  | 3,505            | 3,505             | 040 |
| 8  | 3,198            | 3,194             | 002 |
| 8  | 3,005            | 2,992             | 240 |
| 1  | 2,871            | 2,871             | 400 |
| 10 | 2,682            | 2,687             | 331 |
| 1  | 2,525            | 2,520             | 250 |
| 1  | 2,214            | 2,221             | 440 |
| 6  | 2,133            | 2,136             | 402 |
|    |                  | 2,133             | 351 |
| 5  | 1,905            | 1,904             | 361 |
| 5  | 1,891            | 1,891             | 270 |
| 2  | 1,822            | 1,824             | 442 |
| 3  | 1,771            | 1,771             | 630 |
| 4  | 1,706            | 1,709             | 371 |
| 3  | 1,663            | 1,671             | 181 |
| 2  | 1,597            | 1,597             | 004 |
| 2  | 1,576            | 1,576             | 462 |
| 2  | 1,501            | 1,503             | 290 |
|    |                  | 1,500             | 191 |
| 2  | 1,486            | 1,487             | 642 |
| 1  | 1,408            | 1,409             | 244 |
|    |                  | 1,407             | 391 |
| 1  | 1,385            | 1,384             | 670 |
| 2  | 1,341            | 1,343             | 662 |

## ROUTHIERITE

Ce nouveau minéral découvert à Jas Roux, est nommé en l'honneur de Pierre ROUTHIER, professeur à la Sorbonne.

### Propriétés physiques et optiques

Nous avons pu observer ce minéral macroscopiquement, sous forme de filonnets d'un millimètre de puissance au maximum, traversant des dolomies noires du Trias. A l'oeil nu, la couleur est rouge noir ; sous la loupe binoculaire, elle apparaît rouge foncé, semi-transparente, avec une teinte violacée. Nous n'avons pas observé de cristaux ; la routhiérite se présente le plus souvent, outre les filonnets, en grains xénomorphes associés à d'autres minéraux de la paragenèse.

En lumière réfléchie, la routhiérite a une couleur blanche avec une teinte bleuâtre nettement visible, mais moins prononcée que la laffittite. Toutefois, cette teinte est plus franche que celle de la proustite. Dans l'huile, la couleur est gris-bleu, identique à celle de la smithite.

Le pléochroïsme de la routhiérite est imperceptible dans l'air ; à l'immersion, il reste toujours très faible, observable uniquement grâce à la présence des lamelles de macles. Le faible pléochroïsme permet de distinguer la routhiérite de la laffittite.

Le pouvoir réflecteur de la routhiérite est du même ordre que celui de la laffittite, n'étant que légèrement inférieur par rapport à cette dernière. Des mesures de pouvoir réflecteur sont données dans le tableau 30.

Entre nicols croisés, la routhiérite présente une anisotropie nette, mais relativement faible par rapport à la laffittite et aux argents rouges. Les effets d'anisotropie sont peu visibles à cause de nombreuses réflexions internes rouge vif, plus claires que celles de



TABLEAU 30

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA ROUTHIERITE ET DE LA LAFFITTITE

| $\lambda$ (nm) | Routhiérite         |                      | Laffittite           |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) |
| 420            | 31,7                 | 31,0                 | 37,7                 | 34,5                 |
| 440            | 31,4                 | 30,7                 | 37,0                 | 34,8                 |
| 460            | 31,0                 | 30,3                 | 36,0                 | 34,4                 |
| 480            | 30,5                 | 29,8                 | 35,2                 | 33,8                 |
| 500            | 30,2                 | 29,5                 | 34,4                 | 32,9                 |
| 520            | 30,0                 | 29,0                 | 33,5                 | 31,8                 |
| 540            | 29,4                 | 28,2                 | 32,6                 | 30,7                 |
| 560            | 28,5                 | 27,2                 | 31,7                 | 29,7                 |
| 580            | 27,5                 | 26,3                 | 30,8                 | 28,5                 |
| 600            | 26,6                 | 25,5                 | 30,0                 | 27,8                 |
| 620            | 26,1                 | 25,2                 | 29,6                 | 27,4                 |
| 640            | 25,9                 | 25,0                 | 29,5                 | 27,1                 |
| 660            | 25,7                 | 25,0                 | 29,4                 | 26,8                 |
| 680            | 25,5                 | 24,8                 | 29,1                 | 26,6                 |
| 700            | 25,3                 | 24,5                 | 28,9                 | 26,3                 |

la proustite. Dans certains cas, on distingue des effets colorés avec une teinte vert-violacée.

Les plages de routhiérite présentent deux systèmes orthogonaux de macles fines, polysynthétiques ; moins souvent, on observe des macles simples à lamelles larges. La présence des macles semble être un bon critère de détermination permettant de distinguer la routhiérite de la smithite ou de la laffittite.

En section polie, les plages du nouveau minéral ne laissent deviner aucun clivage ; des essais de microdureté ont mis en évidence l'existence de deux plans de clivage perpendiculaires. La microdureté Vickers, mesurée avec une charge de 25 g est de 148 kg/mm<sup>2</sup> (moyenne de 10 empreintes avec des variations de 133 à 157 kg/mm<sup>2</sup>). Pour la charge de 50 g, la valeur moyenne est de 163 kg/mm<sup>2</sup> (moyenne de 5 mesures situées entre les valeurs extrêmes (148 et 177 kg/mm<sup>2</sup>). Le poli est bon ; la densité n'a pas pu être mesurée par suite de la faible quantité du matériel disponible.

#### Etude chimique

Après avoir effectué une analyse qualitative à la microsonde électronique, qui a montré la présence de Tl, Ag, Cu, Hg, Zn, As, Sb et S, deux analyses quantitatives ont été réalisées sur deux plages différentes, en utilisant comme étalons : la vrbaïte (Tl<sub>4</sub>Hg<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>As<sub>8</sub>S<sub>20</sub>), la blende (ZnS) et les métaux (Ag et Cu). Les résultats consignés dans le tableau 31, conduisent aux formules cristallochimiques suivantes :

1. (Tl<sub>0,495</sub> Cu<sub>0,304</sub> Ag<sub>0,175</sub>)<sub>0,974</sub> (Hg<sub>0,859</sub> Zn<sub>0,152</sub>)<sub>1,011</sub> (As<sub>0,875</sub> Sb<sub>0,106</sub>)<sub>0,98</sub> S<sub>3,034</sub>
2. (Tl<sub>0,478</sub> Cu<sub>0,296</sub> Ag<sub>0,193</sub>)<sub>0,967</sub> (Hg<sub>0,850</sub> Zn<sub>0,159</sub>)<sub>1,009</sub> (As<sub>0,874</sub> Sb<sub>0,118</sub>)<sub>0,99</sub> S<sub>3,032</sub>

ce qui donne en simplifiant

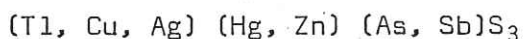


TABLEAU 31

ANALYSES CHIMIQUES DE LA ROUTHIERITE

|    | 1     |        |       | 2    |        |       |
|----|-------|--------|-------|------|--------|-------|
|    | 1     | 2      | 3     | 1    | 2      | 3     |
| Tl | 20,4  | 0,0998 | 0,495 | 19,7 | 0,0964 | 0,478 |
| Ag | 3,8   | 0,0352 | 0,175 | 4,2  | 0,0389 | 0,193 |
| Cu | 3,8   | 0,0613 | 0,304 | 3,8  | 0,0598 | 0,296 |
| Hg | 34,7  | 0,1730 | 0,859 | 34,4 | 0,1715 | 0,850 |
| Zn | 2,0   | 0,0306 | 0,152 | 2,1  | 0,0321 | 0,159 |
| As | 13,2  | 0,1762 | 0,875 | 13,2 | 0,1762 | 0,874 |
| Sb | 2,6   | 0,0213 | 0,106 | 2,9  | 0,0238 | 0,118 |
| S  | 19,6  | 0,6113 | 3,034 | 19,6 | 0,6113 | 3,032 |
| Σ  | 100,2 | 1,2087 | 6     | 99,9 | 1,2100 | 6     |

1 - Analyse à la microsonde électronique

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes dans l'unité formulaire calculé sur la base d'un total égal à 6



En considérant les proportions du remplacement mutuel des éléments, la formule idéale de la routhiérinite peut s'écrire :



Il est intéressant de noter que la composition chimique de la routhiérinite englobe tous les éléments chimiques caractéristiques de la paragenèse de Jas. Roux, sauf le plomb. Ceci peut s'expliquer par la position de ce minéral dans la succession, discutée plus loin. D'autre part, un remplacement assez intense du thallium par le cuivre, supérieur à celui de l'argent, permet d'entrevoir l'existence d'un composé hypothétique  $\text{CuHgAsS}_3$ , isotype de la routhiérinite et correspondant au second terme extrême d'une série isomorphe  $\text{TlHgAsS}_3 - \text{CuHgAsS}_3$ .

#### Etude radiocristallographique

Un éclat monocristallin de routhiérinite a été étudié aux rayons X en utilisant la méthode de cristal tournant et de Weissenberg. Le nouveau minéral est quadratique, avec une maille centrée I. Compte tenu des extinctions observées, la maille appartient à un des groupes spatiaux suivants :  $C_{4v}^9 - I 4 \text{ mm}$  ;  $D_{2d}^9 - I\bar{4}m2$  ;  $D_{2d}^{11} - I\bar{4}2m$  ;  $D_{4h}^{17} - I4/mmm$  ;  $D_4^9 - I 422$ .

Les paramètres, affinés par la méthode de moindres carrés à partir du diagramme de poudre sont :

$$a_0 = 9,977 \pm 0,002 \text{ \AA}$$

$$c_0 = 11,290 \pm 0,003$$

$V = 1124 \pm 1 \text{ \AA}^3$  ;  $Z = 8$  ;  $d_x = 5,83$  pour la composition chimique résultant de la moyenne des analyses (tableau 31),  $d_x = 6,76$  pour la formule théorique  $\text{TlHgAsS}_3$ . Le diagramme de poudre de la routhiérinite est donné dans le tableau 32.

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

TABLEAU 32

## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA ROUTHIERITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| I   | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|-----|------------------|-------------------|-----|
| 3   | 7,49 Å           | 7,49 Å            | 101 |
| 1   | 5,62             | 5,64              | 002 |
| 4   | 4,995            | 4,990             | 200 |
| 2   | 4,414            | 4,408             | 112 |
| 10  | 4,146            | 4,152             | 211 |
| 8   | 3,525            | 3,529             | 220 |
|     |                  | 3,523             | 103 |
| 4 ~ | 3,149            | 3,156             | 310 |
| 10  | 2,989            | 2,991             | 222 |
| 2   | 2,884            | 2,877             | 213 |
| 2   | 2,831            | 2,823             | 004 |
| 3   | 2,758            | 2,754             | 312 |
| 4   | 2,682            | 2,687             | 321 |
| 5   | 2,625            | 2,621             | 114 |
| 9   | 2,495            | 2,494             | 400 |
|     |                  | 2,492             | 303 |
| 5   | 2,353            | 2,352             | 330 |
| 4   | 2,233            | 2,231             | 420 |
|     |                  | 2,230             | 323 |
| 4   | 2,208            | 2,204             | 224 |
| 4   | 2,170            | 2,171             | 332 |
| 3   | 2,106            | 2,104             | 314 |
| 5   | 2,037            | 2,035             | 413 |
| 5   | 2,020            | 2,015             | 215 |
| 3   | 1,962            | 1,965             | 501 |
| 7   | 1,870            | 1,870             | 404 |
|     |                  | 1,868             | 305 |
| 6   | 1,827            | 1,828             | 521 |
| 7   | 1,763            | 1,764             | 440 |
| 5   | 1,663            | 1,663             | 600 |
|     |                  | 1,662             | 543 |
| 5   | 1,620            | 1,623             | 611 |
| 5   | 1,609            | 1,608             | 514 |
| 1   | 1,578            | 1,578             | 620 |
| 6   | 1,520            | 1,520             | 622 |
| 3   | 1,499            | 1,496             | 444 |
| 4   | 1,472            | 1,474             | 631 |
| 3   | 1,434            | 1,433             | 604 |
|     |                  | 1,432             | 525 |
| 3   | 1,416            | 1,414             | 701 |

~ = raie diffuse

## AKTASHITE

Jas Roux est le troisième gisement connu au monde de l'aktashite, les deux premiers étant situés en Sibérie : Ak-Tash (VASILJEV, 1968) dans les monts Altaï, et Ghal-Khai (GRUZDEV et YUDIN, 1970) en Yakoutie.

Dans ces deux gisements, l'aktashite fait partie d'une paragenèse voisine de celle de Jas Roux. En effet, on y trouve les espèces suivantes : réalgar, orpiment, wakabayashilite, stibine, pyrite, greigite et métacinnabarite, en filonnets recoupant des métasomatites à quartz et à calcite. L'aktashite se présente toujours sous la forme de cristaux automorphes de 0,1 à 0,3 mm, inclus dans le réalgar aux épontes des filonnets de calcite.

A Jas Roux, l'aktashite montre également une forte tendance à l'automorphisme. Deux cristaux seulement de ce minéral ont été trouvés jusqu'à présent ; ils sont inclus dans le réalgar et l'un d'eux parfaitement développé est de 0,5 mm environ. Sous la loupe binoculaire, les cristaux d'aktashite ont une couleur brun-noir à la surface, et noir avec un fort éclat métallique à la cassure fraîche. Aucun clivage n'a été observé ; la cassure est conchoïdale.

### Propriétés optiques

En section polie, la couleur du minéral est blanc crème, ressemblant à celle d'un cuivre gris. Dans l'huile, la teinte crème devient plus franche. Aucun pléochroïsme n'est observable à l'oeil, même à l'immersion. L'aktashite présente un pouvoir réflecteur moyen, comparable à celui de la tennantite. Des mesures de pouvoir réflecteur furent effectuées sur plusieurs éclats séparés d'un monocristal d'aktashite. Nous donnons les résultats obtenus sur deux plages différentes dans le tableau 33. Il en ressort que la biréflectance du minéral est très faible ; en effet, pour certaines longueurs d'onde, compte tenu de l'imprécision des mesures, l'aktashite se comporte comme un corps isotrope. La figure 13



montre que l'aktashite présente un croisement des courbes du pouvoir réflecteur qui se situe vers 480 nm, ce qui laisse supposer le changement du signe de biréfractance du minéral. Les valeurs du pouvoir réflecteur que nous avons obtenues sont en concordance avec celles données par GRUZDEV et al (1972) pour l'aktashite de Ghal-Khaï. Ces auteurs ont mesuré le pouvoir réflecteur sur les sections perpendiculaires à l'axe c. Leurs valeurs correspondent aux nôtres désignées  $R_{\min}$ , ce qui nous permet de déduire que l'aktashite a un signe de biréfractance positif dans le domaine des longueurs d'onde de 480 à 700 nm, et un signe négatif au-dessous de 480 nm.

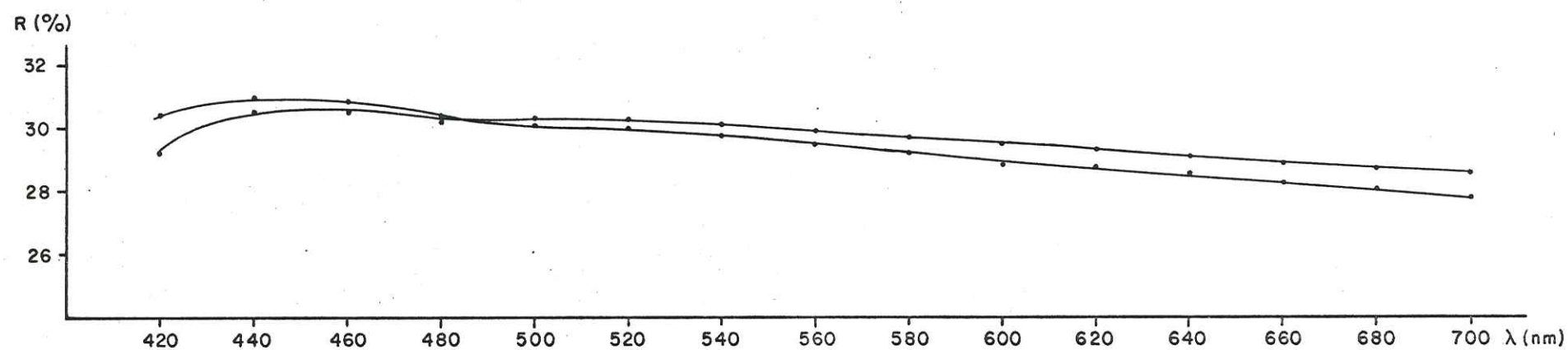
L'anisotropie est très faible, observable entre les nicols légèrement décroisés, avec des couleurs peu caractéristiques, allant de gris-brunâtre à gris-bleu. Le minéral présente un bon poli.

La microdureté est de 304 kg/mm<sup>2</sup> (moyenne de 5 mesures variant de 302 à 311 kg/mm<sup>2</sup> pour P = 50 g. Les empreintes sont bien symétriques accompagnées de fissures dans deux directions perpendiculaires (existence d'un clivage imparfait ?).

#### Etude chimique

L'analyse qualitative à la microsonde électronique a décelé la présence de Cu, Zn, Hg, As et S. Une analyse quantitative a été effectuée, dont le résultat est donné dans le tableau 34. Nous y reportons également l'analyse à la microsonde électronique de l'aktashite provenant du gisement type Ak-Tash (GRUZDEV et al, 1972). La concordance imparfaite entre ces analyses rend difficile la détermination d'une formule chimique de ce minéral. GRUZDEV et al (1972) ont calculé la formule chimique de l'aktashite en se basant uniquement sur des considérations cristallographiques.

L'aktashite possède une maille élémentaire hexagonale dont le volume est 9,75 fois plus grand que celui de la maille d'une surstructure type blende (cf. plus loin).



**Fig.13**

TABLEAU 33

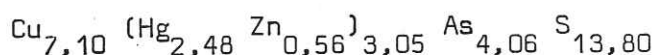
POUVOIRS REFLECTEURS DE L'AKTASHITE

| $\lambda$ (nm) | Plage 1              |                      | Plage 2              |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) | R <sub>max</sub> (%) | R <sub>min</sub> (%) |
| 420            | 29,2                 | 30,4                 | 29,5                 | 30,3                 |
| 440            | 30,6                 | 31,0                 | 30,8                 | 31,1                 |
| 460            | 30,5                 | 30,8                 | 30,6                 | 30,8                 |
| 480            | 30,4                 | 30,5                 | 30,5                 | 30,5                 |
| 500            | 30,3                 | 30,2                 | 30,5                 | 30,2                 |
| 520            | 30,3                 | 30,0                 | 30,6                 | 30,0                 |
| 540            | 30,1                 | 29,8                 | 30,3                 | 29,8                 |
| 560            | 29,9                 | 29,5                 | 30,1                 | 29,5                 |
| 580            | 29,7                 | 29,3                 | 30,0                 | 29,3                 |
| 600            | 29,5                 | 29,0                 | 29,8                 | 29,0                 |
| 620            | 29,3                 | 28,8                 | 29,6                 | 28,8                 |
| 640            | 29,1                 | 28,6                 | 29,4                 | 28,5                 |
| 660            | 28,9                 | 28,3                 | 29,2                 | 28,3                 |
| 680            | 28,7                 | 28,1                 | 29,0                 | 28,1                 |
| 700            | 28,5                 | 27,8                 | 28,8                 | 27,8                 |

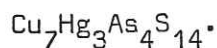


En sachant que la maille de la blende contient 8 atomes, on arrive à 78 atomes dans la maille hexagonale de l'aktashite.

Ceci conduit GRUZDEV et al (1972) à la formule  $\text{Cu}_6\text{Hg}_3\text{As}_5\text{S}_{12}$ . Notons cependant que la composition théorique de cette formule (tableau 34) s'éloigne assez de la composition trouvée à la microsonde électronique aussi bien par GRUZDEV et al (1972) que par nous-mêmes. De plus, la densité calculée à partir de cette formule ( $5,71 \text{ g/cm}^3$ ) est inférieure à celle mesurée par VASILJEV (1970) sur l'aktashite pure ( $5,76 \text{ g/cm}^3$ ). Signalons encore que cette formule s'écarte de la règle de Grimm-Sommerfeldt, concernant les structures tétraédriques. L'application de cette règle (cf. chapitre sur l'étude radiocristallographique) nous conduit à calculer la formule de l'aktashite sur la base d'un total de 28 atomes par unité formulaire. On obtient ainsi la formule cristallographique suivante :



ce qui donne en simplifiant :



#### Etude radiocristallographique

Les clichés de Weissenberg et du cristal tournant (rayonnement  $\text{Cu K}\alpha$ ) effectués sur un éclat monocristallin d'aktashite, ont mis en évidence une maille rhomboédrique dont les paramètres, affinés à partir du diagramme de poudre, correspondent parfaitement à ceux indiqués par GRUZDEV et al (1972). La seule extinction systématique observée sur les clichés de Weissenberg concerne les réflexions  $h k l$  pour lesquelles la condition d'existence est la suivante :  $h - k + l = 3n$ . Ceci limite à deux, les groupes spatiaux possibles :  $R\bar{3}$  et  $R3$ . Une détermination plus précise du groupe spatial n'a pu être réalisée ; le matériel à notre disposition se prêtant mal à une étude morphologique des cristaux. GRUZDEV et al. (1972) attribuent à l'aktashite le groupe spatial non centrosymétrique  $R3$ .

