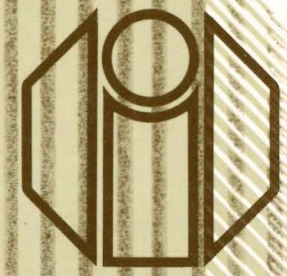
Le gisement des Malines (Gard)

Zn, Pb



Penarroya

ISBN 2-903201-05-6

Le gisement des Malines (Gard)

Zn, Pb

F. FOGLIERINI, A. BERNARD et G. VERRAES

Avec la participation de :

J.-C. FABRIÉ, Y. GINEYS, J. G. MICHAUD et J. C. NICOLAS

PEÑARROYA

Société Minière et Métallurgique
33, Avenue du Maine
75751 Paris Cédex 15

26e CGI

Gisements Français
Fascicule E 5

F. FOGLIERINI
S.M.M.P.
Direction Mine-Exploration
33, Avenue du Maine
75751 Paris Cédex 15

A. BERNARD
E.N.S.G.
94, Avenue Delattre de Tassigny
B.P. 452 - 54000 Nancy

G. VERRAES, J. C. FABRIE
S.M.M.P.
Mines des Malines
B.P. 43 - 34190 Ganges

J. G. MICHAUD, J. C. NICOLAS
S.M.M.P.
Division France
1, Avenue Albert Einstein
78190 Trappes Z.I.

Y. GINEYS
S.M.M.P.
Service Géologie-Recherches
07110 Largentière

Résumé

Le district minier des Malines est situé au sud-est du Massif central : il s'agit pour l'essentiel d'amas plombo-zincifères liés, au moins géométriquement, à l'inconformité fini-paléozoïque qui sépare le socle hercynien de sa couverture mésozoïque. En fait, c'est à la faveur d'un horst d'importance régionale, dit de Roquedur-Saint-Bresson, que l'importance minière de cette inconformité s'est progressivement révélée : les minéralisations, en effet, se rencontrent aussi bien dans le socle, sous-discordance, que dans la couverture triasique ou jurassique, mais toujours à proximité de l'inconformité post-hercynienne.

La vocation minière de la région comprise entre Saint-Bresson, Montdardier et Saint-Laurent-le-Minier, remonte à l'antiquité. Aujourd'hui, seule la mine des Malines demeure en activité avec une production quotidienne de 1 000 t de minerai à 7 % métal, en moyenne, dont 6 de zinc pour 1 de plomb. Au reste, le tonnage métal exploité pendant la période industrielle, récente (fin XIX^{e} siècle à nos jours), est estimé à environ 700 000 t, ce qui place le district parmi les gros producteurs européens de métaux non ferreux.

De nombreux géologues se sont attachés depuis la fin de la dernière guerre à l'étude de l'environnement minéralisé des Malines afin d'en mieux saisir les particularités et notamment celles liées à la présence de minéralisations : c'est donc en quatre phases principales, chronologiquement séparables, que sera présentée, à titre d'essai synthétique, l'histoire métallogénique de ce district minier.

1 — C'est au Cambrien moyen (Lénien) que s'individualise la première concentration métallifère. En fait, il s'agit davantage d'anomalies géochimiques en Pb-Zn superposées à des imprégnations pyriteuses diffuses de sédiments pyro et/ou épi-clastiques. D'extension régionale, cette anomalie lénienne ne s'exprime bien que dans des environnements sédimentaires locaux de faible énergie mais caractérisés par des éléments volcano-clastiques fins, parfaitement reconnaissables.

2 — La deuxième concentration identifiable est associée, en très grande partie, à des remplissages sédimentaires de cavités karstiques. C'est en effet lorsque la roche sous-inconformité est constituée par la dolomie cambrienne, et là seulement, que se développe, entre Stéphanien et Rhétien, une paléo-morphologie karstique de grande amplitude. Elle a été emplie avant la fin du Trias par des sédiments internes métallifères. La concentration sulfurée s'est constituée syngénétiquement par rapport à ces sédiments intra-karstiques (influvium) : le fait n'est plus contesté aujourd'hui.

Les phases de karstification se développant au gré de l'épirogenèse du socle carbonaté, la diagenèse de ces sédiments intra-karstiques minéralisés s'avère polyphasée et particulièrement difficile à élucider ; en certains quartiers, des massifs paléozoïques karstifiés et minéralisés ont été démantelés en couches à sulfures détritiques bientôt suivies de nouvelles précipitations chimiques syngénétiques des dolomies marneuses noires qui les supportent (quartier Alby-Fontbonne) et cela avant la fin du Trias, qui marque une accalmie de l'épirogenèse confirmée par la généralité de la transgression marine hettangienne.