T A B L E A U 34

ANALYSES CHIMIQUES DE L'AKTASHITE

|        | A    |        |       | B      | C      |
|--------|------|--------|-------|--------|--------|
|        | 1    | 2      | 3     | 4      | 5      |
| Cu     | 25,8 | 0,4060 | 7,10  | 24,78  | 23,2   |
| Zn     | 2,1  | 0,0321 | 0,56  |        | 0,15   |
| Hg     | 28,5 | 0,1421 | 2,48  |        | 35,4   |
| As     | 17,4 | 0,2323 | 4,06  | 16,69  | 18,9   |
| S      | 25,3 | 0,7890 | 13,80 | 25,01  | 23,6   |
| Totaux | 99,1 | 1,6015 | 28    | 100,00 | 101,25 |

A - Aktashite de Jas Roux, analyse à la microsonde électronique  
(témoins : Cu, As métaux, HgS, ZnS)

1 résultat d'analyse

2 - rapports atomiques

3 - nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base  
d'un total de 28 atomes

B - Composition théorique pour  $\text{Cu}_7\text{Hg}_3\text{As}_4\text{S}_{14}$

C - Aktashite de Ak-Tash (Yakoutie), analyse à la microsonde  
électronique, (GRUZDEV et al, 1972)

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

|                           | Aktashite<br>Jas Roux          | Aktashite<br>Ghal-Khai<br>GRUZDEV et al (1972) |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|
| $a_{\text{hex}}$          | $13,676 \pm 0,004 \text{ \AA}$ | $13,72 \text{ \AA}$                            |
| $c_{\text{hex}}$          | $9,314 \pm 0,002$              | $9,32$                                         |
| $V_{\text{hex}}$          | $1508 \text{ \AA}^3$           | $1519 \text{ \AA}^3$                           |
| $a_{\text{rh}}$           | $8,484 \text{ \AA}$            | $8,51 \text{ \AA}$                             |
| $\alpha$                  | $107^\circ 24'$                | $107^\circ 28'$                                |
| $a_{\text{surstructure}}$ | $5,372 \pm 0,002 \text{ \AA}$  | $5,38 \text{ \AA}$                             |



## DIAGRAMME DE POUDRE DE L'AKTASHITE

| Aktashite, Jas Roux<br>Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence<br>intensités relatives de 1 à 10 |                  |                   |                      |                    | Aktashite Ghal-Khai<br>(Yakoutie)<br>GRUZDEV et al (1972) |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| I                                                                                                  | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl                  | hkl <sup>*1)</sup> | I                                                         | d <sub>mes</sub> |
| 4                                                                                                  | 6,835 Å          | 6,835 Å           | 11.0                 |                    | 10                                                        | 6,86 Å           |
| 5                                                                                                  | 5,006            | 5,000             | 02.1                 |                    | 14                                                        | 4,98             |
| 2                                                                                                  | 4,333            | 4,335             | 01.2                 |                    | 10                                                        | 4,36             |
| 4                                                                                                  | 4,048            | 4,035             | 21.1                 |                    | 20                                                        | 4,04             |
| 2                                                                                                  | 3,666            | 3,662             | 20.2                 |                    | 14                                                        | 3,68             |
| 10                                                                                                 | 3,104            | 3,104<br>3,098    | 00.3<br>13.1         | 111                | 100                                                       | 3,10             |
| 3                                                                                                  | 2,827            | 2,826<br>2,822    | 11.3<br>40.1         |                    | 14                                                        | 2,83             |
| 7                                                                                                  | 2,685            | 2,684             | 31.2                 | 200                | 70                                                        | 2,69             |
| 4                                                                                                  | 2,592            | 2,608<br>2,584    | 32.1<br>41.0         |                    | 14                                                        | 2,59             |
| 1                                                                                                  | 2,448            | 2,440             | 30.3                 |                    | 10                                                        | 2,45             |
| 5                                                                                                  | 2,293            | 2,298<br>2,295    | 22.3<br>05.1         |                    | 14                                                        | 2,29             |
| 4                                                                                                  | 2,070            | 2,073<br>2,067    | 51.1<br>21.4         |                    | 10                                                        | 2,08             |
| 4                                                                                                  | 1,986            | 1,986             | 41.3                 |                    | 14                                                        | 1,992            |
| 9                                                                                                  | 1,900            | 1,901             | 13.4                 | 220                | 100                                                       | 1,903            |
| 1                                                                                                  | 1,666            | 1,665<br>1,664    | 06.3<br>70.1         |                    | 14                                                        | 1,841            |
| 8                                                                                                  | 1,620            | 1,621<br>1,617    | 31.5<br>62.1         | 311                | 14                                                        | 1,668            |
| 2                                                                                                  | 1,572            | 1,571             | 51.4                 |                    | 100                                                       | 1,621            |
| 6                                                                                                  | 1,550            | 1,554<br>1,549    | 00.6<br>26.2         | 222                | 10                                                        | 1,573            |
| 1                                                                                                  | 1,498            | 1,497<br>1,496    | 44.3<br>54.1         |                    | 20                                                        | 1,554            |
| 6                                                                                                  | 1,342            | 1,342             | 62.4                 | 400                | 10                                                        | 1,500            |
| 7                                                                                                  | 1,232            | 1,232<br>1,232    | 26.5<br>65.1<br>19.1 | 331                | 28                                                        | 1,345            |
| 5                                                                                                  | 1,202            | 1,202             | 25.6                 | 420                | 40                                                        | 1,236            |
|                                                                                                    |                  |                   |                      |                    | 20                                                        | 1,204            |

\*1) Indices correspondant à la surstructure type blende

Les clichés de Weissenberg et surtout le diagramme de poudre (tableau 35) montrent que la structure cristalline de l'aktashite représente une surstructure type blende, dont la maille est caractérisée par un paramètre très proche de celui de ZnS (aktashite - 5,37 Å ; ZnS - 5,43 Å). La maille de surstructure est reliée à celle de l'aktashite par la matrice  $\left| \begin{array}{ccc} \frac{3}{2} & \frac{1}{2} & \bar{2} \\ \bar{2} & \frac{3}{2} & \frac{1}{2} \end{array} \right| \begin{array}{c} 111 \\ \end{array}$ .

Pour  $Z = 3$  et la formule cristallographique indiquée ci-dessus, la densité calculée de l'aktashite est égale à 5,89.

Puisqu'il s'agit incontestablement d'une structure tétraédrique, nous pouvons admettre qu'elle obéisse à la règle de Grimm-Sommerfeldt, selon laquelle le rapport de la somme des produits du nombre d'atomes et du nombre d'électrons de liaison au nombre d'atomes  $y$  compris les sites vacants, doit être égal à 4.

Compte tenu du résultat d'analyse chimique, on obtient, en appliquant cette règle :

$$(7 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 5 + 14 \times 6) / (7 + 3 + 4 + 14 + 1 \square) = 117/29 = 4,03$$

où  $\square$  signifie un site vacant.

Ce schéma suppose l'existence d'un site vacant par maille qui doit obligatoirement être situé, étant donné la symétrie du minéral sur un axe ternaire. En supposant que le cuivre soit bivalent, on a :

$$(7 \times 2 + 3 \times 2 + 4 \times 5 + 14 \times 6) / (7 + 3 + 4 + 14 + 3 \square) = 124/31 = 4$$

donc un rapport égal exactement à 4, avec trois sites vacants gérés par un axe ternaire.

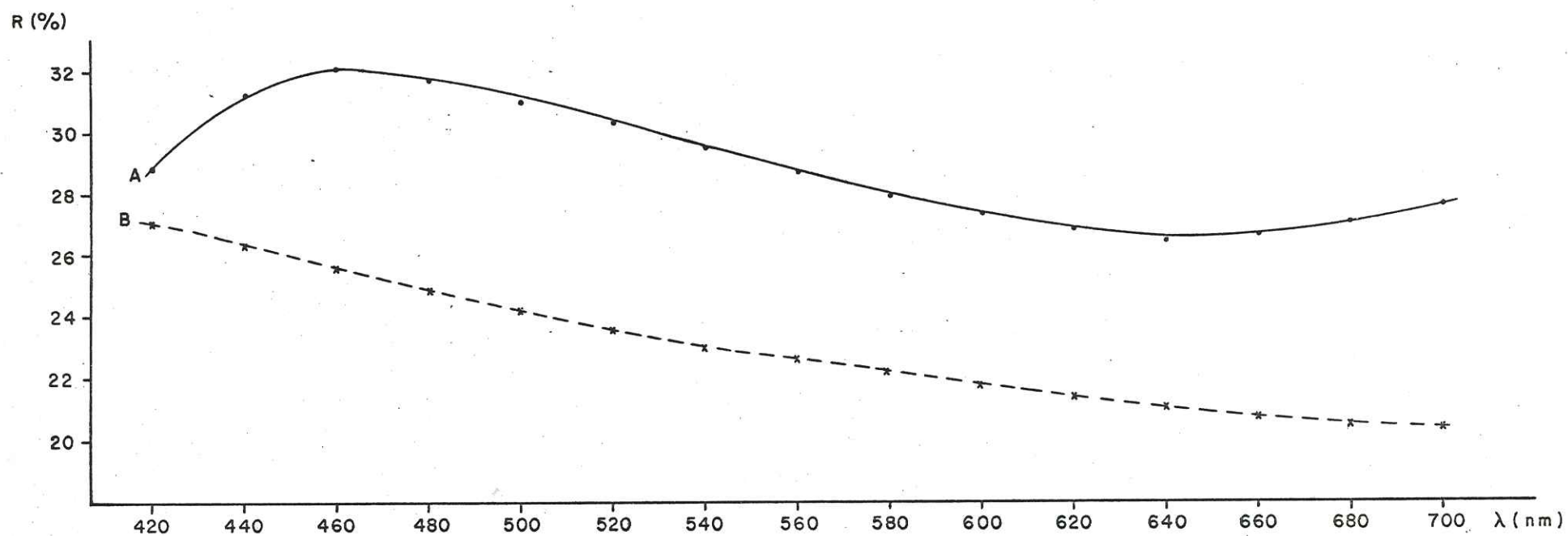
Par sa structure et sa formule chimique, l'aktashite est proche de la nowackiite, décrite par MARUMO et BURRI (1965) de Lengenbach (Binn, Suisse) et dont la structure a été déterminée par MARUMO (1967). Ce minéral, de formule  $\text{Cu}_6\text{Zn}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$ , est rhomboédrique, groupe spatial

R 3,  $a_0 = 13,44$  ;  $c_0 = 9,17$  ;  $a_{0_{rh}} = 8,34 \text{ \AA}$  ;  $\alpha = 107^\circ 20'$ . On remarque immédiatement que ces paramètres se rapprochent de ceux de l'aktashite.

D'autre part, la structure de la nowackiite est caractérisée par un site vacant par maille, conformément à la règle de Grimm-Sommerfeldt. Il est permis de se demander si l'aktashite ne représente pas simplement un analogue à mercure de la nowackiite, d'autant plus qu'un faible remplacement de Hg par Zn dans l'aktashite a été confirmé par l'analyse chimique.

Cependant, la composition chimique pour la formule  $\text{Cu}_6 (\text{Hg}_{2,5} \text{Zn}_{0,15})_3 \text{As}_4 \text{S}_{12}$  (Cu - 23,8 ; Hg - 31,3 ; Zn - 2,1 ; As - 18,7 ; S - 24,1) s'écarte nettement de celle trouvée par l'analyse à la microsonde, les différences dépassant considérablement les marges d'erreurs analytiques.

Il est évident que les relations entre ces deux espèces ainsi que la formule de l'aktashite ne pourront être résolues d'une manière définitive qu'après la détermination de la structure de ce minéral.



**Fig. 14**

A =  $\text{Ti}(\text{Sb}, \text{As})_7 \text{S}_{11}$

B =  $\text{Ti}(\text{As}, \text{Sb})_{10} \text{S}_{16}$



### PHASE $Tl(Sb, As)_7S_{11}$

Ce minéral se présente sous forme de filonnets dans le réalgar et est par conséquent nettement postérieur à ce dernier ; il compte parmi les phases les plus tardives de la minéralisation de Jas Roux.

Les filonnets dont la largeur maximale dépasse rarement 30 microns semblent se développer métasomatiquement à partir des fissures traversant les plages du réalgar (fig. VI-4). Nous n'avons jamais rencontré ce minéral en dehors du réalgar ; cela permet de penser à une relation génétique entre ces deux espèces.

Une seule fois, nous avons observé des encroûtements collomorphes à structure radiale, formés par la phase en question sur le réalgar. Malgré de multiples essais, nous n'avons pas réussi à obtenir un cliché de poudre aux rayons X de ce minéral, par suite de l'exiguité de ses plages. Nous devons donc nous contenter d'une analyse chimique réalisée à la microsonde électronique et des propriétés optiques de ce minéral.

#### Propriétés optiques

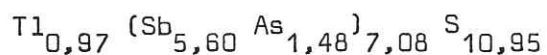
Le pouvoir réflecteur de la phase étudiée est légèrement inférieur au pouvoir réflecteur minimal de la chabournéïte, et nettement supérieur à celui du réalgar. Des mesures de pouvoir réflecteur furent effectuées sur des agrégats polycristallins et doivent être par conséquent considérés comme des mesures d'orientation (tableau 36).

La courbe des pouvoirs réflecteurs a une forme assez caractéristique avec un maximum vers 460 nm et un minimum situé à 640 nm (fig. 14).

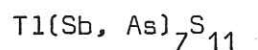
Entre nicols croisés, le minéral présente des réflexions internes rouge foncé généralisées ; il est aussi transparent que les argents rouges ou que la smithite. L'anisotropie est très faible, avec des effets de polarisation bleuâtres masqués par des réflexions internes.

### Analyse chimique

L'analyse chimique à la microsonde électronique montre une parenté de ce minéral avec la pierrotite. La teneur en thallium est nettement moins élevée, mais le rapport Sb/As = 3,80 est voisin de celui de la pierrotite (Sb/As = 3,17). La formule cristallographique déduite de l'analyse est la suivante :



ce qui donne en simplifiant :



Ce composé, inconnu jusqu'alors dans la nature, semble être, d'après les effets d'anisotropie, à l'état cristallin, ce qui n'est pas le cas d'un autre minéral décrit dans le chapitre suivant.

Il faudrait cependant s'en assurer par un examen positif aux rayons X, soit sur un matériel naturel, soit sur un produit de synthèse.

T A B L E A U 36

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA PHASE  $Tl(Sb, As)_2S_{11}$

| $\lambda$ (nm) | $R_m$ (%) | $\lambda$ (nm) | $R_m$ (%) |
|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 420            | 28,9      | 560            | 28,7      |
| 440            | 31,3      | 580            | 27,9      |
| 460            | 32,1      | 600            | 27,3      |
| 480            | 31,7      | 620            | 26,8      |
| 500            | 31,0      | 640            | 26,4      |
| 520            | 30,3      | 660            | 26,6      |
| 540            | 29,5      | 680            | 27,1      |
|                |           | 700            | 27,6      |

T A B L E A U 37

ANALYSE CHIMIQUE DE LA PHASE Tl(Sb, As)<sub>7</sub>S<sub>11</sub>

|        | 1     | 2     | 3     | 4      |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| Tl     | 14,9  | 0,073 | 0,97  | 14,50  |
| Sb     | 51,4  | 0,422 | 5,60  | 60,48  |
| As     | 8,4   | 0,112 | 1,48  |        |
| S      | 26,5  | 0,829 | 10,95 | 25,02  |
| Totaux | 101,2 | 1,436 | 19    | 100,00 |

- 1 - Analyse à la microsonde électronique (témoins TlAsS<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes calculé sur la base d'un total de 19 atomes par unité formulaire
- 4 - Composition théorique pour TlSb<sub>7</sub>S<sub>11</sub>

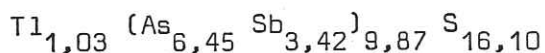


### PHASE Tl(As, Sb)<sub>10</sub>S<sub>16</sub>

GUILLEMIN et al (1970) signalent la présence d'un minéral amorphe paraissant assez fréquent, et qui, dans certains échantillons, accompagne la pierrotite. Or, notre étude systématique de la minéralisation montre qu'il s'agissait plutôt d'une accumulation locale exceptionnelle dans les échantillons types de la pierrotite ; en effet, nous n'avons jamais retrouvé cette phase ailleurs. C'est un produit isotrope à pouvoir réflecteur nettement inférieur à ceux de la pierrotite et de la phase Tl(Sb, As)<sub>7</sub>S<sub>11</sub>.

En lumière doublement polarisée, les réflexions internes rouges sont massives. La microdureté est de 115 kg/mm<sup>2</sup> (P = 50 g) (GUILLEMIN et al, 1970). Un examen aux rayons X a mis en évidence l'état amorphe de cette phase.

Une analyse chimique fut réalisée à la microsonde électronique, dont le résultat est donné dans le tableau 38. La teneur en thallium est encore plus faible que dans la phase Tl(Sb, As)<sub>7</sub>S<sub>11</sub>. Par contre, la teneur en arsenic devient importante ; As est prépondérant en nombre d'atomes par rapport à l'antimoine. L'analyse chimique conduit à la formule cristallographique suivante :



Il n'est pas exclu que le caractère amorphe de cette phase soit dû à la prépondérance de l'arsenic dans sa constitution chimique. En effet, des essais de synthèse, réalisés par Mme MAUREL au C.N.R.S. Orléans, ont démontré que, dans le système Tl-Sb-As-S, les termes antimoniés cristallisent très facilement, mais que par contre, les termes arseniés demeurent amorphes dans les mêmes conditions opératoires.

T A B L E A U 38

ANALYSE CHIMIQUE DE LA PHASE Tl(As, Sb)<sub>10</sub>S<sub>16</sub>

|        | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| Tl     | 12,8 | 0,063 | 1,03  | 13,9  | 10,6  |
| Sb     | 25,4 | 0,209 | 3,42  |       | 62,9  |
| As     | 29,7 | 0,395 | 6,45  | 51,1  |       |
| S      | 31,5 | 0,984 | 16,10 | 35,0  | 26,5  |
| Totaux | 99,4 | 1,651 | 27    | 100,0 | 100,0 |

- 1 - Résultats d'analyse à la microsonde électronique (témoins : TlAsS<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total de 27 atomes
- 4 - Composition théorique pour TlAs<sub>10</sub>S<sub>16</sub>
- 5 - Composition théorique pour TlSb<sub>10</sub>S<sub>16</sub>

## WAKABAYASHILITE

La wakabayashilite est un minéral très rare, connu jusqu'à présent dans quatre gisements au monde ; elle a été décrite par KATO et al (1970) de Nashinomaki (Japon) et de White Caps, Manhattan (Nevada, U.S.A.).

GRUZDEV et al (1972) signalent la wakabayashilite dans les gisements d'Ak-Tash et Ghal-Khai (Yakoutie, U.R.S.S.). Jas Roux est donc le cinquième gisement de cette espèce minérale. La wakabayashilite s'y trouve principalement associée à la smithite et à la stibine en filonnets de quelques centimètres d'épaisseur. Elle forme des agrégats de cristaux fibreux approximativement perpendiculaires aux parois de ces filonnets. La largeur maximale des fibres est de 5 mm environ. Macroscopiquement, la couleur est jaune orange, comparée au jaune de l'orpiment. A la différence de celui-ci, la poussière de la wakabayashilite a une couleur brune.

### Propriétés optiques

En lumière réfléchie, la couleur est gris-bleuâtre avec une teinte brunâtre dans l'huile, par rapport à la smithite ou à la chabournéite. Le pouvoir réflecteur est nettement inférieur à tous les minéraux métalliques associés à l'exception du réalgar, comparable à celui de l'orpiment comme le montre la figure 15.

Le pléochroïsme est très faible dans les sections parallèles à c, non observable dans celles perpendiculaires à c, même dans l'huile.

Des mesures de pouvoir réflecteur, consignées dans le tableau 39 ont été obtenues sur la section parallèle à c.

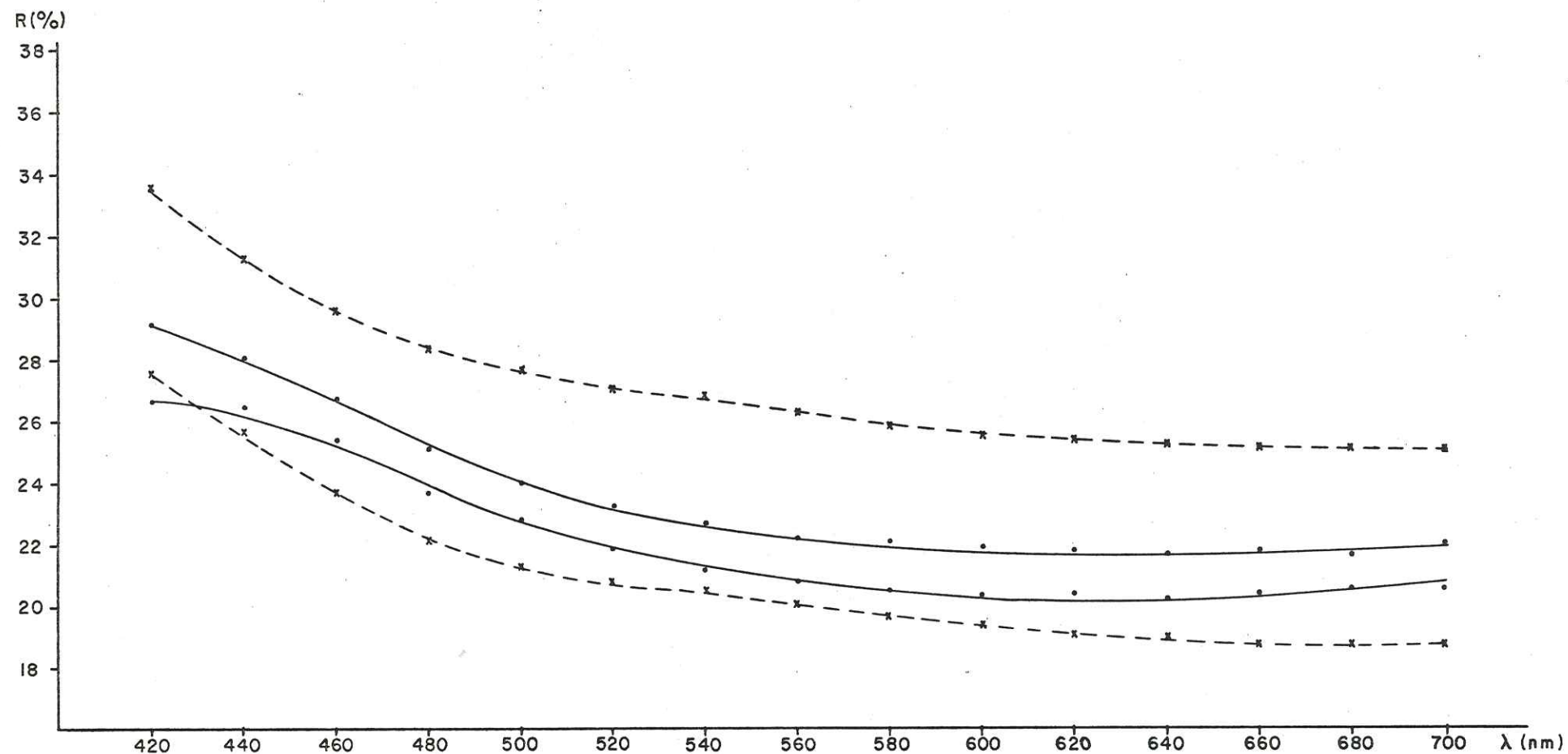
Entre nicols croisés, l'anisotropie est très faible, masquée par des réflexions internes jaune citron généralisées ; nous n'avons pas observé de macles ; par contre, un clivage parallèle à c est bien visible.

TABLEAU 39

POUVOIRS REFLECTEURS DE LA WAKABAYASHILITE

| $\lambda$ (nm) | $R_{\max}$ (%) | $R_{\min}$ (%) |
|----------------|----------------|----------------|
| 420            | 30,0           | 26,6           |
| 440            | 28,0           | 26,5           |
| 460            | 26,7           | 25,4           |
| 480            | 25,1           | 23,7           |
| 500            | 24,0           | 22,8           |
| 520            | 23,3           | 21,9           |
| 540            | 22,7           | 21,2           |
| 560            | 22,2           | 20,8           |
| 580            | 22,1           | 20,5           |
| 600            | 21,9           | 20,4           |
| 620            | 21,8           | 20,4           |
| 640            | 21,6           | 20,2           |
| 660            | 21,8           | 20,4           |
| 680            | 21,6           | 20,5           |
| 700            | 22,0           | 20,5           |





**Fig.15**

— Wakabayashilite J. Roux  
- - - Orpiment Luceram

KATO et al (1970) indiquent les clivages suivants : (100), (010) et (101).

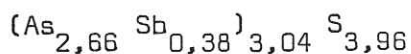
La microdureté mesurée pour  $P = 25$  g sur les agrégats de fibres (section parallèle à  $c$ ) est de  $70 \text{ kg/mm}^2$ . Les empreintes sont déformées par suite du clivage parfait mentionné ci-dessus. Il en résulte que les valeurs varient considérablement de 64 à  $78 \text{ kg/mm}^2$ .

#### Etude chimique

KATO et al (1970) attribuent à la wakabayashilite une formule chimique  $(\text{As}, \text{Sb})_{11}\text{S}_{18}$ , en se basant sur les analyses à la microsonde que nous reportons dans le tableau 40. Dans ce même tableau, nous donnons le résultat d'une analyse de la wakabayashilite de Jas Roux, à la microsonde électronique qui diffère sensiblement des leurs, en particulier en teneur en soufre.

Cette dernière a été vérifiée sur plusieurs plages et les résultats obtenus sont très concordants, les variations ne dépassant pas 0,8 %.

En admettant un remplacement mutuel de Sb par As, l'analyse de la wakabayashilite de Jas Roux (tableau 40) conduit à une formule beaucoup plus simple que celle donnée par KATO et al (1970), à savoir :



ce qui donne en simplifiant :  $(\text{Sb}, \text{As})_3\text{S}_4$ .

#### Etude radiocristallographique

D'après KATO et al (1970), la wakabayashilite est monoclinique, pseudo-hexagonale avec :

$$a_0 = 25,17 \text{ \AA}$$

$$b_0 = 6,48$$

$$c_0 = 25,24$$

$$\beta = 120^\circ 00'$$

# TABLEAU 40

## ANALYSES CHIMIQUES DE LA WAKABAYASHILITE

|        | A    |        |      | B    |      |
|--------|------|--------|------|------|------|
|        | 1    | 2      | 3    |      |      |
| As     | 53,1 | 0,7088 | 2,66 | 52,3 | 54,5 |
| Sb     | 12,2 | 0,1002 | 0,38 | 8,3  | 5,7  |
| S      | 33,9 | 1,0572 | 3,96 | 39,0 | 39,5 |
| Totaux | 99,2 | 1,8662 | 7    | 99,5 | 99,7 |

A - Wakabayashilite Jas Roux

- 1 - Analyse à la microsonde électronique (témoins :  $\text{TlAsS}_2$  ;  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )
- 2 - Rapports atomiques
- 3 - Nombre d'atomes par unité formulaire calculé sur la base d'un total de 7 atomes

B - Wakabayashilite White Caps, Manhattan, U.S.A. ; analyses à la microsonde électronique (KATO et al, 1970)

Nous avons indexé le diagramme de poudre de la wakabayashilite de Jas Roux avec une maille hexagonale dont les paramètres sont :

$$a_o = 25,252 \pm 0,005 \text{ \AA}$$

$$c_o = 6,481 \pm 0,002$$

$$V = 3579 \pm 2 \text{ \AA}^3$$

Pour la formule cristallographique  $(\text{As}_{2,7} \text{Sb}_{0,3})_3 \text{S}_4$  et  $Z = 24$ , la densité calculée est :  $d_x = 4,061$ .

Cette valeur est en excellent accord avec la densité mesurée donnée par KATO et al (1970) :  $d_{\text{mes}} = 3,96$ .

Par son diagramme de poudre, la wakabayashilite se distingue aisément de l'orpiment.



## DIAGRAMME DE POUDRE DE LA WAKABAYASHILITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| I   | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hk1           |
|-----|------------------|-------------------|---------------|
| 2   | 12,6 Å           | 12,6 Å            | 11.0          |
| 10  | 6,31             | 6,312             | 22.0          |
| 7   | 5,756            | 7,763             | 11.1          |
| 7   | 4,774            | 4,772             | 41.0          |
| 2   | 4,480            | 4,522             | 22.1          |
| 1   | 4,219            | 4,208             | 33.0          |
| 1   | 4,027            | -                 | -             |
| 6   | 3,847            | 3,844             | 41.1          |
| 10  | 3,500            | 3,500             | 52.0          |
| 8   | 3,242            | 3,241             | 00.2          |
| 3   | 3,153            | 3,156             | 44.0          |
| 7   | 3,081            | 3,080             | 52.1          |
| 3   | 2,891            | 2,896             | 71.0          |
| 2   | 2,834            | 2,838             | 44.1          |
| 4   | 2,757            | 2,755             | 63.0          |
| 1   | 2,639            | 2,644             | 71.1          |
| 4   | 2,567            | 2,567             | 33.2          |
| 5   | 2,533            | 2,535             | 63.1          |
|     |                  | 2,525             | 55.0          |
| 7   | 2,429            | 2,430             | 90.0          |
|     |                  | 2,422             | 60.2          |
| 5   | 2,239            | 2,239             | 82.1          |
| 5   | 2,138            | 2,140             | 74.1          |
| 2   | 2,070            | 2,071             | 10.1.0        |
| 3   | 2,024            | 2,022             | 30.3          |
| 3   | 1,925            | 1,925             | 93.0          |
|     |                  | 1,922             | 33.3          |
|     |                  | 1,921             | 82.2          |
| 6   | 1,846            | 1,846             | 85.1          |
| 2   | 1,821            | 1,822             | 12.0.0        |
| 2   | 1,737            | 1,738             | 77.1 ; 11.2.1 |
| 2 ~ | 1,703            | 1,700             | 63.3          |
| 4   | 1,670            | 1,672             | 96.0          |
| 3   | 1,619            | 1,620             | 00.4          |
|     |                  | 1,619             | 96.1          |
| 8   | 1,590            | 1,590             | 12.3.0        |

~ raie diffuse

## REALGAR

Le réalgar est un des minéraux les plus abondants de la minéralisation de Jas Roux. Il se présente d'une part, en accumulations locales, massives, souvent associées aux sulfo-antimoniures de thallium et à la stibine mais, parfois indépendant de celles-ci ; d'autre part, il remplit des fissures dans la roche encaissante, formant parfois des placages extrêmement minces.

Cependant, la répartition du réalgar dans les compartiments du Trias est irrégulière. En effet, il se concentre dans des zones préférentielles comportant le plus souvent la minéralisation en Sb, Tl, Hg et Ag.

Dans le compartiment n° 2 du Trias, la partie la plus riche en réalgar est située près du contact avec le cristallin.

Nous n'avons pas observé de cristaux de réalgar. Celui-ci se présente toujours en agrégats polycristallins dont la couleur varie de rouge foncé à rouge orangé ; il ne nous a pas été possible d'expliquer ces variations de couleur.

Nous avons pensé que ces différences pouvaient être dues à la présence de deux formes de AsS, étudiées par ROLAND (1972), mais l'examen aux rayons X a toujours démontré la forme de basse température (réalgar).

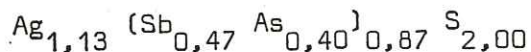
L'analyse qualitative à la microsonde électronique n'a pas révélé, dans le réalgar, des teneurs en Tl et Hg supérieures à 0,1 % environ, décelables à la microsonde. Il renferme par contre une faible quantité d'antimoine ; la valeur moyenne des dosages est de 0,6 % de Sb. Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature, de données concernant la teneur en antimoine dans le réalgar.

PHASE Ag(Sb, As)S<sub>2</sub>

Ce minéral semble résulter d'un remplacement métasomatique de la smithite par la routhiérîte, à laquelle il est toujours associé. Par ses propriétés optiques, il ressemble beaucoup à la stibine. Toutefois, malgré une forte anisotropie, les teintes de polarisation sont moins colorées que pour la stibine, allant d'un gris foncé à un blanc-bleuâtre. Le pléochroïsme est intense, de blanc pur à gris, observable dans l'air. Nous n'avons pas observé de réflexions internes, même dans l'huile. Le pouvoir réflecteur est comparable à celui de la stibine ; par suite de l'exiguité des plages, des mesures de pouvoir réflecteur n'ont pu être réalisées.

Une analyse quantitative a été effectuée à la microsonde électronique, dont le résultat est donné dans le tableau 43.

Elle conduit à la formule cristallogénique suivante :



Cette formule situe le minéral en question au milieu de la série AgSbS<sub>2</sub> - AgAsS<sub>2</sub>. Le terme antimonié correspond à la miargyrite, celui arsenié à la smithite ou à la trechmannite. Cependant, les caractères optiques sont nettement différents de ces trois espèces.

Malheureusement, la taille des plages n'a pas permis d'obtenir un diagramme de poudre aux rayons X.

TABLEAU 43

ANALYSE CHIMIQUE DE LA PHASE  $\text{Ag}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_2$ 

|        | 1    | 2     | 3    |
|--------|------|-------|------|
| Ag     | 44,5 | 0,413 | 1,13 |
| Sb     | 20,7 | 0,170 | 0,47 |
| As     | 11,0 | 0,147 | 0,40 |
| S      | 23,3 | 0,728 | 2,00 |
| Totaux | 99,5 | 1,458 | 4    |

1 - Analyse à la microsonde électronique  
(témoins :  $\text{TlAsS}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{AgAsS}_2$ )

2 - Rapports atomiques

3 - Nombre d'atomes par unité formulaire  
calculé sur la base d'un total de 4  
atomes



## ORPIMENT

L'orpiment n'a été observé que rarement, associé au réalgar et aux sulfo-antimoniures de thallium. A la différence de la wakabayashilite, toujours fibreuse, il se présente en lames.

### VALENTINITE

La valentinite est le seul minéral oxydé, directement associé à la minéralisation sulfurée. Elle se présente sous forme d'agrégats sphérolitiques à structure radiée, de couleur blanc cireux, toujours situés dans les diaclasses ouvertes. Ces agrégats ne dépassent jamais un à deux millimètres de diamètre et se trouvent soit directement associés à des sulfures, soit à proximité (toujours dans la zone minéralisée) de ces derniers.

La détermination de la valentinite fut effectuée aux rayons X par la méthode Debye-Scherrer. Son diagramme de poudre, donné dans le tableau 42 a été indexé avec les paramètres suivants :

$$a_o = 4,903 \pm 0,004 \text{ \AA}$$

$$b_o = 12,378 \pm 0,008$$

$$c_o = 5,425 \pm 0,004$$

Ceux-ci sont très proches des valeurs données pour le  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  synthétique. Nous n'avons effectué aucune analyse chimique de ce minéral.

Il est à remarquer que la valentinite, bien qu'associée à la stibine ou à des sulfo-antimoniures, ne s'est pas formée directement sur ces derniers. On peut déduire de son indépendance que sa formation n'est pas due simplement à des processus d'oxydation directe des sulfures d'antimoine, mais que l'on doit supposer des processus conduisant à un transport partiel de l'antimoine (dans une phase hydrothermale tardive ?).

T A B L E A U 42

DIAGRAMME DE POUDRE DE LA VALENTINITE

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence,  
intensités relatives de 1 à 10

| I   | d <sub>mes</sub> | d <sub>calc</sub> | hkl |
|-----|------------------|-------------------|-----|
| 5   | 4,56 Å           | 4,560 Å           | 110 |
| 5   | 3,485            | 3,492             | 111 |
| 10  | 3,133            | 3,158             | 130 |
|     |                  | 3,096             | 140 |
| 3   | 2,730            | 2,730             | 131 |
| 3   | 2,697            | 2,713             | 002 |
| 4   | 2,636            | 2,650             | 012 |
| 4   | 2,455            | 2,451             | 200 |
| 2   | 2,267            | 2,267             | 032 |
| 1   | 2,196            | 2,199             | 211 |
| 2   | 2,138            | -                 | -   |
| 4   | 2,052            | 2,048             | 151 |
| 4   | 2,042            | 2,041             | 042 |
| 2   | 1,969            | 1,965             | 231 |
| 6   | 1,928            | 1,922             | 240 |
| 1   | 1,887            | 1,884             | 142 |
| 2   | 1,829            | 1,829             | 052 |
| 8   | 1,803            | 1,796             | 161 |
| 3   | 1,676            | 1,664             | 170 |
| 3   | 1,666            | 1,664             | 232 |
| 2   | 1,624            | 1,620             | 310 |
| 1   | 1,596            | 1,591             | 171 |
| 5 ~ | 1,566            | 1,568             | 242 |
|     |                  | 1,569             | 133 |
|     |                  | 1,548             | 080 |
| 5   | 1,520            | 1,516             | 261 |

~ raie diffuse

#### 4.3 - MINERAUX SECONDAIRES

L'altération de la pyrite donne naissance au gypse que l'on observe en abondance sur les parois de la zone minéralisée. Il forme des efflorescences de cristaux millimétriques blancs ou légèrement jaunâtres, colorés dans ce cas par des oxydes de fer. Ces derniers sont également abondants, représentés par la goethite, formant parfois de petites sphérolites.

Les sulfo-antimoniures de thallium sont souvent recouverts d'une pellicule jaune-verdâtre, laquelle s'est révélée amorphe aux rayons X.

PIERROT et al (1972) signalent la présence de kermésite et de pharmacosidélite.



#### 4.4 - MINERAUX DE LA GANGUE

Nous résumons, dans ce chapitre, succinctement, les observations déjà signalées dans l'étude pétrographique. Une forte silicification hydrothermale a donné naissance aux jaspes recristallisés. D'autre part, on trouve le quartz en cristaux millimétriques bien développés dans les diaclasses minéralisées. De petits filonnets de quartz sont particulièrement fréquents dans les gneiss cataclasés aux abords de la zone minéralisée.

Par endroits, la gangue devient barytique ; c'est plus particulièrement le cas du compartiment n° 2 où la barytine avec la blende forme un niveau concordant à la stratification résultant d'un remplacement métasomatique des roches du Trias.

De même que pour le quartz, on trouve rarement des diaclasses ouvertes, tapissées de cristaux tabulaires millimétriques de barytine.

Les analyses au quantomètre ont démontré une teneur considérable en strontium, des zones enrichies en barytine ; ceci permet de déduire que cette dernière renferme des quantités importantes de Sr.

Comme il résulte de l'étude en lames minces, la barytine est postérieure à la phase principale de silicification hydrothermale.

Outre la calcite d'origine sédimentaire, on observe de nombreuses diaclasses remplies de calcite blanc laiteux ; il est difficile de préciser si celle-ci est d'origine diagénétique ou hydrothermale. Notons cependant que dans les diaclasses minéralisées, la calcite en scalénoèdres devient très fréquente. On peut donc supposer qu'elle est partiellement liée à la minéralisation.

## CHAPITRE V

### SUCCESION DE CRISTALLISATION

La phase minéralisatrice précoce commence par un dépôt de pyrite. Le développement de cette dernière dépend largement du caractère pétrographique de la roche encaissante. En effet, il semble que les intercalations schisteuses ont formé un écran imperméable aux solutions minéralisatrices.

La pyrite a un caractère épithermal par son chimisme (sa teneur élevée en thallium) ainsi que par sa tendance à former des structures collomorphes, en admettant le rôle des colloïdes dans la formation de ces dernières.

Il est à souligner qu'à Jas Roux, nous n'avons pu mettre en évidence qu'une seule génération de pyrite hydrothermale. Sa cristallisation précoce indique un épuisement rapide des solutions minéralisatrices en fer.

La cristallisation de la blende vient ensuite ; la pauvreté des solutions en Fe et la température de cristallisation relativement basse, expliquent la faible teneur en fer d'une part, et une teneur considérable en cadmium d'autre part.

L'antériorité de la pyrite par rapport à la blende est prouvée par l'enrobage de la première de ces espèces dans la seconde. Aucune trace d'un remplacement métasomatique de la pyrite par la blende n'est visible. Les observations sur le terrain permettent de conclure qu'il n'y a pas de rapports génétiques obligatoires entre ces minéraux ; ils représentent donc deux épisodes minéralisateurs indépendants.

La phase minéralisatrice suivante est caractérisée par la présence du plomb, représenté dans l'ordre de cristallisation par :

twinnite, phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ , zinckénite et andorite. Tous ces minéraux sont incontestablement postérieurs à la blende qui se trouve remplacée par ceux-ci et antérieurs à la phase thallifère et à la cristallisation de stibine. A l'exception de l'andorite, ces minéraux font partie du système ternaire  $\text{PbS} - \text{As}_2\text{S}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$  étudié par WALIA et CHANG (1973). En situant la composition chimique des minéraux de Jas Roux sur le diagramme de ce système, (fig. 16) on constate que l'ordre de cristallisation obéit à deux facteurs : l'augmentation du rapport  $\text{Sb}/\text{As}$  et la diminution de la teneur en plomb.

Ainsi, la première phase déposée est la twinnite, la plus riche en arsenic de cette association. Ensuite, un appauvrissement rapide en arsenic conduit à la formation du minéral  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ .

Sur la figure 16, on voit que l'évolution des solutions hydrothermales suit un vecteur approximativement parallèle au côté  $\text{PbS} - \text{As}_2\text{S}_3$  du diagramme ternaire.

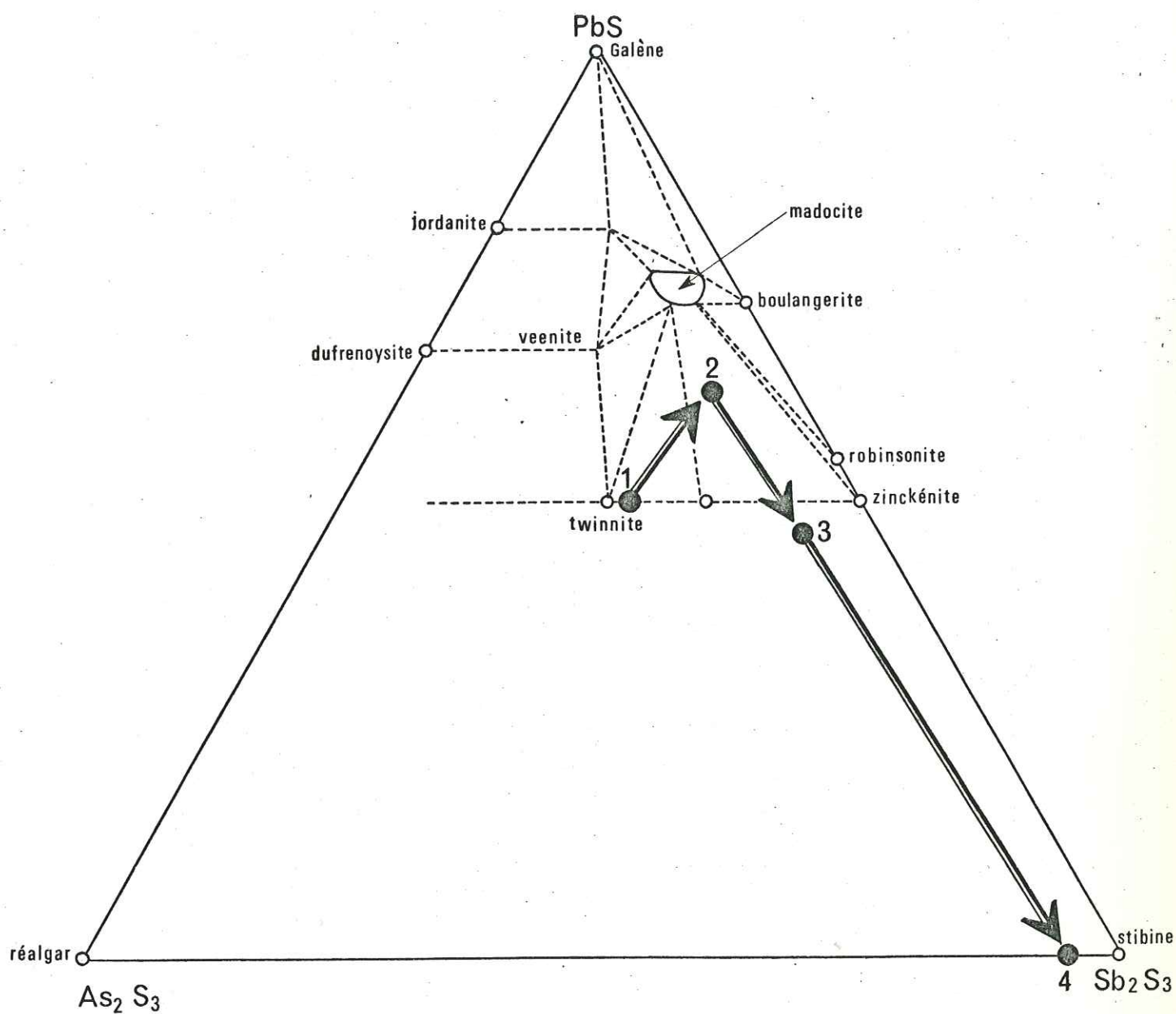
Il s'agit donc d'une évolution à teneur en  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  constante, la phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  étant la plus riche en plomb.

Le diagramme ternaire (fig. 16) explique également l'absence de galène, de boulangérite et de robinsonite dans la paragenèse de Jas Roux. En effet, pour les deux premiers minéraux cités, la concentration en plomb des solutions minéralisatrice, était trop faible. Quant à la robinsonite, son absence s'explique par la teneur en arsenic trop élevée, son domaine de stabilité se rétrécissant très rapidement avec une augmentation de la teneur en arsenic (fig. 16).

La cristallisation de  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ , marque le point d'un renversement dans l'évolution de la minéralisation qui s'enrichit ensuite en antimoine, donnant naissance à la zinckénite, la phase la plus antimonifère du système binaire  $\text{PbS} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ .

Les relations entre les minéraux discutés sont illustrées par les photographies 1 à 4 de la planche II. D'une manière générale, on





→ ordre de cristallisation

- 1 - twinnite
- 2 - phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb,As})_2\text{S}_3$
- 3 - zinckénite
- 4 - stibine

**Fig.16**



observe le phénomène du remplacement métasomatique intense des phases existantes par les phases ultérieures.

Avant la cristallisation de la stibine, il apparaît que les solutions minéralisatrices se sont enrichies en argent, permettant la formation de l'andorite.

On peut supposer qu'il s'agit d'une concentration progressive due à la formation d'une phase riche en plomb (phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ ) conduisant à des solutions résiduelles dans lesquelles la teneur en argent était beaucoup trop élevée pour s'intégrer dans la zinckénite cristallisant ensuite.

En effet, les analyses de la phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  montrent que l'argent était présent dans les solutions hydrothermales bien avant le stade final de cet épisode minéralisateur.

Soulignons enfin que le rapport molaire  $(\text{PbS} + \text{Ag}_2\text{S})/\text{Sb}_2\text{S}_3$  de l'andorite est égal à 1, identique au rapport  $\text{PbS}/\text{Sb}_2\text{S}_3$  de la zinckénite. Ceci explique l'intervalle de cristallisation très rapproché de ces deux espèces.

Toutefois, l'andorite caractérisée par un rapport Sb/As plus élevé et par son caractère interstitiel en sections polies, s'est formée la dernière.

Il est intéressant de noter que jusqu'à présent, notre description de la minéralisation de Jas Roux rappelle, dans son ensemble, la succession typique des gisements Pb - Zn qui est :

Pyrite  $\longrightarrow$  Blende  $\longrightarrow$  Galène.