3 — Une nouvelle phase épirogénique locale, mais bien marquée par l'émersion de l'île de Gorniès, à l'aplomb des travaux miniers, au Sinémurien, va entraîner de nouveaux phénomènes de dissolution affectant aussi bien le Trias que le socle paléozoïque carbonaté et minéralisé. Un remaniement des minéralisations sulfurées antérieures s'ensuit qui se manifeste par des crustifications fissurales de sulfures et de quartz, souvent scellées par une barytine à habitus caractéristique.

4 — Au Bathonien enfin, une nouvelle transgression marine venant du sud recouvre l'île de Gorniès. La ligne de rivage est toutefois très proche et ce sont des faciès littoraux qui viennent reposer indifféremment sur le socle paléozoïque, le Trias ou le Lias, en fonction des érosions antérieures. Il s'agit de formation de côte basse, sans doute deltaïque, où la configuration des dépôts à haute énergie (entroquites, calcaires oolithiques) ménage des aires à sédimentation calme en environnement réducteur, véritables pièges à métaux lourds. De très gros amas interstratifiés dans la dolomie bathonienne (Cabrières) relèvent apparemment d'une telle genèse. Aujourd'hui inaccessibles, c'est par analogie avec des gisements voisins supportés par la même dolomie bathonienne que l'on peut avancer pareille proposition.

C'est grâce à une disposition géométrique acquise lors des plissements hercyniens que les premières concentrations cambriennes ont pu être mobilisées et piégées dans les cavités karstiques permo-triasiques. De même le remaniement sédimentaire des concentrations karstiques antécédentes par la transgression bathonienne rend compte, tout au moins de manière plausible, des minéralisations stratoïdes du Dogger.

Ce n'est que récemment que ces quatre phases principales de minéralisation on pu être différenciées et particularisées. En effet, les phénomènes d'oxydation, récents ou actuels, oblitèrent grandement l'aspect des minerais et leurs relations avec l'encaissant ; c'est essentiellement par l'observation géologique, au fond, des fronts de taille, au fur et à mesure de leur apparition, que cette conception synthétique a pu être élaborée.

Abstract

The Malines mining district is located near the Southern border of the Massif central. The mineralizations now worked in that district are primarily lead and zinc ore bodies, linked, at least geometrically, to the Late Paleozoic unconformity which divides the Hercynian basement from its Mesozoic cover. The mining importance of this unconformity arose gradually as the knowledge of the Roquedur-Saint-Bresson horst structure improved through careful mapping and prospecting.

Indeed, prospects and mineralizations occur in the basement below the unconformity, as well as in the overlying strata, above the unconformity, i.e. in the Triassic or Bathonian cover.

Mining activities in the area included between « Saint-Bresson, Montdardier, Saint-Laurent le Minier » appeared in olden times. Les Malines is today the only mine in working, yielding 1 000 t/day of ores, average metal grade 7 % with 6 % zinc and 1 % lead. The total production during the industrial period (i.e. since the end of the XIXth century) was reported to 750 000 t metal which makes the district ranks among the biggest European base metal producers.

Since the end of the last World War, many geologists strove after a better understanding of the mineralized environment. Indeed, discovery of new blind mineralizations begins by selecting area defined by geological features implying a high probability of an ore body. Four main phases are needed to give a simple correct idea of the metallogenetic processes in the Malines mining district.

1) During the Mid-Cambrian, the first mineralized concentration occurred : it is a rather wide Pb-Zn geochemical anomaly coinciding with a weak pyritic impregnation of pyro and or epi-clastic sediments. Extensive on a regional scale, this Cambrian anomaly exhibits higher grades but in restricted sedimentary environnements of low energy, caracterized by fine-grained, euxinic volcanoclastic sediments.

2) The second concentration to be identified appears to be connected with the sedimentary fillings of dissolution cavities. There, the rock below the unconformity is a Cambrian dolomite, and there only, between Stephanian (Upper Carboniferous) and Rhetian (Upper Triassic), developped an extensive and deeply marked karstic paleo-morphology of the continental landscape. These forms (either internal or external) were filled before the end of Triassic by typical intra-karstic sediments (influvium) which syngenetically deposited iron and base metal sulphides. At least, intrakarstic sedimentation and base metal concentration were contemporaneous : this fact is no longer contested in the Malines district.