Dans notre cas, le plomb, habituellement représenté sous forme de galène, est exprimé par une série de sulfo-antimoniures de plomb.

L'épuisement total des solutions hydrothermales en plomb amène à la formation de la stibine. Celle-ci renferme une teneur considérable

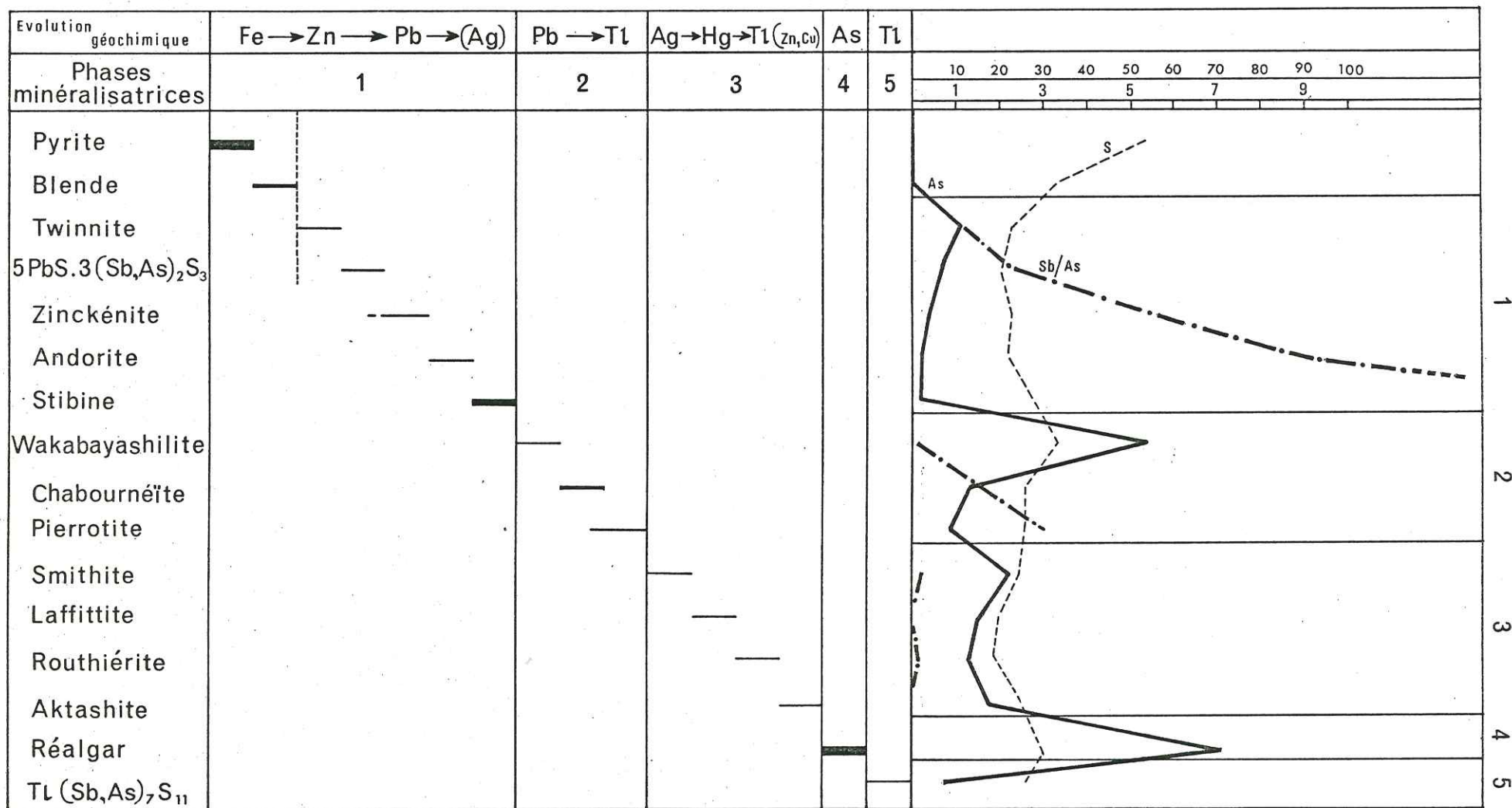


Fig. 17

en arsenic qui la situe dans le diagramme ternaire  $PbS - Sb_2S_3 - As_2S_3$ , sur une droite reliant la phase  $5PbS.3(Sb, As)_2S_3$  et la zinckénite. Ceci prouve une évolution continue du chimisme des solutions hydrothermales et l'appartenance de la stibine à la phase minéralisatrice à sulfo-antimoniures de plomb.

La cristallisation de la stibine correspond à un changement important dans l'évolution géochimique de la minéralisation de Jas Roux. En effet, les phases minéralisatrices postérieures sont caractérisées par Tl, Hg et particulièrement par l'arsenic.

La deuxième phase minéralisatrice commence par un dépôt de wakabayashilite. Le chimisme de ce minéral montre bien une discontinuité dans l'évolution de la minéralisation : la prépondérance d'antimoine à la fin de la première phase minéralisatrice ( $Sb/As \sim 16$  dans la stibine) disparaît au profit de la prédominance de l'arsenic ( $Sb/As = 0,07$  dans la wakabayashilite).

De même que pour la première phase minéralisatrice, l'ordre de cristallisation évolue vers des rapports  $Sb/As$  de plus en plus élevés. Cependant, le rapport final  $Sb/As$  de la deuxième phase est beaucoup plus bas que celui de la première phase. L'antériorité de la wakabayashilite par rapport à la chabournéite, est incontestable comme le montre la photographie n° 4 de la planche VI.

L'épisode thallifère représenté par la chabournéite, la pierrotite et la clinopierrotite, est postérieur à la stibine car celle-ci est remplacée par les deux premiers de ces minéraux. Ce remplacement se produit le plus souvent suivant le plan de clivage de  $Sb_2S_3$  (Planche III - 3 et 4).

Il convient de signaler dès maintenant que la position de la clinopierrotite dans la succession minérale n'a pu être établie par suite de sa rareté dans le gisement. Nous avons seulement observé qu'elle est antérieure au réalgar, de même que les deux autres sulfo-antimoniures de thallium.

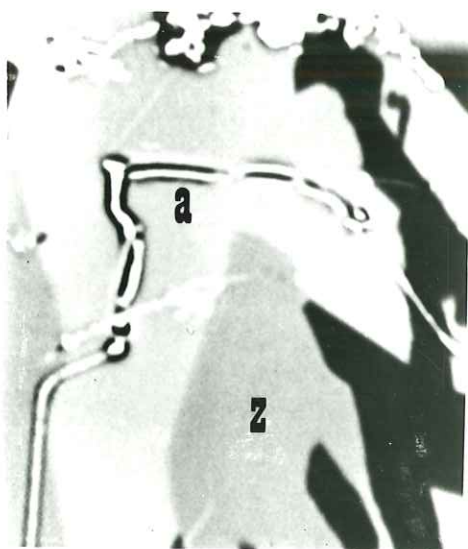
## PLANCHE I

- Répartition de l'argent, visualisé par balayage à la microsonde électronique, d'une association intime de zinckénite (z), andorite (a), phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb, As})_2\text{S}_3$  (noire) et de blende (b).

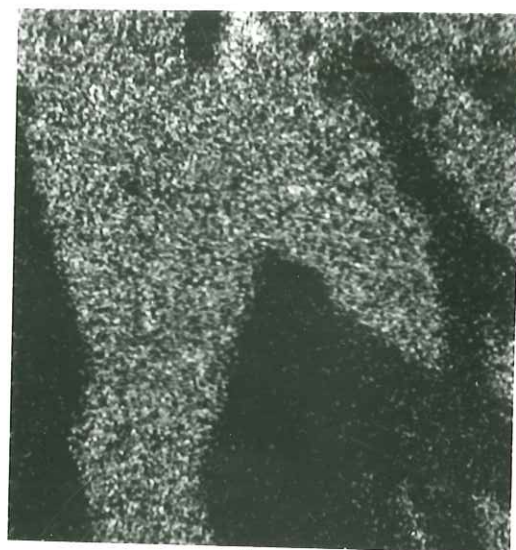
Le côté des photographies mesure 150 microns.



# PLANCHE I

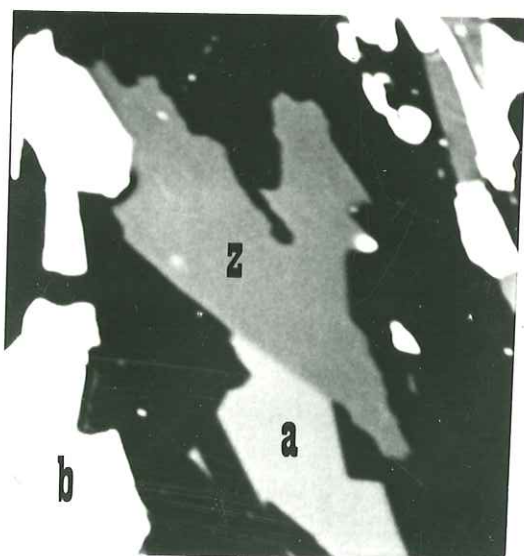


$e^+$



Ag

150  $\mu$



$e^+$



Ag

150  $\mu$

PLANCHE II

- 1 - Agrégat maclé de twinnite (tw) associé à la blende (plages à réflexions internes abondantes)

Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

- 2 - Les plages de twinnite (tw) sont remplacées par des agrégats fins, constitués de cristaux aciculaires à orientation préférentielle de la phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  (d)

Par endroits, ce remplacement se fait suivant les plans de macle de la twinnite. Plages de blende à réflexions internes abondantes.

Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

- 3 - Cristaux automorphes de zinckénite (z) dans la stibine (st). On aperçoit des macles complexes dans la zinckénite.

Le cristal aciculaire, au centre de la photographie, est une coupe approximativement parallèle à l'axe c, d'un cristal aplati de zinckénite. Quelques cristaux de pyrite se trouvent à gauche, en bordure de la photographie.

Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

- 4 - Remplacement métasomatique de la zinckénite (z) par la stibine (st).

Ce remplacement se produit suivant les joints des grains et suivant les directions des macles de la zinckénite.

Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.



# PLANCHE II



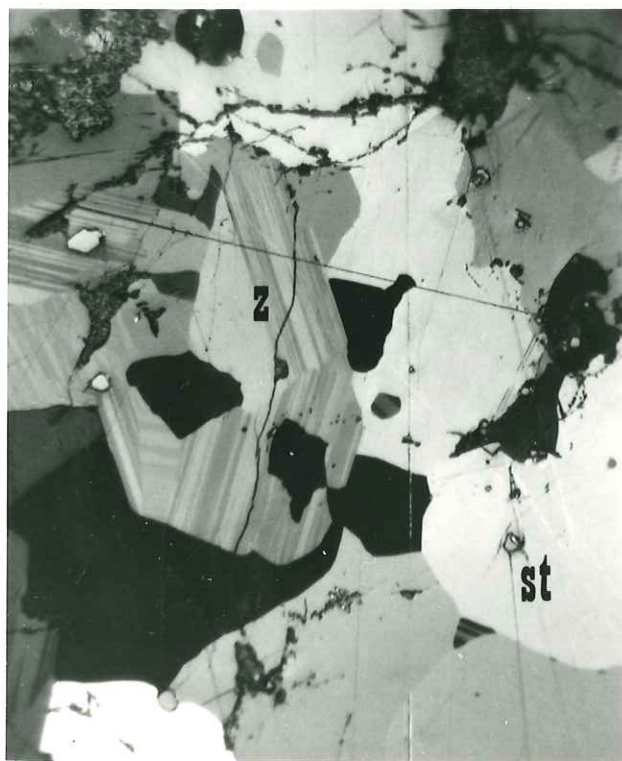
1



2



3



4

### PLANCHE III

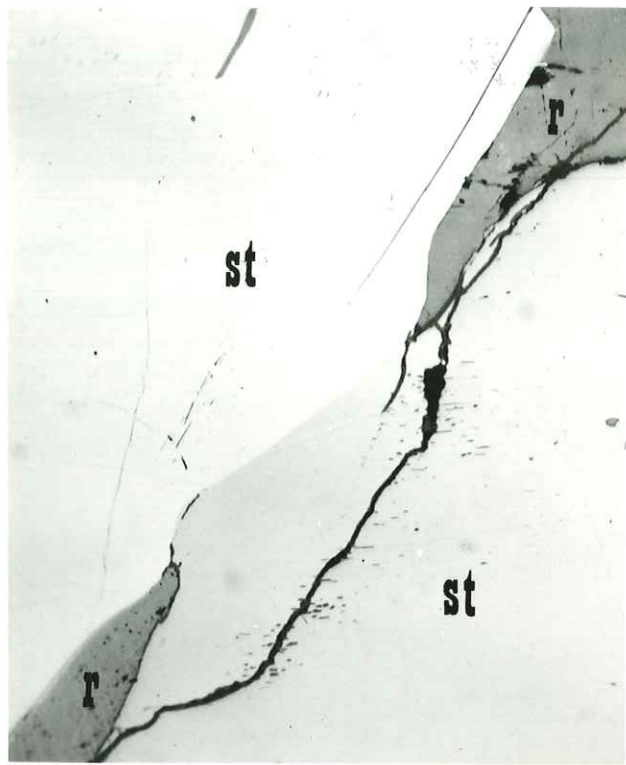
- 1 - Association intime de la phase  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb,As})_2\text{S}_3(\text{d})$ , de la zinckénite (z) et de l'andorite (a). La plage d'andorite avec des macles triangulaires a un caractère interstitiel par rapport aux minéraux environnants.  
Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.
- 2 - Remplacement de la stibine (st) par le réalgar (r) suivant les joints des grains.  
Section polie, lumière non analysée, X 160.
- 3 - Remplacement de la stibine (st) par le réalgar (r) suivant le plan de clivage dont les traces sont bien visibles. Quelques petites plages de chabournéite (gris clair) associée au réalgar.  
Section polie, lumière non analysée, X 160.
- 4 - Cette photographie montre de nouveau un remplacement de stibine (st) par le réalgar (r) suivant le plan de clivage. On aperçoit la progression du remplacement de la stibine sur deux plages de chabournéite (ch). La forme de celle de droite laisse deviner un développement suivant le plan de clivage de la stibine, tandis que celle du milieu a des formes irrégulières ne respectant plus la direction du clivage.  
Section polie, lumière non analysée, X 160.



# PLANCHE III



1



2



3

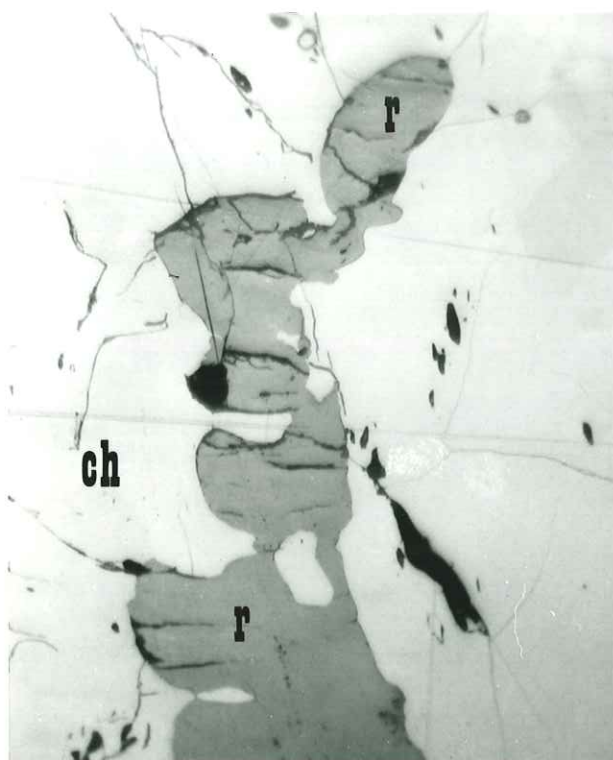


4

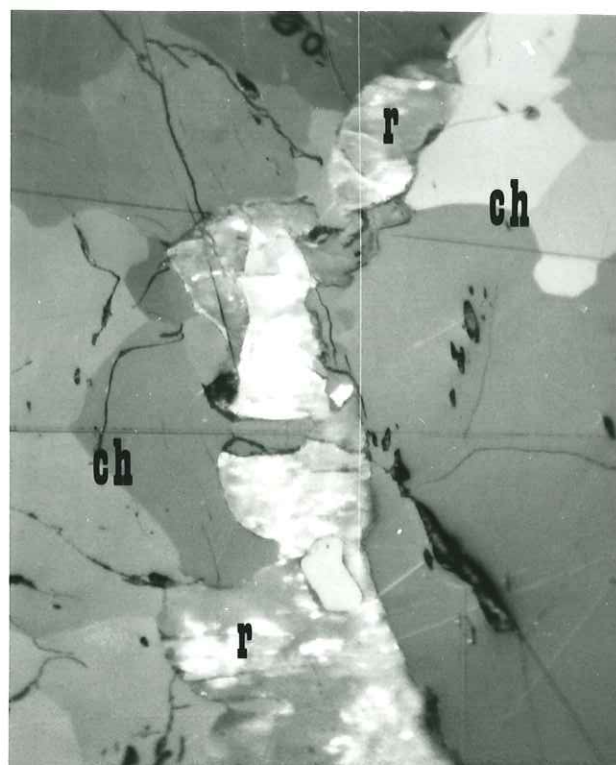
#### PLANCHE IV

- 1 - Remplacement de chabournéite (ch) par le réalgar (r)  
Section polie, lumière non analysée, X 160.
- 2 - Le même endroit vu en lumière doublement polarisée. Ceci met en évidence que le remplacement se fait suivant les joints des grains de la chabournéite (ch). Le réalgar (r) présente des réflexions internes généralisées.  
Section polie, lumière doublement polarisée, X 160.
- 3 - Structure de remplacement de la chabournéite (ch) par la pierrotite (pi). Ce remplacement se développe à partir des fissures dans la chabournéite.  
Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.
- 4 - Remplacement de la bordure d'une plage de chabournéite (ch) par la pierrotite (pi).  
Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

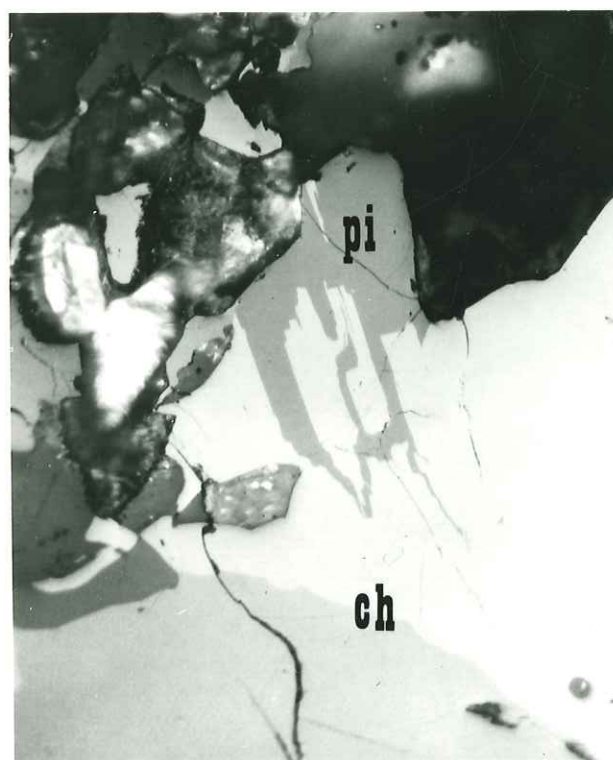
# PLANCHE IV



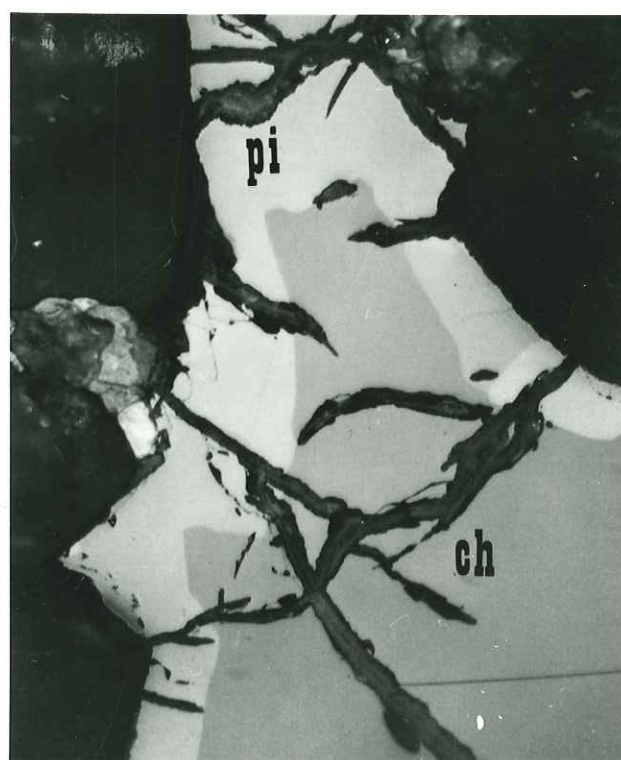
1



2



3



4



## PLANCHE V

- 1 - Nous voyons de nouveau le remplacement d'une grande plage monocristalline de chabournéite (ch) par un agrégat de pierrotite (pi). Remarquons un reste de chabournéite de même orientation optique que la grande plage dans la pierrotite.

Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

- 2 - Plages de routhiérite (rou), éparses dans une gangue quartzeuse (réflexions internes abondantes). On observe de fines lamelles des macles polysynthétiques permettant de distinguer la routhiérite de la laffittite.

Section polie, lumière doublement polarisée, X 160.

- 3 - Une grande plage de smithite (sm), associée au réalgar (r) est remplacée par la routhiérite (rou). Ce remplacement donne naissance à une structure myrmékitique constituée par une phase de composition  $\text{Ag}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_2$  (m).

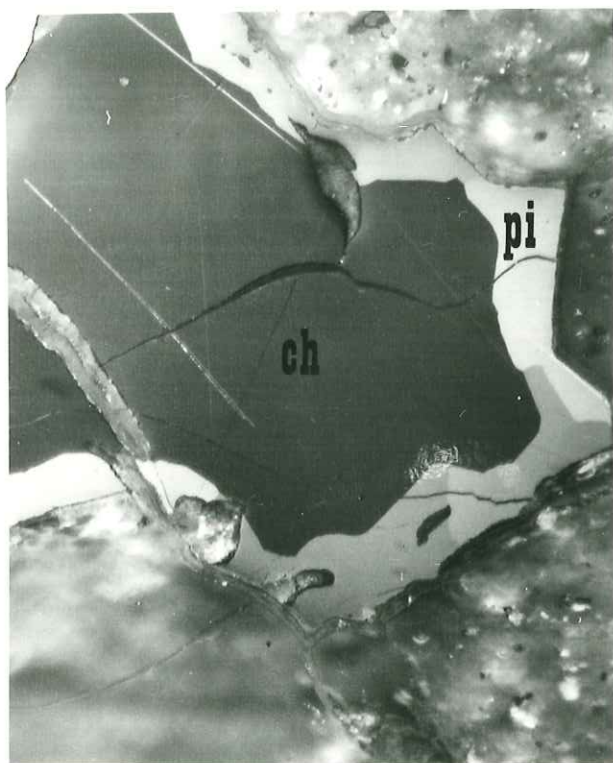
Section polie, lumière doublement polarisée, immersion, X 250.

- 4 - La même structure que la précédente vue en lumière non analysée et avec un grossissement plus fort. On remarque la finesse de l'eutectique (m + rou).

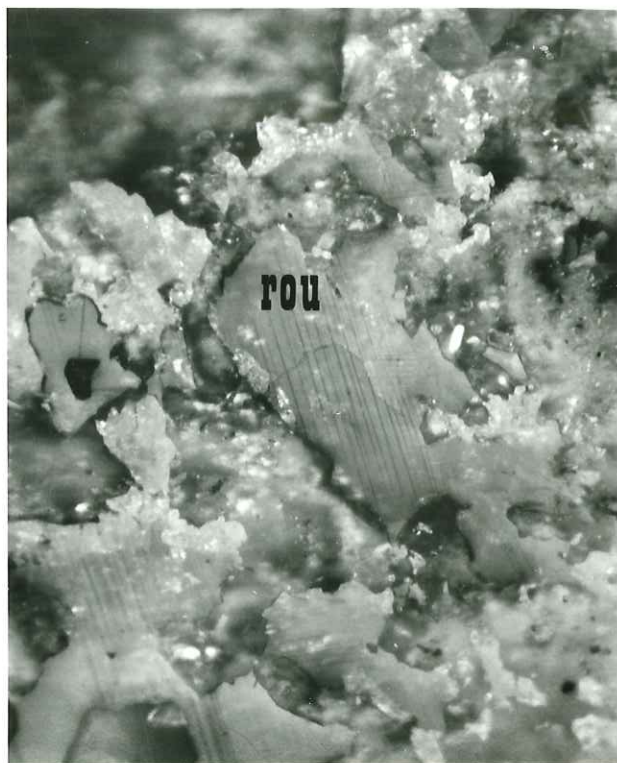
Section polie, lumière non analysée, immersion, X 400.



# PLANCHE V



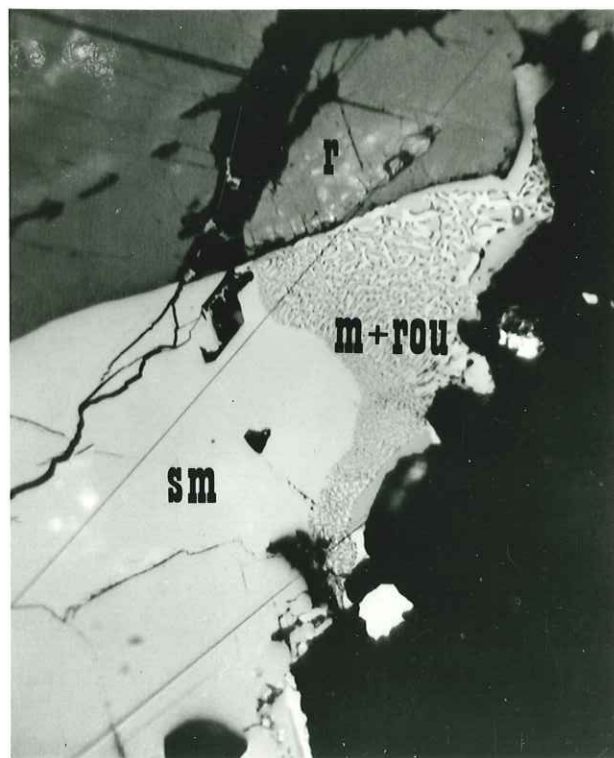
1



2



3



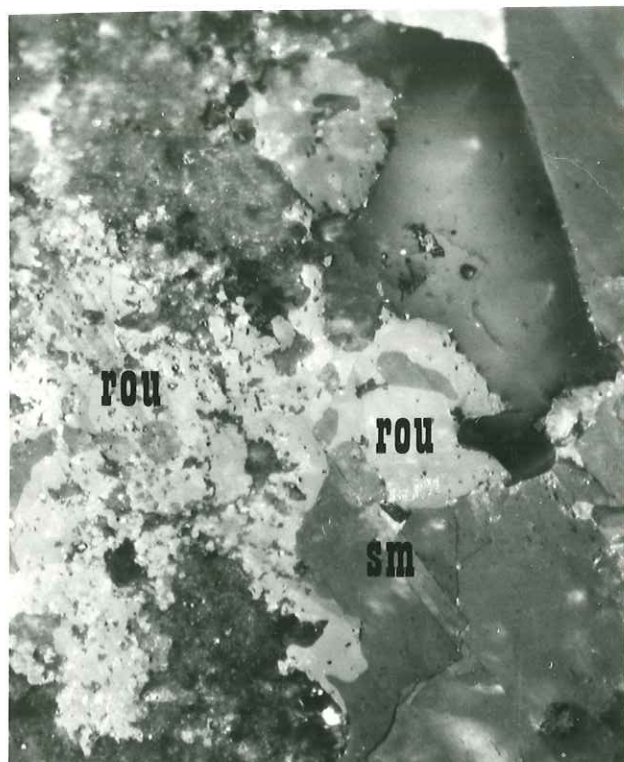
4

## PLANCHE VI

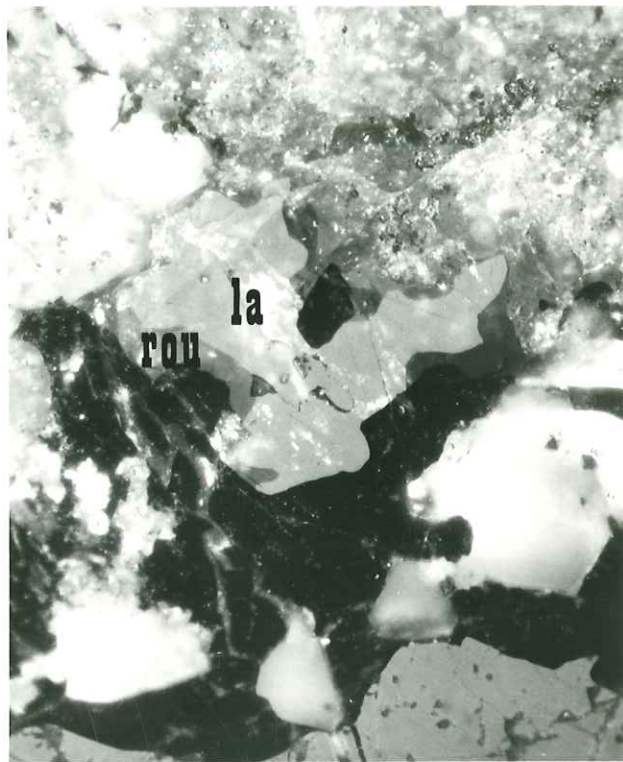
- 1 - Structure complexe d'un remplacement métasomatique de la smithite (sm) par la routhiérîte (rou). La gangue est quartzeuse. Remarquons les limites diffuses de ces minéraux, par rapport à la gangue.  
Section polie, lumière doublement polarisée, X 160.
- 2 - Association intime de laffittite (la), routhiérîte (rou) et de smithite (noire). La routhiérîte remplace la laffittite suivant le contact de cette dernière avec la smithite. De nombreuses réflexions internes masquent les contacts entre les minéraux.  
Section polie, lumière doublement polarisée, X 160.
- 3 - Cristaux aciculaires subautomorphes de wakabayashilite (w) inclus dans la chabournéïte (ch) et la smithite (sm). Cette dernière remplace sélectivement la chabournéïte mais non la wakabayashilite.  
Section polie, lumière non analysée, X 160.
- 4 - Le réalgar (r) est recoupé par des filonnets de la phase  $Tl(Sb, As)_7S_{11}$  (f).  
Section polie, lumière non analysée, X 160.



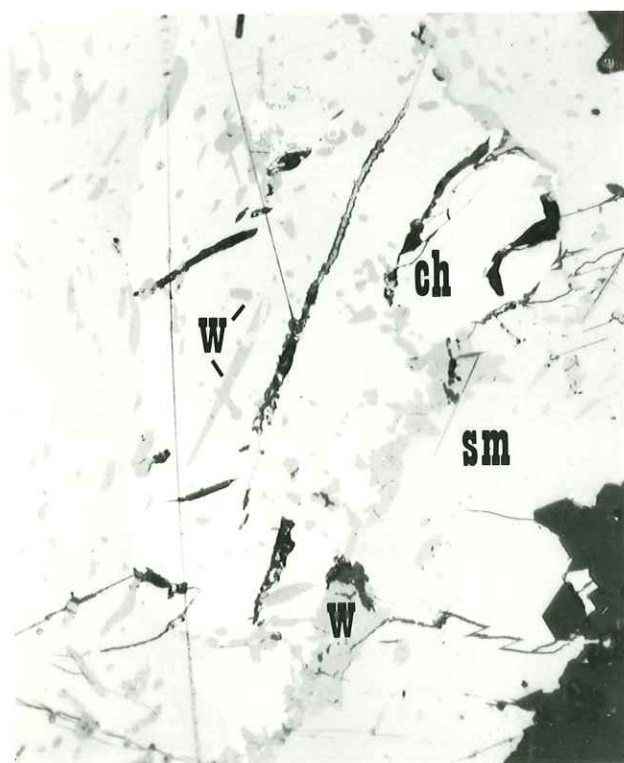
# PLANCHE VI



1



2



3



4

Quant à la relation entre la chabournéïte et la pierrotite, nous avons pu conclure que la chabournéïte s'était formée la première. En effet, on observe des plages de chabournéïte remplacée en bordure par la pierrotite (planche IV - 4, planche V - 1). D'autre part, nous avons remarqué un autre type de remplacement de ces deux espèces qui se développe à partir des fissures de la chabournéïte, en progressant suivant les directions privilégiées (planche IV - 3).

Ajoutons encore que, parmi les sulfo-antimoniures de thallium, le plus ancien, la chabournéïte, contient du plomb. Il est difficile de préciser s'il s'agit d'une reprise du plomb restant après la première phase minéralisatrice, ou si ce plomb appartient à la deuxième venue minéralisatrice.

La troisième phase minéralisatrice est caractérisée par une quasi-absence d'antimoine. Outre le thallium, cette phase se distingue des précédentes par l'apparition de Ag en quantité importante et de Hg.

A la différence des deux autres phases qui forment une minéralisation bien localisée, la troisième est disséminée dans l'ensemble de la zone minéralisée et limitée au compartiment n° 2 du Trias.

Les minéraux appartenant à la troisième phase minéralisatrice se remplacent fréquemment entre eux ; ils remplacent également ceux des phases précédentes. Le minéral le plus précoce est la smithite.

Lorsqu'elle est remplacée par la routhiérîte, il se forme une structure myrmékitique, constituée par une phase  $\text{Ag}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_2$  (planche V - 3 et 4).

Un autre exemple de remplacement de ces deux minéraux est donné sur la photographie 1 de la planche VI.

Après la smithite viennent deux minéraux à mercure, la laffittite et la routhiérîte. Par suite de leur localisation disséminée, les



contacts entre ces deux espèces, observables en sections polies, sont très rares ; cependant, dans quelques cas, nous avons pu apercevoir un remplacement de la laffittite par la routhiérite (planche VI - 2).

De même que pour la clinopierrotite, nous n'avons pu observer, en sections polies, les relations entre l'aktashite et les autres minéraux. Cependant, il nous semble possible de la placer dans la succession après la routhiérite pour les raisons suivantes : la présence de mercure dans l'aktashite la range parmi les minéraux de la troisième phase minéralisatrice. D'autre part, le chimisme de l'aktashite se distingue par Cu et Zn, le cuivre étant un élément majeur. C'est précisément dans la routhiérite qu'apparaissent pour la première fois (hormis la blende) ces deux éléments, mais en tant que constituants mineurs.

Il semble donc que ces deux espèces, et en particulier l'aktashite, rassemblent tous les éléments présents dans les solutions résiduelles. Ceci permet d'expliquer l'extrême rareté de l'aktashite à Jas Roux.

Les rapports Sb/As des minéraux de la troisième phase minéralisatrice, sont très faibles à nuls, sans progression constante en fonction de l'ordre de cristallisation, comme nous l'avons vu pour les phases précédentes.

Le dépôt du réalgar clot la paragenèse des sulfures à Jas Roux. Ce minéral, qui constitue une quatrième phase minéralisatrice, se trouve en déséquilibre avec la totalité des espèces présentes. On observe ainsi un remplacement de la stibine suivant les joints des grains (planche III - 2) ou suivant le plan de clivage (planche III - 3 et 4).

Le remplacement suivant les joints des grains est également typique pour les sulfo-antimoniures de thallium (planche IV - 1 et 2).

Par endroits, une autre génération des sulfo-antimoniures de thallium apparaît, postérieure au réalgar (planche VI - 4).

L'individualisation des quatre phases minéralisatrices que nous venons de définir (fig. 17), se reflète dans la répartition spatia-

le des minéraux dans les trois compartiments minéralisés du Trias. Toutes les phases ne sont présentes que dans le compartiment n° 2. Le compartiment n° 1 contient le stade final de la première phase minéralisatrice (stibine), la deuxième phase, mais en quantité moindre que dans le compartiment n° 2, et du réalgar (phase IV).

Le compartiment n° 0 renferme seulement des traces de la phase II et IV.

## CHAPITRE VI

### GÉOCHIMIE DE LA MINÉRALISATION DE JAS ROUX

L'évolution géochimique de la minéralisation de Jas Roux est caractérisée par l'apparition successive des éléments suivants :

Fe - Zn - Pb - Sb - Tl - Ag - Hg - Cu - As.

Comme il ressort du chapitre précédent, la mise en place de cette minéralisation s'est faite progressivement en plusieurs phases, chacune ayant sa propre caractéristique géochimique et sa propre évolution. Celles-ci peuvent se résumer ainsi :

Phase I : Fe - Zn - Pb - (Ag) - (As) - Sb

Phase II : As - Sb - Tl - (Pb)

Phase III : Ag - Hg - Tl - As - (Sb) - (Cu) - (Zn)

Phase IV : As - (Sb) -

Ce schéma, dans son ensemble, reflète une diminution de température car les éléments les moins volatils se situent au début, (Fe, Zn, Pb) tandis que les plus volatils sont caractéristiques des phases tardives de l'évolution (Hg, As). Comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre sur la succession minérale, chaque phase montre également une évolution continue en fonction de la diminution de la température (rapport Sb/As dans les sulfosels de plomb).

Outre les éléments métalliques, on trouve Si, Ba et Sr dans la zone minéralisée.

Afin de mettre en évidence une auréole primaire autour des passages minéralisés et pour pouvoir étudier la répartition des éléments



indiqués ci-dessus dans les compartiments intéressants du Trias, nous avons réalisé des analyses par spectrométrie optique d'émission (quantomètre) sur l'ensemble des échantillons prélevés (cf. étude pétrographique). Ces analyses ont été effectuées selon la méthode et le programme de correction utilisés au département laboratoires du B.R.G.M.. Malheureusement, la forte teneur en  $\text{CaCO}_3$  de certains échantillons a empêché leur traitement à l'ordinateur car leur nature sortait des limites imposées par le programme. Ceci explique les lacunes dans certaines zones des coupes échantillonnées.

Les fortes teneurs en certains éléments nous ont conduit à élargir des limites supérieures de dosabilité au-delà de la courbe d'étalonnage. Ainsi, les résultats dépassant les limites originales doivent être considérés comme approximatifs. C'est le cas du thallium, de l'antimoine, et de l'arsenic.

Nous donnons l'ensemble des limites de dosabilité dans le tableau 44 ci-dessous ; les limites élargies sont indiquées entre parenthèses.

Des trente et un éléments analysés, Be, Sn, In, Nb, Cd se trouvent systématiquement sous le seuil de dosabilité inférieure et sont donc inintéressants du point de vue géochimique. D'autres, tels que La, Y, Sc ne sont pas non plus utilisables car ils coïncident avec les éléments présents en fortes teneurs. Enfin, un troisième groupe est constitué par les éléments à teneur systématiquement au-dessus du seuil de dosabilité maximum ; ce sont Ba et Sr.

Avec toutes ces réserves, nous avons considéré les éléments suivants : Tl, Pb, As, Sb, Zn, Ag, Cu, Li, B. Leurs teneurs moyennes ( $\bar{x}$ ) et les écarts-types correspondants (s) sont donnés dans le tableau 45\*).

---

\* L'écart-type a été calculé suivant la formule :

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - 1/n(\sum x)^2}{n - 1}}$$



Il en ressort que le compartiment n° 1 du Trias est en moyenne plus minéralisé que celui n° 2, mais la minéralisation est plus diffuse. Ceci est également bien visible sur les courbes de variation des teneurs données en annexe II.

Les valeurs des écarts-types mettent en évidence les variations considérables des teneurs en éléments retenus.

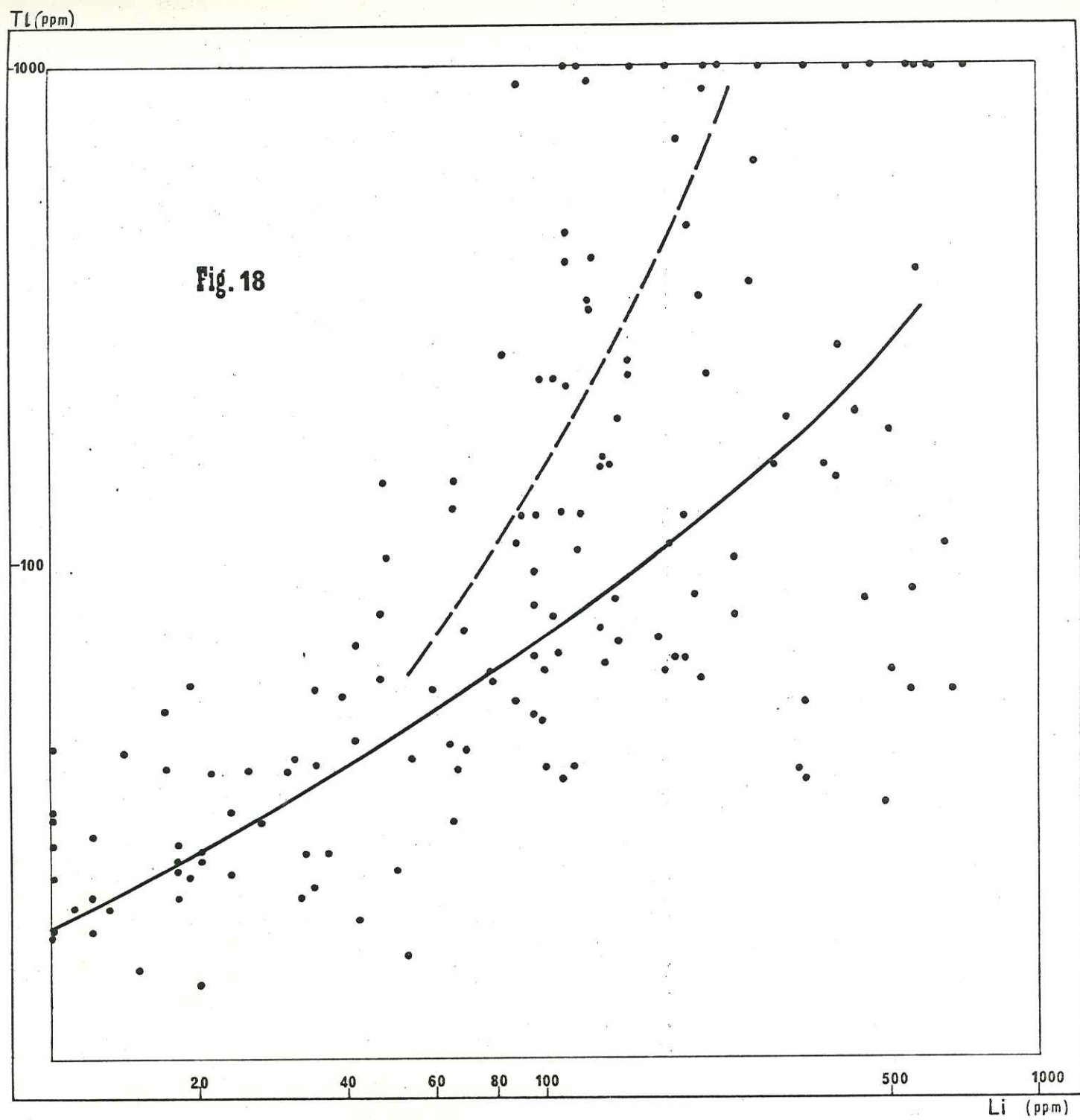
Le fait que la plupart de ces éléments apparaissent dans plusieurs phases minéralisatrices génétiquement liées, mais géochimiquement indépendantes, rend les corrélations entre eux peu nettes ou inexistantes.

Les analyses montrent une pauvreté de la minéralisation en cuivre. Ce phénomène semble être typique des gisements épithermaux à thallium ; nous reviendrons sur ce sujet au chapitre suivant. Notons seulement que la teneur moyenne en cuivre est inférieure à celle donnée comme fond géochimique pour les roches sédimentaires pélitiques, égales à 45 ppm (WEDEPOHL, 1968).

Par contre, l'ensemble de la zone minéralisée se distingue par de fortes teneurs en lithium. En effet, les teneurs moyennes (129 et 94 ppm) dépassent largement celles avancées pour les roches sédimentaires, allant de 51 à 60 ppm (WEDEPOHL, 1968). Cet enrichissement en lithium est d'autant plus intéressant que Tl et Li ont un comportement géochimique semblable comme le montre des accumulations de Tl dans les pegmatites. Dans celles-ci, le thallium se concentre dans les phases tardives riches en lithium et c'est précisément le lépidolite qui contient le maximum de thallium (de 0,01 à 0,05 %, IVANOV et al, 1960).

Dans les deux compartiments du Trias analysés, les variations en teneur du lithium sont très larges, allant de la limite de dosabilité jusqu'à 700 ppm de Li.

Pour mettre en évidence une relation génétique entre Li d'un côté et la minéralisation de l'autre, nous avons construit un diagramme de corrélation de Tl et Li, donné sur la figure 18.



Bien que la dispersion des points du nuage de corrélation soit assez grande, on constate nettement que les fortes teneurs en thallium correspondent à de fortes teneurs en lithium. Dans les parties minéralisées (à minéralisation exprimée), la concentration du thallium écarte les points de la droite de corrélation principale (tireté de la courbe de corrélation). Nous pouvons donc admettre que le lithium fait partie des éléments constituant la minéralisation hydrothermale. La présence de lithium laisse entrevoir un rôle du potassium dans la genèse de cette minéralisation. Le potassium se manifeste par la présence d'adulaire et de séricite parmi les minéraux d'altération hydrothermale (cf. chapitre étude pétrographique).

Puisque certaines saumures hydrothermales contiennent du bore, nous avons envisagé de voir si la zone minéralisée comportait des teneurs élevées de cet élément. Or, la présence de tourmaline classique dans les roches du Trias donne un fond de teneur en bore dont les variations se superposent à celles imputables au bore d'origine hydrothermale. L'interprétation est donc très difficile, d'autant plus que les teneurs moyennes mises en évidence (tableau 45) se situent dans la fourchette des teneurs données pour les roches sédimentaires analogues (35 à 100 ppm ; WEDEPOHL, 1968).

Les analyses au quantomètre ont confirmé les observations faites sur le terrain sur l'absence de la minéralisation à proximité du contact avec le cristallin (zone tectonique de direction générale Est-Ouest), sauf quand celui-ci se trouve près de la tectonique de direction Nord-Ouest - Sud-Est. Les variations des teneurs données en annexe II. le montrent surtout pour le compartiment n° 2.

D'autre part, en examinant les courbes des teneurs (annexe II), nous apercevons aussitôt l'importance de l'altération hydrothermale dans la localisation de la minéralisation. En effet, les zones secondairement silicifiées sont en général minéralisées tandis que celles riches en carbonate sont quasi stériles. Il convient cependant de rappeler l'unité lithologique des grès et des quartzites qui ne comportent pas de silicification hydrothermale et sont par conséquent également stériles.

Quant à Pb, Tl, As, Sb, leurs teneurs, même dans les parties stériles, dépassent les moyennes admises pour les roches sédimentaires. On peut donc en déduire que l'ensemble des roches du Trias des compartiments n° 1 et 2, constituent une auréole primaire de la minéralisation étudiée.



TABLEAU 44

## LIMITES DE DOSABILITE DES ELEMENTS ANALYSES

| Symboles des éléments | Limites inférieures<br>de dosabilité (g/t) | Limites supérieures<br>de dosabilité (g/t) |
|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| MN                    | 50.                                        | 8000.                                      |
| P                     | 50.                                        | 8000.                                      |
| TI                    | 50.                                        | 20000.                                     |
| LI                    | 50.                                        | 2000.                                      |
| BE                    | 5.                                         | 500.                                       |
| B                     | 10.                                        | 2000.                                      |
| SC                    | 20.                                        | 200.                                       |
| V                     | 10.                                        | 2000.                                      |
| CR                    | 5.                                         | 2000.                                      |
| CO                    | 5.                                         | 2000.                                      |
| NI                    | 5.                                         | 4000.                                      |
| CU                    | 5.                                         | 2000.                                      |
| ZN                    | 10.                                        | 1000.                                      |
| GE                    | 5.                                         | 500.                                       |
| AS                    | 50.                                        | 2000. (10.000)                             |
| SR                    | 5.                                         | 2000.                                      |
| Y                     | 10.                                        | 2000.                                      |
| ZR                    | 50.                                        | 2000.                                      |
| NB                    | 20.                                        | 2000.                                      |
| MO                    | 5.                                         | 1000.                                      |
| AG                    | 1.                                         | 200.                                       |
| CD                    | 5.                                         | 500.                                       |
| IN                    | 10.                                        | 500.                                       |
| SN                    | 10.                                        | 2000.                                      |
| SB                    | 100.                                       | 1000. (10.000)                             |
| BA                    | 20.                                        | 2000.                                      |
| LA                    | 20.                                        | 2000.                                      |
| W                     | 10.                                        | 4000.                                      |
| TL                    | 5.                                         | 500. (1.000)                               |
| PB                    | 5.                                         | 4000.                                      |
| BI                    | 10.                                        | 1000.                                      |

T A B L E A U 45

TENEURS MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES ELEMENTS PRINCIPAUX DE LA ZONE MINERALISEE

|    | Compartiment n° 1<br>(n = 112) |       | Compartiment n° 2<br>(n = 94) |       |
|----|--------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
|    | $\bar{x}$                      | s     | $\bar{x}$                     | s     |
| Tl | 161                            | 243   | 112                           | 223   |
| Pb | 328                            | 592   | 183                           | 362   |
| As | 1 500                          | 1 849 | 781                           | 1 526 |
| Sb | 586                            | 1 088 | 230                           | 492   |
| Zn | 284                            | 315   | 153                           | 231   |
| Ag | 13                             | 31    | 5                             | 11    |
| Cu | 8                              | 5     | 8                             | 6     |
| Li | 129                            | 148   | 94                            | 166   |
| B  | 48                             | 55    | 85                            | 83    |

## CHAPITRE VII

### CONSIDERATIONS METALLOGENIQUES

La minéralisation exotique de Jas Roux, avec ses quatre espèces minérales nouvelles dont trois thallifères, ainsi qu'avec plusieurs minéraux trouvés pour la deuxième fois au monde et quelques autres extrêmement rares, mérite une réflexion approfondie sur sa genèse dans le contexte géologique alpin.

Le caractère exceptionnel de cette minéralisation, dû à sa richesse en thallium, incite aussitôt à une comparaison avec des minéralisations thallifères connues. Parmi celles-ci, citons en premier lieu le gisement d'Allchar, étudié du point de vue métallogénique par IVANOV (1965). Cet auteur a mis en évidence une zonalité horizontale du district d'Allchar, avec une zone centrale riche en antimoine, entourée d'une deuxième zone à Tl et As, laquelle est bordée à son tour par une ceinture sans minéralisation métallique, mais caractérisée par un développement intense de silicification et de dolomitisation. A l'échelle régionale, cette zonalité horizontale se manifeste par les positions périphériques du gisement d'Allchar et d'un autre gisement épithermal à Hg (KONSKO) par rapport au centre d'activité métallogénique matérialisé par des gisements à Cu et Pb, avec la présence d'arsenic (minéralisation à énargite). Toutes ces minéralisations sont liées à des coulées d'andésites et de leurs tufs.

En comparant la succession minérale d'Allchar établie par IVANOV (1965) avec celle de Jas Roux, on constate que les principaux minéraux y ont les mêmes positions ; il s'agit notamment de stibine et de réalgar, avec une phase thallifère intercalée.

Dans son ensemble, la minéralisation d'Allchar est plus simple que celle de Jas Roux, car la phase précoce à Pb, Zn et la phase tardive à Ag, Hg sont absentes. D'autre part, l'antimoine y constitue, à la



différence de Jas Roux, une phase bien individualisée, sans influence sur des épisodes minéralisateurs postérieurs, car aucun sulfo-antimoniure de thallium antérieur au réalgar n'y est connu. Par contre, le fer joue un rôle important lors de la phase minéralisatrice thallifère.

Un autre gisement à Tl, semblable, est celui de Rambler mine en Wyoming aux Etats-Unis, où on trouve la lorandite, associée au réalgar, orpiment et barytine, dans une pyrite massive. Ce gisement semble être également lié à des roches volcaniques acides d'âge tertiaire.

Une comparaison rapide et superficielle, en particulier la présence de la smithite, tend à rapprocher la minéralisation de Jas Roux de celle de Lengenbach, dans la vallée de Binn en Suisse. Cependant, un examen plus poussé révèle rapidement des incompatibilités de mise en parallèle de ces deux gisements. Il s'agit surtout de différences dans leurs évolutions géochimiques.

Alors que la minéralisation de Jas Roux a un caractère poly-ascendant avec une variabilité chimique considérable, celle de Lengenbach est caractérisée par une prédominance constante et exclusive de l'arsenic et du plomb. Les composés thallifères et antimonifères y sont des exceptions au même titre que par exemple le cuivre sous forme d'aktashite à Jas Roux. En plus, la minéralisation de Lengenbach n'est accompagnée d'aucune altération hydrothermale, si importante dans notre cas. Notons cependant que la présence des traces de Bi et Mo dans la paragenèse, à la vallée de Binn (GRAESER, 1965), laisse entrevoir sa parenté génétique avec des roches acides.

L'importance du chert hydrothermal accompagnant la minéralisation à Jas Roux, implique des solutions susceptibles de transporter, outre les métaux, une grande quantité de  $\text{SiO}_2$ . Cette silicification, avec d'autres phénomènes déjà décrits, exclut le transport des métaux en présence, bien que volatils, en phase vapeur. Signalons à cette occasion, que NEMOTO et al (1957) ont pu démontrer, en étudiant des fumérolles au Japon, une très faible solubilité de la plupart des métaux dans les gaz à faible pression.

Le même résultat fut obtenu par BASHARINA (1961) au Kamtchatka.



Notre attention fut alors axée vers les eaux thermales des zones à gradient géothermique élevé. En effet, certaines de ces eaux salées, relativement diluées, forment des dépôts sulfurés de Ag, Hg, As, Sb et parfois également de Tl et Au. Parmi les sources de ce type, citons tout d'abord celles de Steamboat Springs, mondialement connues et ensuite les geysers de la zone volcanique de Taupo en Nouvelle-Zélande. Cette zone a fait l'objet de nombreuses études géologiques et pétrographiques (BROWNE, 1971 ; WEISSBERG, 1969 ; BROWNE et ELLIS, 1970 ; ESLINGER et SAVIN, 1973 ; EWART, 1966). Les sources thermales qui s'y trouvent sont liées aux roches volcaniques récentes de composition rhyolitique et dacitique. Leur température varie de 70° à 300° C environ et leur pH de 5,7 à 8,7. La composition chimique de ces eaux est caractérisée, outre les teneurs importantes en Na, Cl, CO<sub>2</sub> et SiO<sub>2</sub>, par les valeurs non négligeables des teneurs en Li, F et As (tableau 46).

La quantité de silice dissoute conduit à une formation massive de chert siliceux. Accidentellement, les sources de cette région donnent des précipités riches en Au, Ag, As, Sb, Hg et Tl, dont la composition est consignée dans le tableau 46. L'apparition de ces précipités est toujours limitée à un intervalle de temps très court (10 ans environ, WEISSBERG, 1969). En faisant abstraction de l'or dont la présence à Jas Roux n'a pas été vérifiée (les méthodes analytiques mises à notre disposition ne l'avaient pas permises), nous retrouvons dans ces dépôts, tous les éléments caractérisant la minéralisation étudiée. Cette ressemblance est d'autant plus remarquable que la pauvreté en cuivre de la paragenèse de Jas Roux trouve son analogie dans l'absence du cuivre dans les précipités en question.

Le problème de faibles teneurs en Cu, Pb et Zn dans les eaux thermales de ce type, fut évoquée par WHITE (1965) et rediscuté par WEISSBERG (1969). WHITE voit dans cet appauvrissement une preuve d'indépendance génétique de ces sources vis-à-vis des minéralisations plombo-zincifères ou cuprifères. Par contre, WEISSBERG fait remarquer le rôle de la profondeur (par conséquent de la pression et de la température) dans la formation des sulfures de Cu, Pb et Zn. En effet, il a pu observer ces dernières dans les zones profondes des forages effectués dans la zone géothermique de Broadlands en Nouvelle-Zélande.

Nous pouvons donc supposer que les précipités, riches en Sb, As et Tl, représentent un équivalent épithermal d'une minéralisation à Pb, Zn et Cu, déposée dans des conditions mésothermales à des profondeurs plus élevées, si l'on se réfère à la surface terrestre.

Cette hypothèse est partiellement confirmée par la découverte d'une saumure géothermique à Imperial County en Californie, qui est le premier fluide minéralisateur potentiel connu. La composition chimique donnée dans le tableau 46 montre que, mis à part la forte salinité par rapport aux eaux de Taupo, le caractère général demeure le même. Les décharges de ce fluide se distinguent par une forte teneur en Cu et Ag, mais Sb, As et Pb sont également présents. Soulignons encore des teneurs élevées en Li, Rb et Cs dans cette saumure dont la température à 1500-2000 m de profondeur est de 300°C environ (WHITE, 1965 et 1968).

A la lumière de ces données, nous pouvons envisager un fluide hydrothermal dont la composition globale resterait relativement constante mais dont la charge totale et surtout la température évoluerait dans le temps. Ainsi, pour une distance fixe source - zone de décharge, on aurait une évolution allant d'une minéralisation à Pb, Zn et éventuellement à Cu, vers celle riche en Tl, Sb, Hg et, Ag et en dernier lieu, vers celle à As. A ce propos, WEISSBERG (1969) fait remarquer que les précipités thallifères de Broadlands sont relativement pauvres en arsenic, si l'on compare les concentrations des éléments métalliques (Sb, Hg, Tl) et d'arsenic dans les eaux. Il suggère que la zone du dépôt de As doit se situer à des températures encore plus basses que celles du jaillissement des thermes.

Ce modèle s'applique bien à l'évolution de la minéralisation de Jas Roux, où Pb et Zn apparaissent à un stade précoce, l'arsenic constituant par contre une phase finale.

D'autres preuves sur l'origine de la minéralisation de Jas Roux, à partir de fluides géothermiques fossiles analogues à ceux actuellement connus, peuvent être apportées en étudiant le caractère de l'altération hydrothermale.



COMPARAISON DES COMPOSITIONS CHIMIQUES DE SOURCES THERMALES  
DEPOSANT UNE MINERALISATION SULFUREE

|                                                 | Zone volcanique de Taupo, Nelle Zélande<br>(WEISSBERG, 1969) |          |            |            | Californie, U.S.A.<br>(WHITE, 1965, 1968) |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|------------|------------|-------------------------------------------|
|                                                 | Waiotapu                                                     | Rotokava | Ohaki Pool | Broadlands | Imperial County                           |
| Li                                              | 9                                                            | 11       | 7,4        | 12         | 215                                       |
| Na                                              | 1 220                                                        | 1 785    | 860        | 1 050      | 50 400                                    |
| K                                               | 160                                                          | 186      | 82         | 224        | 17 500                                    |
| Ca                                              | 35                                                           | 50       | 2,6        | 2,2        | 28 000                                    |
| Mg                                              | -                                                            | -        | -          | -          | -                                         |
| F                                               | 5,5                                                          | 6,6      | 5,2        | 7,3        | non dosé                                  |
| Cl                                              | 2 000                                                        | 2 915    | 1 060      | 1 743      | 155 000                                   |
| Br                                              | 7,2                                                          | -        | 3          | 5,7        | -                                         |
| I                                               | 0,4                                                          | 0,7      | 0,6        | 0,8        | -                                         |
| SO <sub>4</sub>                                 | 145                                                          | 125      | 100        | 8          | 5,4                                       |
| HBO <sub>2</sub>                                | 117                                                          | 446      | 130        | 196        | -                                         |
| SiO <sub>2</sub>                                | 490                                                          | 400      | 338        | 805        | 100                                       |
| NH <sub>3</sub>                                 | 11,5                                                         | 3,2      | 3,8        | 2,1        | -                                         |
| CO <sub>2</sub>                                 | 170                                                          | 39       | 490        | 128        | > 150                                     |
| H <sub>2</sub> S                                | 6                                                            | -        | 1,0        | 1,0        | < 10 ?                                    |
| As                                              | 4,9                                                          | -        | 3          | 8          | 15                                        |
| Compositions chimiques des dépôts hydrothermaux |                                                              |          |            |            |                                           |
| SiO <sub>2</sub>                                | majeur                                                       | majeur   | majeur     | majeur     | majeur                                    |
| Au                                              | 80                                                           | 70       | 85         | 55         | n.d.                                      |
| Ag                                              | 175                                                          | 30       | 500        | 200        | 7 %                                       |
| As                                              | 2 %                                                          | 0,4 %    | 400        | 250        | 0,18 %                                    |
| Sb                                              | 2 %                                                          | ~ 30 %   | 10 %       | ~ 8 %      | 0,72 %                                    |
| Hg                                              | 170                                                          | 15       | 2 000      | ~ 200      | n.d.                                      |
| Tl                                              | 320                                                          | 0,5 %    | 630        | ~ 1 000    | n.d.                                      |
| Pb                                              | 15                                                           | 50       | 25         | 50         | 700                                       |
| Zn                                              | 50                                                           | 100      | 70         | 200        | n.d.                                      |
| Cu                                              | n.d.                                                         | n.d.     | n.d.       | n.d.       | 27,5 %                                    |

n.d. = non déterminé

Le développement du chert remplaçant métasomatiquement les roches carbonatées du Trias témoignent d'un transport considérable de la silice sous forme cryptocristalline. Le même phénomène existe dans le cas des sources de Nouvelle-Zélande, celles du Kamtchatka (OZEROVA et al, 1971), ainsi que de la saumure d'Imperial County. Par ailleurs, nous avons observé fréquemment à Jas Roux, la présence d'adulaire, d'albite et de calcite dans certains niveaux affectés par une altération hydrothermale.

Il est intéressant de signaler que tous ces minéraux sont typiques d'une paragenèse issue de l'altération hydrothermale des roches dans la zone des sources thermales de Broadlands (Nouvelle-Zélande). BROWN (1971) a mis en évidence une zonalité verticale de l'altération hydrothermale dans cette même zone ; l'adulaire est présente de 0 à 500 m de profondeur, tandis que l'albite n'apparaît qu'à 1 500 m de profondeur.

Deux preuves géochimiques supplémentaires sont également d'une grande importance. La première est une anomalie en lithium de la zone minéralisée à Jas Roux ; la seconde est la présence de fluorine. Bien que le fluor n'ait pas été dosé dans la saumure d'Imperial County, SKINNER et al (1967) signalent la présence de fluorine dans ses dépôts. Quant au lithium, le rapport Li/K dans les fluides hydrothermaux de ce type semble élevé (voir tableau 46), ce qui explique la concentration de Li dans les minéraux argileux formés par altération hydrothermale.

Comme nous l'avons déjà signalé, toutes ces sources thermales ainsi que les gisements thallifères connus, sont liés à une activité volcanique acide. Les faits exposés ci-dessus, permettent de conclure qu'il en est de même pour la minéralisation de Jas Roux. Une question se pose : quel volcanisme, dans le massif du Pelvoux, peut être responsable de cette minéralisation ?

L'étude de VATIN-PERIGNON et al (1972) met en évidence un secteur riche en rhyolites, peu éloigné de l'indice de Jas Roux ; il s'agit des roches interfoliées dans le linéament de la Pilatte (LE FORT,



1973). Nous n'avons cependant aucune preuve d'une liaison directe entre la minéralisation et la mise en place de ces roches.

De plus, leur âge n'étant pas déterminé, nous ne pouvons pas dire si elles sont post-triasiques, ce qui est évidemment une condition préalable à leur liaison génétique éventuelle avec la minéralisation de Jas Roux affectant les roches du Trias.

Compte tenu du contexte géologique régional, il est indispensable d'envisager une liaison éventuelle de la minéralisation de Jas Roux avec les roches granitiques des environs. LE FORT (1973) a rassemblé toutes les déterminations d'âge absolu, jusqu'alors effectuées sur les granites du massif du Pelvoux. Il en ressort que les granites de la partie SE du massif sont en général plus jeunes que ceux situés vers sa bordure occidentale. D'après BARBIERI (1970), le granite de Riéou-Blanc et le granite de Sélé, proches de Jas Roux, ont un âge du Trias moyen ou même plus récent, tandis que le granite des Bans, avoisinant la minéralisation est beaucoup plus ancien (365 MA). LE FORT (1973) pense que les âges récents seraient dûs à un rajeunissement lors de l'orogénèse alpine. A la suite de ces données, il semble exclu que la genèse de la minéralisation étudiée soit reliée à la mise en place des roches granitiques du massif du Pelvoux.

Rappelons enfin une position tectonique privilégiée du site de Jas Roux sur la structure profonde mettant en contact le compartiment septentrional avec le cristallin du Sirac au Sud. La mise en place de la minéralisation correspond à une phase tectonique qui se manifeste par une contraction parallèle à la direction de suture, précédant un déplacement tangentiel de toute la structure vers le SW, accompagné de failles de cisaillement. L'enracinement profond de la suture explique l'existence, dans le passé géologique, d'un gradient géothermique élevé, localisé sur cette importante zone tectonique et responsable de la minéralisation inhabituelle de Jas Roux.

## CHAPITRE VIII

### CONCLUSIONS GENERALES

L'étude géologique de l'indice de Jas Roux a démontré que la minéralisation est liée aux lambeaux du Trias jalonnant une zone tectonique importante de direction E-O, mettant en contact le cristallin du brachyanticlinal des Ecrins avec celui du brachyanticlinal du Sirac. Cette zone limite l'extension du synclinal de Surette englobant la série lithologique complète du Trias ainsi que des schistes noirs liasiques. L'étude tectonique a mis en évidence un rôle important joué par des failles décrochantes NE-SO, dans l'évolution de cette structure géologique.

La minéralisation sulfurée remplit des diaclases dont la formation est due à une contrainte tectonique de direction approximative O-E, ayant par endroits le caractère d'un cisaillement simple.

Le dépôt de la minéralisation sulfurée est précédé d'une silicification métasomatique intense des roches carbonatées du Trias, donnant naissance à un chert microcristallin, ainsi que par une phase hydrothermale à quartz, barytine et fluorine. Cette dernière phase est contemporaine des mouvements tectoniques affectant les zones précédemment silicifiées.

L'étude minéralogique a conduit à la découverte de trois espèces minérales nouvelles : la routhiérîte,  $\text{TlHgAsS}_3$  ; la laffittite,  $\text{AgHgAsS}_3$  et la chabournéite,  $(\text{Tl, Pb})_6 (\text{Sb, As})_{21} \text{S}_{38}$ . La clinopierrotite,  $\text{TlSb}_5\text{S}_8$  fut découverte simultanément à Jas Roux et à Allchar. Un autre sulfo-antimoniure de thallium nouveau, la pierrotite,  $\text{Tl}_2(\text{Sb, As})_{10}\text{S}_{17}$  fut décrit de Jas Roux en 1970.

Trois autres phases minérales, sans nom pour l'instant et jusqu'alors inconnues dans la nature, y sont présentes également. Il s'agit

de  $5\text{PbS} \cdot 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$  voisine de la jamesonite, de  $\text{Tl}(\text{Sb}, \text{As})_7\text{S}_{11}$  et de  $\text{Ag}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_2$ .

L'indice de Jas Roux est le deuxième gisement au monde de la twinnite et de la smithite et le troisième de l'aktashite.

Parmi d'autres minéraux présents, citons la wakabayashilite et l'andorite, également très rares.

La succession de cristallisation révèle l'existence de plusieurs phases minéralisatrices bien individualisées du point de vue chimique.

L'étude géochimique de la zone minéralisée montre une forte anomalie en lithium. Par contre, la paragenèse se distingue par une quasi-absence du cuivre.

L'ensemble des données obtenues permettent de conclure que la minéralisation de Jas Roux, de caractère épithermal, est un produit de sources analogues à celles actuellement connues en Nouvelle-Zélande ou aux Etats-Unis d'Amérique, et qu'elle est génétiquement liée à des roches acides. Ces conclusions impliquent l'existence d'une ancienne zone géothermique associée à la suture profonde du Col du Loup en Valgaudemar.



## BIBLIOGRAPHIE

- BARBIERI A. (1970) - Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins-Pelvoux. Les granites. Aperçu sur la géochimie du massif. Thèse 3e cycle, Grenoble, 127 p..
- BASHARINA L.A. (1961) - Les gaz volcaniques dans différentes étapes d'activité des volcans (en russe). Trudy Lab. Volc. A.N. SSSR, 19, 69-79.
- BELAND R. (1948) - Synthesis of some sulfarsenites of silver in alkali sulfide solutions. Econ. Geol., 43, p. 119-132.
- BERRY L.G. et THOMPSON R.M. (1962) - X-ray powder data for ore minerals : the Peacock atlas. Geol. Soc. Amer. Mem. 85.
- BROWNE P.R.L. et ELLIS A.J. (1970) - The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New-Zealand : Mineralogy and related geochemistry. American journal of Science, Vol. 269, summer 1970, p. 97-131.
- BROWNE P.R.L. (1971) - Mineralisation in the Broadlands geothermal field, Taupo volcanic zone, New-Zealand. Soc. Mining Geol. Japan, Special Issue 2, p. 64-75 (1971) (Proc. IMA-IAIGOD Meetings' 70).
- CLARK A.H. (1967) - Note on zinckenite from Turhal antimony deposit, Turkey Trans. Inst. Mining Met., 76, B 117-118 and B 167.
- CRAIG J.R., CHANG L.L.Y. et LEES W.R. (1973) - Investigations in the Pb-Sb-S system. Canad. Miner., 12, p. 119-206.
- DONNAY J.D.H. et DONNAY G. (1954) - Syntaxic intergrowth in the andorite series. Amer. Mineral 39, p. 161-171.



DRAFALL L.E. et KOUCKY F.L. (1969) - Differential thermal analysis of the lead sulfantimonides. Geol. Soc. Amer. Program Abs. 270-271.

DUCHESNE J.C. (1964) - Présence de thallium dans les sulfures de fer de la mine de Pallières (Gard). Ann. Soc. Géologique de Belgique. T 87, 1963-1964, Bull. n° 7, novembre 1964, p. 225-231.

ESLINGER E.V. et SAVIN S.M. (1973) - Mineralogy and oxygen isotope geochemistry of the hydrothermally altered rocks of the Ohaki-Broadlands, New-Zealand geothermal area. Amer. Journal of Science, Vol. 273, Mars 1973, p. 240-267.

EWART A. (1966) - Review of mineralogy and chemistry of the acidic volcanic rocks of Taupo volcanic zone, New-Zealand. Bulletin volcanologique Tome XXIX, 1966, p. 147-172.

GARVIN P.L. (1973) - Phase relations in the Pb-Sb-S system. N. Jb. Min. Abh., 118, p. 235-267.

GRAESER S. (1965) - Die Mineralfundstellen in Dolomit des Binnatales. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 45, H. 2, 597-795.

GIDON P. (1954) - Les rapports des terrains cristallins et de leur couverture sédimentaire dans les régions orientales et méridionales du massif du Pelvoux. Trav. Lab. Géol. Grenoble, 31 p. 1-102.

GIDON M. (1965) - Sur l'interprétation des accidents de la bordure méridionale du massif du Pelvoux. Trav. Lab. géol. Grenoble, T 41, p. 176-185.

GRATIER J.P., LEJEUNE B. et VERGNE J.L. (1973) - Etude des déformations de la couverture et des bordures sédimentaires des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux. Thèse du 3e cycle, Université de Grenoble 1973, 227 p..

GRUZDEV V.S. et YUDIN R.N. (1970) - Travaux de la 5ème réunion scientifique de la faculté de géologie de l'Université de Moscou (en russe), Moscou 1970, 170 p..

GRUZDEV V.S., TSCHERNITSOVA N.M., SHUMKOVA N.G. (1972) - Aktashite,  $\text{Cu}_6\text{Hg}_3\text{As}_5\text{S}_{12}$ , nouvelles données (en russe) ; Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1972, 206, p. 694-697.

GUILLEMIN C., JOHAN Z., LAFORET C. et PICOT P. (1970) - La pierrotite,  $\text{Tl}_2(\text{Sb}, \text{As})_{10}\text{S}_{17}$ , une nouvelle espèce minérale. Bull. Soc. fr. mineral. cristallogr., 93, p. 66-71.

HALL H.T. (1966) - The systems Ag-Sb-S, Ag-As-S, and Ag-Bi-S : Phase relations and mineralogical significance : Thèse, Brown University.

HAK J. (1958) - Zinckénite et sa paragenèse de Husarka dans les Basses Tatras (en tchèque). Cas. min. geol. 3, n° 4, p. 397-406.

HAK J. (1966) - Minéralogie et géochimie des gisements d'antimoine des Basses Tatras (en tchèque). Sbor. geol. Ved., Techn. - Geoch. 7, p. 71-144.

HARANCZYK C. (1956) - Wstepne wyniki poszukiwan' pierwiastkow sladowych w mineralach kruszczowych niektorych zloz Polski. Bull. Inst. Geol. n° 107.

HARRIS D.C. (1965) - Zinckénite, Can. Min. 8, p. 381-382.

HARRIS D.C., JAMBOR J.L., LACHANCE G.R. et THORPE R.I. (1968) - Tintinaïte, the antimony analogue of kobellite. Canad. Miner. 9, p. 3, 371-382.

IITSUKA D. (1919) - Metallographic enquiry into the antimony sulphide-lead sulphide system. Kyoto Imp. Univ. Coll. Sci. mem. 4, p. 61-64.

- IVANOV T. (1963) - Zonal distribution of elements and minerals in the deposit Alshar.  
Symposium Problems of postmagmatic ore deposition, 2, p. 186-191, Prague 1963.
- IVANOV V.V., VOLGIN V.Yu., KRASNOV A.A. et LIZUNOV N.V. (1960) - Thallium (en russe). Moscou 1960.
- JAMBOR J.L. (1967) - New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario, part. 1. Canad. Min., 9, p. 7-24.
- JAMBOR J.L. (1968) - New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario, Part. 3. Syntheses, paragenesis, origin. Canad. Min. 9, p. 4, 505-521.
- JAMBOR J.L. (1969 a) - Dadsonite (mineral Q and QM), a new lead sulfantimonide. Min. Mag., 37, p. 437-441.
- JAMBOR J.L. (1969 b) - Sulphosalts of the plagiionite group Min. Mag., 37, p. 442-446.
- KATO A., SAKURAI K. et OHSUMI K. (1970) - Wakabayashilite in Introduction to japanese minerals IMA-IAGOD Meetings "70". Geol. Surv. Japan, 1970.
- KINGSBURY A.W.G. et HARTLEY J. (1956) - Cosalite and other lead sulphosalts at Crainsgill, Carrok Fall, Caldbeck, Cumberland. Min. Mag., 31, p. 296-300.
- KITAKAZE A. (1968) - The  $PbS-Sb_2S_3$  system. These, Yamaguchi Univ. (en japonais), non publié.
- LE FORT P. et PECHER A. (1971) - Présentation d'un schéma structural du Haut Dauphiné cristallin. C.R. Acad. Sci. Paris, 273, série D, 3-5.



LE FORT (1973) - Géologie du Haut Dauphiné cristallin (Alpes françaises).  
Sciences de la Terre, mémoire n° 25, (juin 1973), 373 p..

MARUMO F. et BURRI G. (1965) - Nowackiite, a new copper zinc arsenosulfosalt from Lengenbach (Binnatal, Kanton Wallis).  
Chimia, 19, p. 500-501.

MARUMO F. (1967) - The crystal structure of nowackiite,  $\text{Cu}_6\text{Zn}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$ .  
Zeit. Krist., 124, p. 352-368.

MOELO Y. (1972) - Etude minéralogique du gisement de Cougnasses, Hautes Alpes. DEA de Minéralogie, non publié, Université Paris IV,  
74 p..

MOZGOVA N.N., BORODAYEV Yu.S., NESTEROVA Yu.S. et ARAPOVA G.A. (1966) -  
Un gisement de zinckénite de l'Asie centrale (en russe).  
Dokl. Akad. Nauk SSSR, 166, p. 1416-1419.

NEMOTO T., HAYAKAWA M., TAKAMASHI K. et OANA S. (1957) - Report on the geological, geological and geochemical studies of Showashinzan, Usu Volcano Geol. Surv. Japan Rpt. 170.

NOWACKI W. et BAHEZRE C. (1963) - Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einiger Sulfosalze aus dem Lengenbach (Binnatal, Kt Wallis) mit Hilfe der elektronischen Microsonde.  
Schweiz. Min. Petr. Mitt., 43, p. 407-411.

NUFFIELD E.W. (1945) - Studies on mineral sulfo-salts : X-andorite, ramdohrite and fizelyite. Trans. Roy. Soc. Canada, Ser III,  
39, p. 41-49.

OZEROVA N.A., NABOKO S.I. et VINOGRADOV V.I. (1971) - Sulphides of Mercury, Antimony and Arsenic, forming from the active thermal spring of Kamchatka and Kuril Islands.  
Soc. Mining Geol. Japan, Spec. Issue 2, p. 164-170 (Proc. IMA-IAGOD Meetings' 70).

PEACOCK M.A. (1946) - Crystallography of artificial and natural smithite,  
Toronto Univ. Stud., Geol. Ser., 51, p. 85-87.

PIERROT R., PICOT P. et POULAIN P.A. (1972) - Inventaire minéralogique  
de la France, 05 - Hautes-Alpes, éditions du B.R.G.M., 184 p..

ROBINSON S.C. (1948) - Synthesis of lead sulphantimonides. Econ. Geol.,  
43, p. 293-312.

ROGER G. (1969) - Sur la minéralogie et le mode de gisement des filons à  
antimoine du district de Brioude-Massiac (Haute-Loire, Cantal).  
Bull. Soc. Min. Cristall., 92, p. 76-85.

ROLAND G.W. (1968) - Synthetic trechmannite. Amer. Min. 53, p. 1208-1214.

ROLAND G.W. (1972) - Concerning the  $\alpha$  - AsS  $\longleftrightarrow$  realgar inversion.  
Canad. Miner. 11, p. 504-513.

SCHROLL E. (1953) - Über Unterschiede in Spurengehalt bei Wurtziten,  
Schalenblenden und Zinkblenden.  
Sitzungsber. Ost. Akad. Wissensch., pt 1, 162 n° 5.

SEELIGER E. (1954) - Ein neues Vorkommen von Hutchinsonit in Wiesloch  
in Baden. N. Jb. Min. Abh. 86, p. 163-178.

SKINNER B.J., WHITE D.E., ROSE H.J. and ROBERT MAYS (1967) - Sulfides  
associated with the Salton Sea geothermal brine.  
Econ. Geol. 62, p. 316-330.

SMITH G.F. et PRIOR G.T. (1907) - Red silver minerals from the Binnenthal,  
Switzerland. Min. Mag. 14, n° 67, p. 293.

SOLLY R.H. (1905) - Some new minerals from the Binnenthal, Switzerland.  
Min. Mag. 14, n° 64, 74.

VASILJEV V.I. (1968) - Problèmes de métallogenèse du mercure (en russe).  
Editions "Nauka", 1968, 111 p..

VASILJEV V.I. (1970) - La minéralogie et quelques problèmes de la genèse des gisements de mercure de la zone plissée d'Altaï-Sayansk (en russe). Thèse, Novosibirsk.

VATIN-PERIGNON N., JUTEAU Th. et LE FORT P. (1973) - Les filons du massif du Pelvoux. Géologie alpine, T 48, 1972, p. 207-227.

VERNET J. (1965) - La zone "Pelvoux-Argentera". Bull. Serv. Carte Géol. de la France, n° 275 T. LX, 294 p..

WANG N. (1973) - A study of the phases on the pseudobinary join  $PbS.Sb_2S_3$ . N. Jb. Miner. Mh., 2, 79-81.

WEISSBERG B.G. (1969) - Gold silver ore-grade precipitates from New-Zealand thermal waters. Econ. Geol. 64, 1969, p. 95-108.

WHITE D.E. (1965) - Metal contents of some geothermal fluids. Symposium "Problems of postmagmatic ore deposition". Vol. 2, Prague 1965.

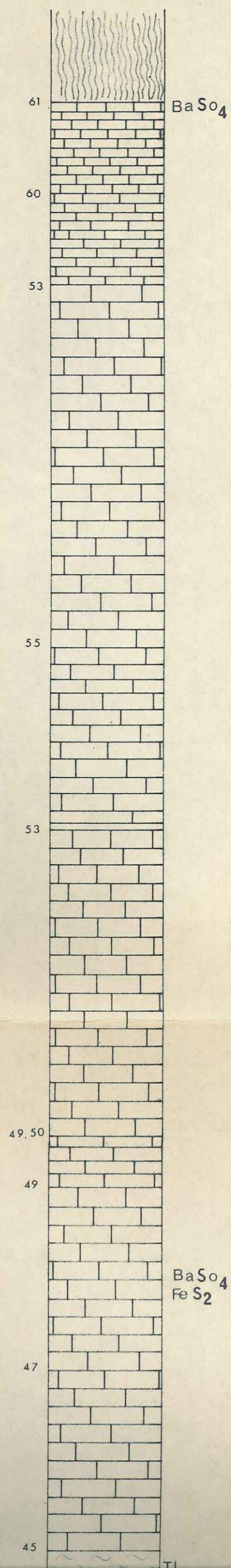
WHITE D.E. (1968) - Environment of generation of some base metal ore deposit.  
Econ. Geol., 63, p. 301-335.

YOUNG B.B. et MILLMAN A.P. (1964) - Microhardness and deformation characteristics of ore minerals. Trans. Inst. Mining Met., 73, p. 437-466.



## COUPE GÉOLOGIQUE DU COMPARTIMENT N° 0

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





45

Tl  
AsS

FeS<sub>2</sub>

43

Ba So<sub>4</sub>

38

37

27

26.50



27

26,50

24,50

SiO<sub>2</sub>

22

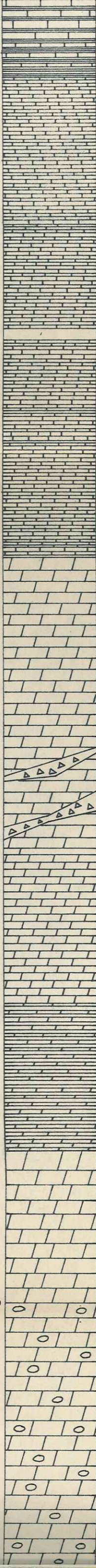
20

16

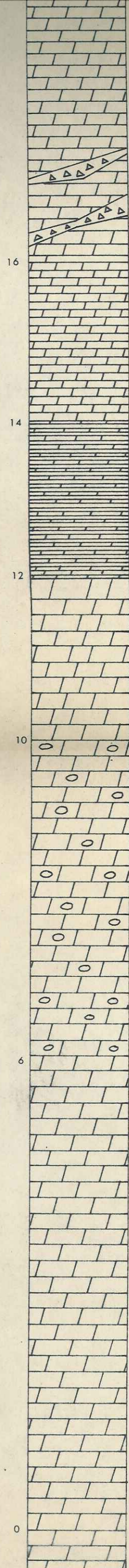
14

12

10



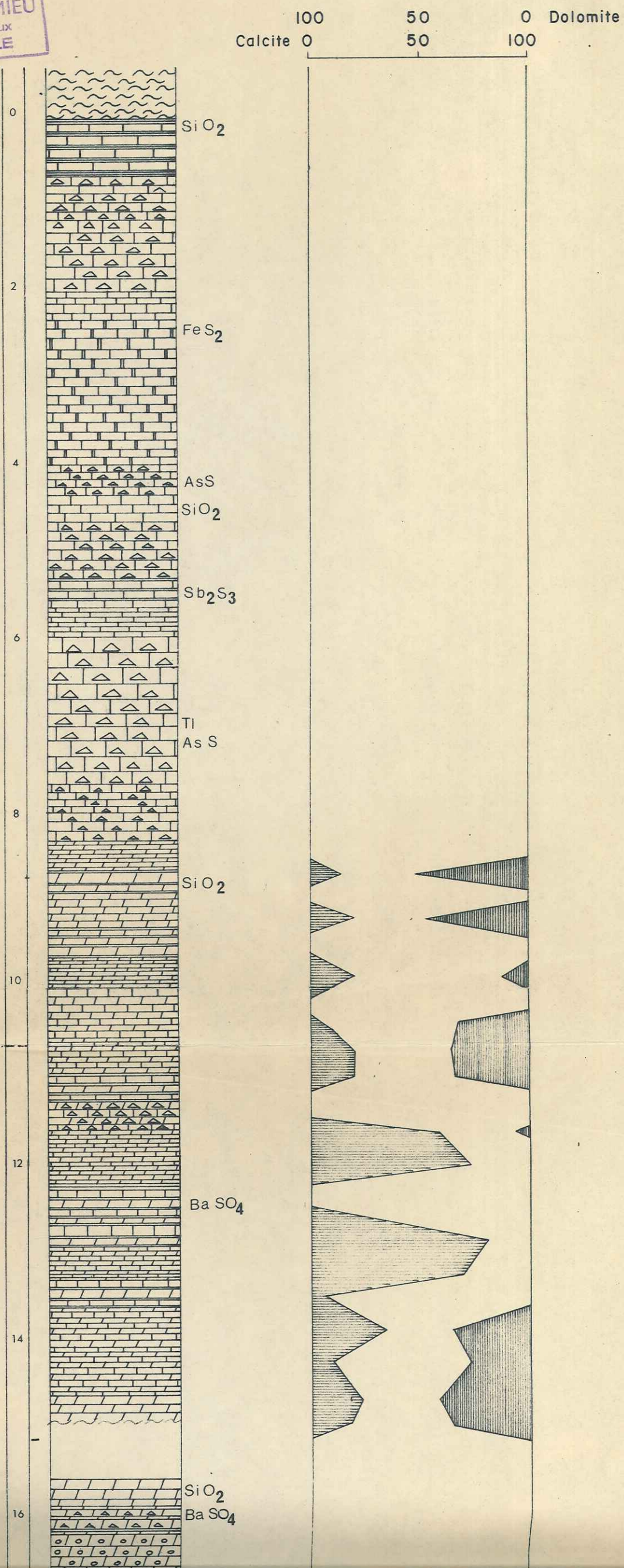




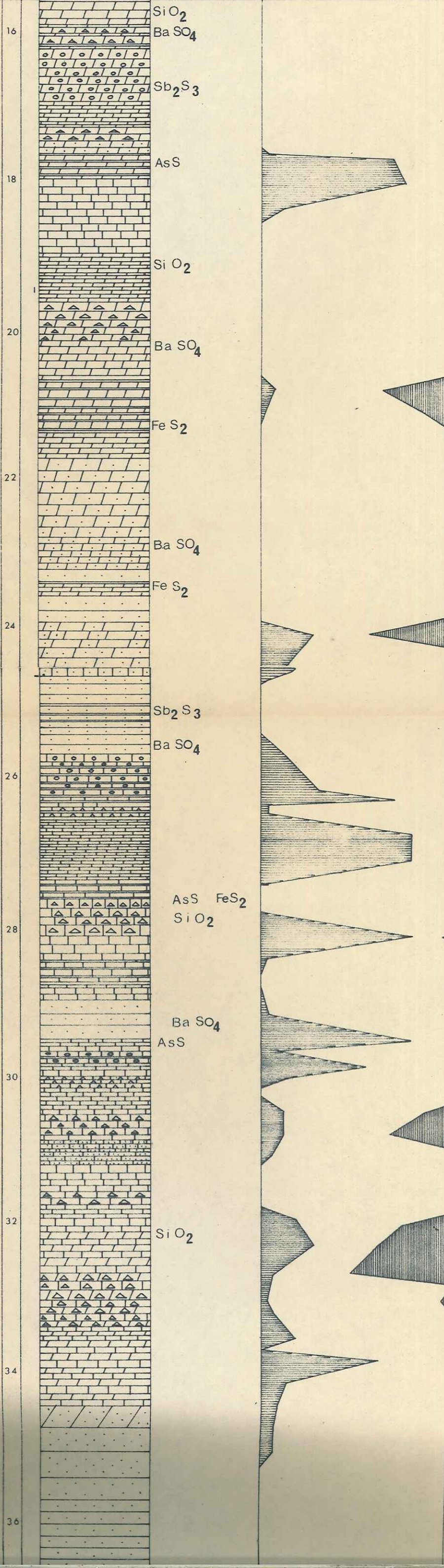


## COUPE GÉOLOGIQUE DU COMPARTIMENT N° 1

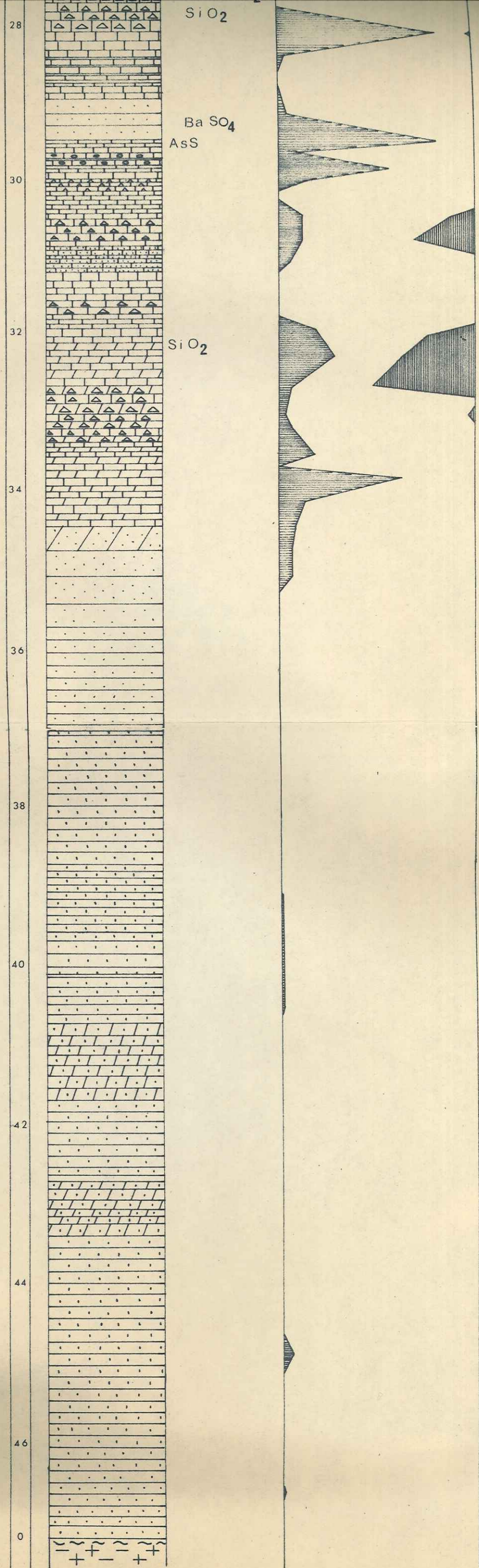
UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE  
et MÉDICALE de GRENOBLE  
INSTITUT DOLOMIEU  
Rue Maurice-Gignoux  
38 - GRENOBLE









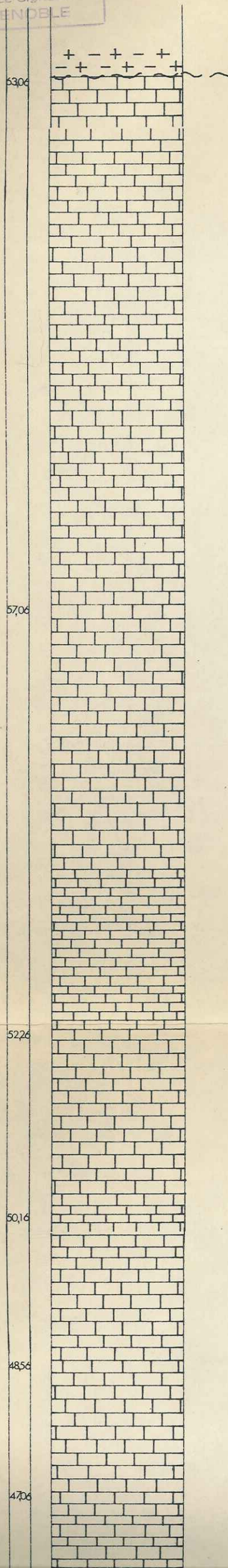




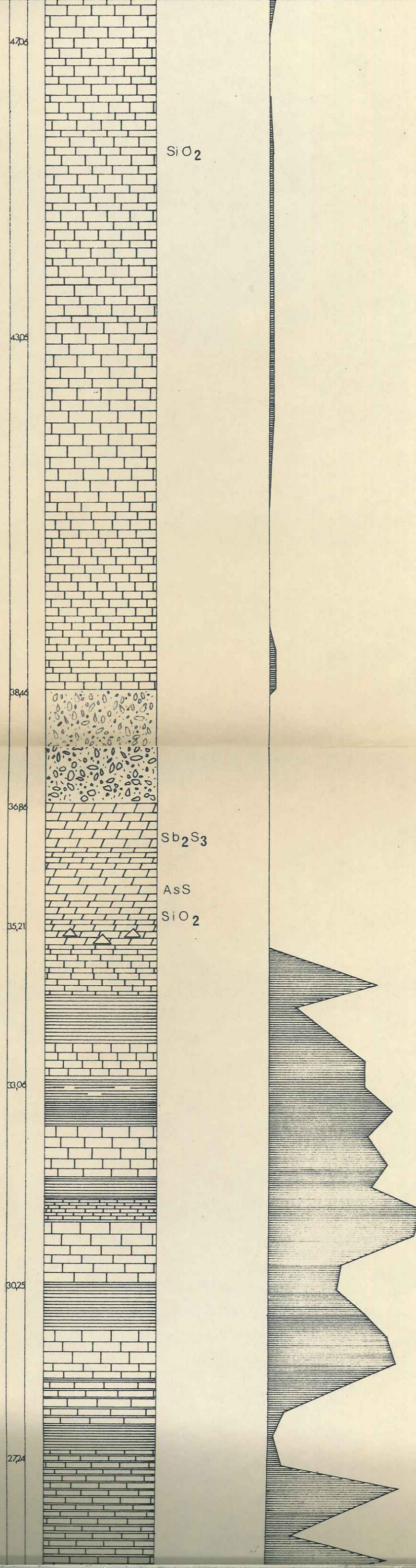
## COUPE GÉOLOGIQUE DU COMPARTIMENT N°2

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

100 50 0 Dolomite  
Calcite 0 50 100









25,31

23,33

20,69

SiO<sub>2</sub>

AsS

18,05

FeS<sub>2</sub>

Zone

minéralisée

16,16

AsS

SiO<sub>2</sub>

Fe

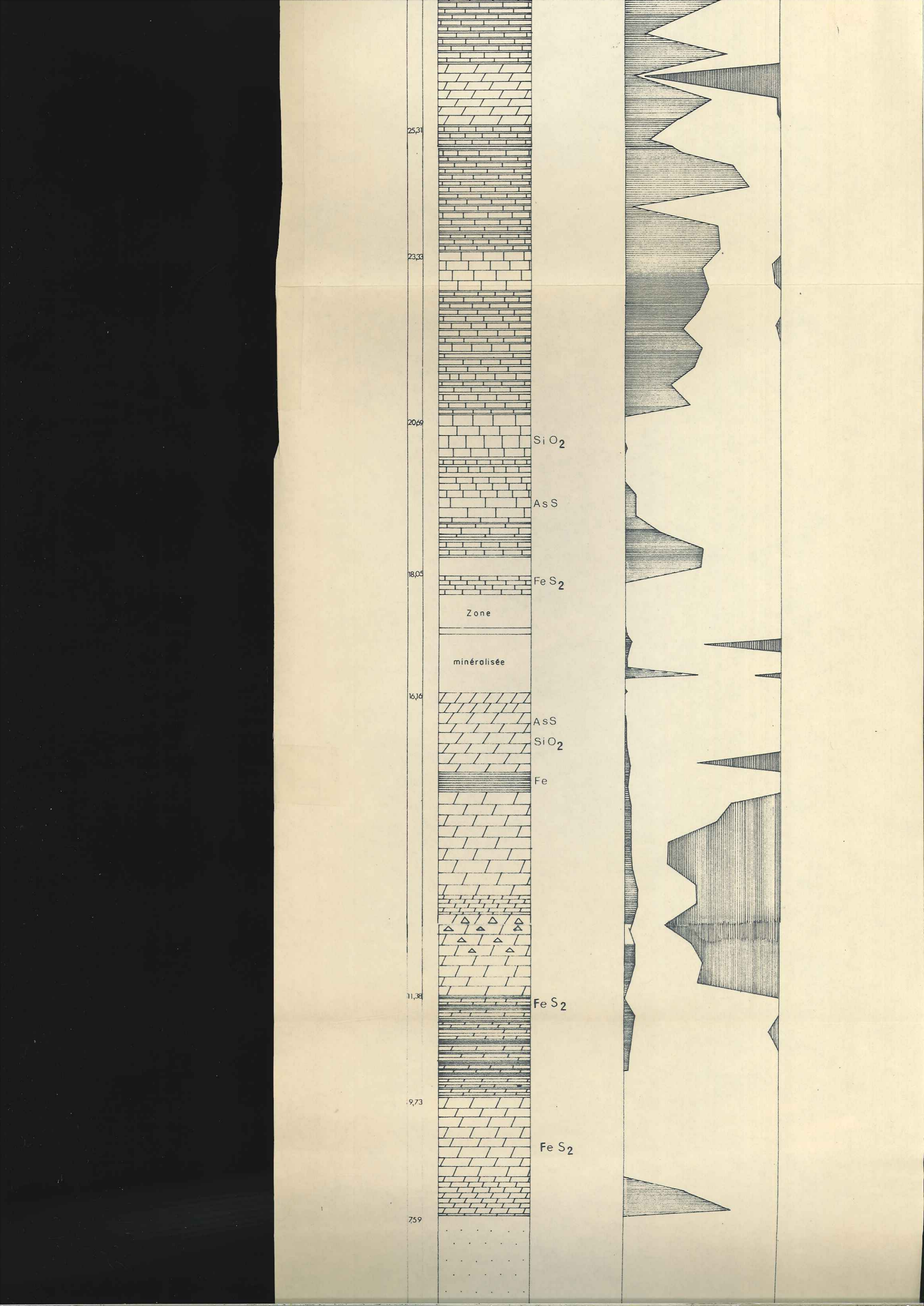
11,38

FeS<sub>2</sub>

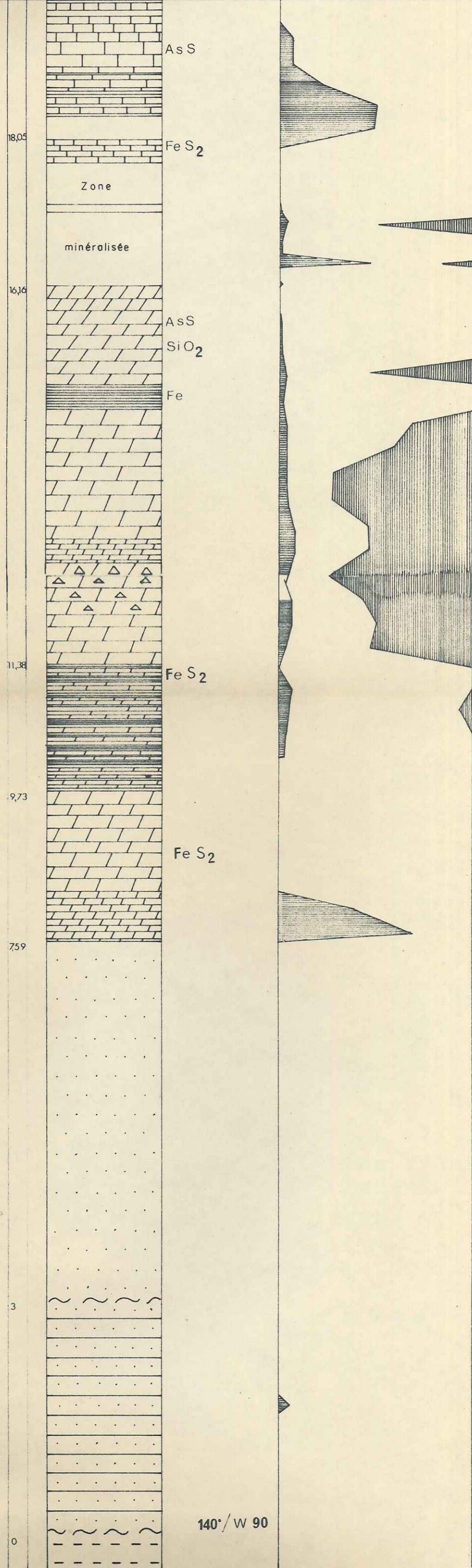
9,73

FeS<sub>2</sub>

7,59



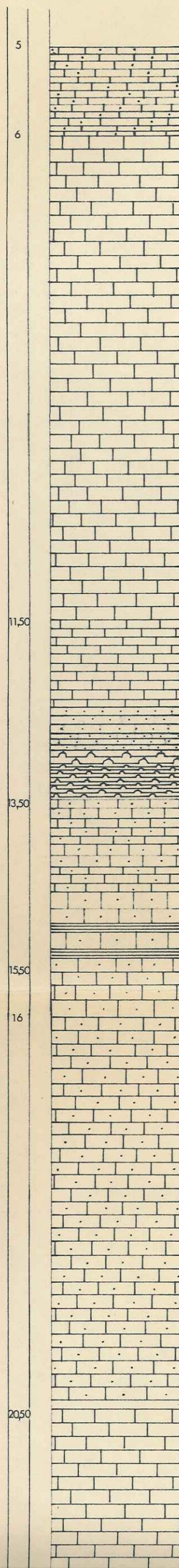






## COUPE GÉOLOGIQUE DU COMPARTIMENT N° 3

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





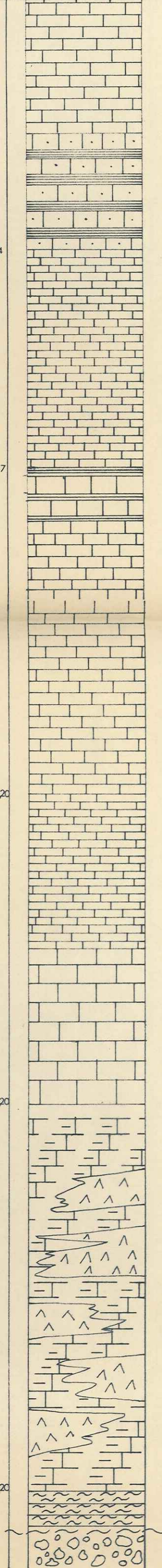
24

27

31.20

35.20

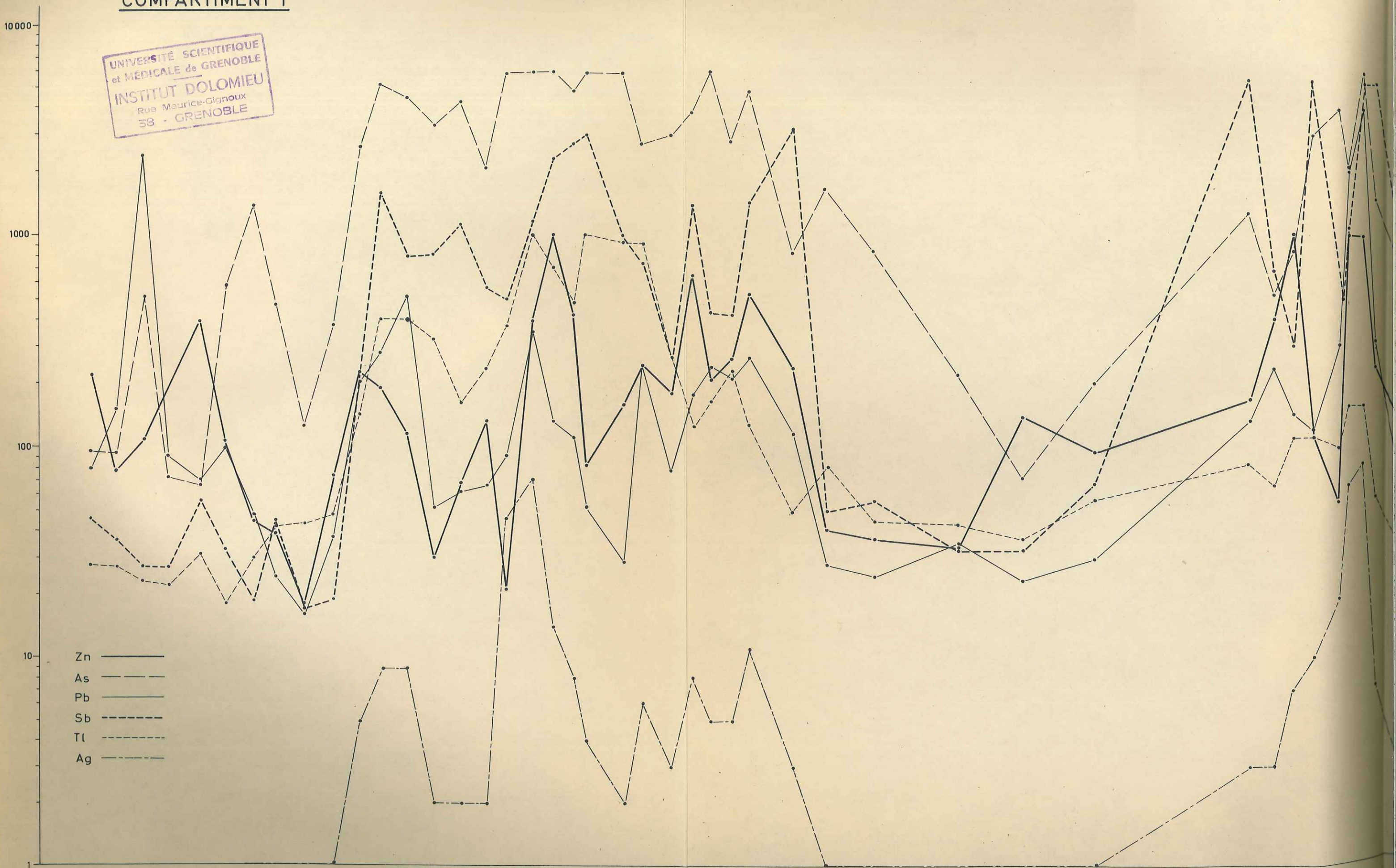
40.20



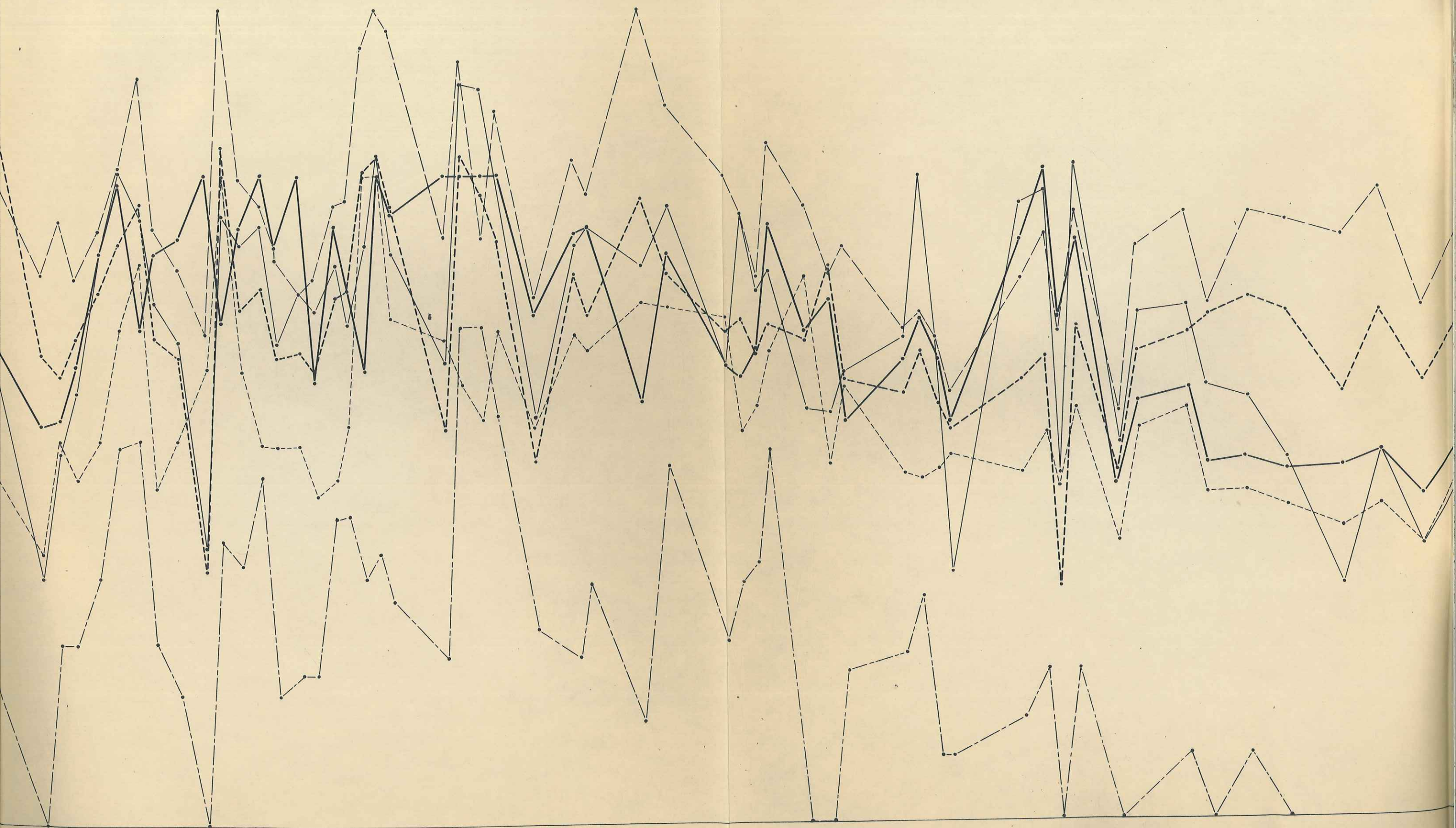


COMPARTIMENT 1

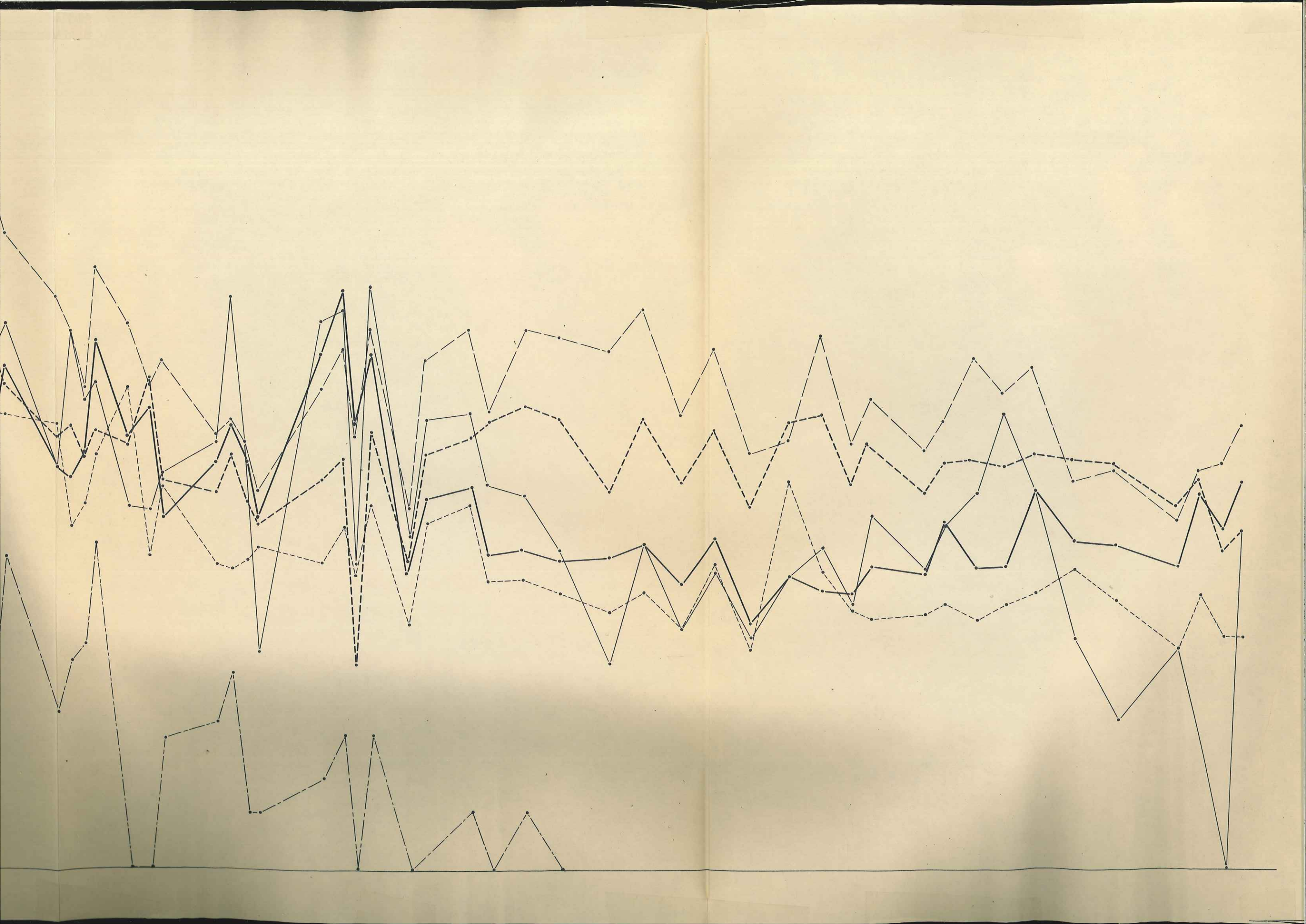
UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE  
et MÉDICALE de GRENOBLE  
INSTITUT DOLOMIEU  
Rue Maurice-Gignoux  
38 - GRENOBLE













COMPARTIMENT 2

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

- Zn —————
- As - - - - -
- Pb —————
- Sb - - - - -
- Tl - - - - -
- Ag - - - - -