Karst development being largely dependent of the epirogenetic upflit of carbonate basement, the diagenetic evolution of intra-karstic sediments appears to be polyphased ; it is not easy to give a clear restitution of that type of mineralization. In some mining districts, karstified and mineralized bodies have been weathered and scattered into detrital and also mineralized beds. Chemical sedimentation of dolomites and sulphides puts an end to these particular but simple sedimentary episodes. All these events occured before the end of Triassic which interrupted the Post-Hercynian epirogenesis, i.e. the extensive Hettangian marine transgression.

3) In Lotharingian (i.e. Upper Sinemurian), a new and local epirogenetic uplift resulted in the emersion of the Gorniès island. Again, weathering of carbonate massifs brought about varied dissolution in the underlying rocks, either Mesozoic or Paleozoic and, unavoidably, in the mineralized bodies which are known to be more vulnerable than carbonate rocks to weathering. Reworking of earlier mineralization during Liassic episode gave new ore types, i.e. fissural and crusty sulphide and quartz often sealed by a late milky baryte.

4) Lastly, in Bathonian, a new marine transgression, coming from the South, covered the Gorniès Island and the Saint-Bresson horst. The Bathonian shorelines were however not far, and shallow water sediments were underlying. Liassic, Triassic or Paleozoic formations of previous erosions. The environment was of flat coast, probably deltaic, where sediments with strong energy (entroquites or oolitic limestones) were traps for base metal sulphides. Indeed, large stratiform deposits (300.000 t metal) occurred within the Bathonian dolomite, at different stratigraphic levels and decidedly related to reducing environment. These deposits are not accessible today.

In conclusion, the first Cambrian volcano-sedimentary mineralizations have been reworked and locally reconcentrated into karstic receptacles formed during the Late Triassic epirogenetic episodes. Likewise, the sedimentary reworking of these second karstic concentrations by Bathonian marine transgression provides a plausible explanation for the above Mid-Jurassic unconformity stratiform mineralizations.

These four mineralizations phases have been separated in time recently, although they locally occur at the same place. Nevertheless, mineral associations, structures of the carrier rocks, successions of crustifications and fillings... make the model sound enough to undertake new explorations. Again it is through patient observation of underground stopes or drill-cores as mining operations and explorations, that the main facts supporting the karstic trapping have been ascertained and the model here presented, gradually built.

Sommaire

1 – L'environnement géologique des minéralisations des Malines 7

1.1 – *Généralités* 7

1.1.1 – Historique minier 7

1.1.2 – Historique scientifique 9

1.2 – *Aperçu géologique régional* 9

1.2.1 – Le socle du horst de Saint-Bresson 9

1.2.2 – La couverture mésozoïque 13

1.3 – *Les inconformités post-hercyniennes aux Malines* 14

1.3.1 – L'inconformité anté-Bathonien supérieur 14

1.3.2 – L'inconformité anté-triasique 14

1.3.2.1 – Les termes inférieurs de la série triasique 14

• Lithostratigraphie 14

• Essai de reconstitution paléogéographique 16

1.3.2.2 – Morphologie de la paléo-surface triasique 17

1.4 – *Conclusions* 20

2 – Les minéralisations des Malines 25

2.1 – *Gisements dans le substratum* 25

2.1.1 – Les amas à remplissage bréchique 25

2.1.1.1 – Morphologie des cavités du réseau principal 25

• Les cavités superficielles 25

• L'amas principal 27

• L'amas fracture 27

2.1.1.2 – Les remplissages 27

2.1.2 – Les amas à remplissage sédimenté 29

Conclusions 29

2.1.3 – Remplissages de cavités épigées 29

Conclusions 30

2.1.4 – Conclusions 30

2.2 – *Gisements stratiformes du Trias* 30

2.2.1 – Les minéralisations du quartier Pomègues (type B) 30

2.2.2 – Les minéralisations des conglomérats 31

2.2.3 – Le conglomérat-brèche des Albys 31

• Le conglomérat-brèche des Albys 31

• Les micro-brèches intraformationnelles minéralisées d'Alby-Fontbonne 31

2.2.4 – Les couches du quartier Alby-Fontbonne 31

2.2.4.1 – Les shales dolomitiques de la couche I 33

2.2.4.2 – Les dolomies vacuolaires de couche I et II 33

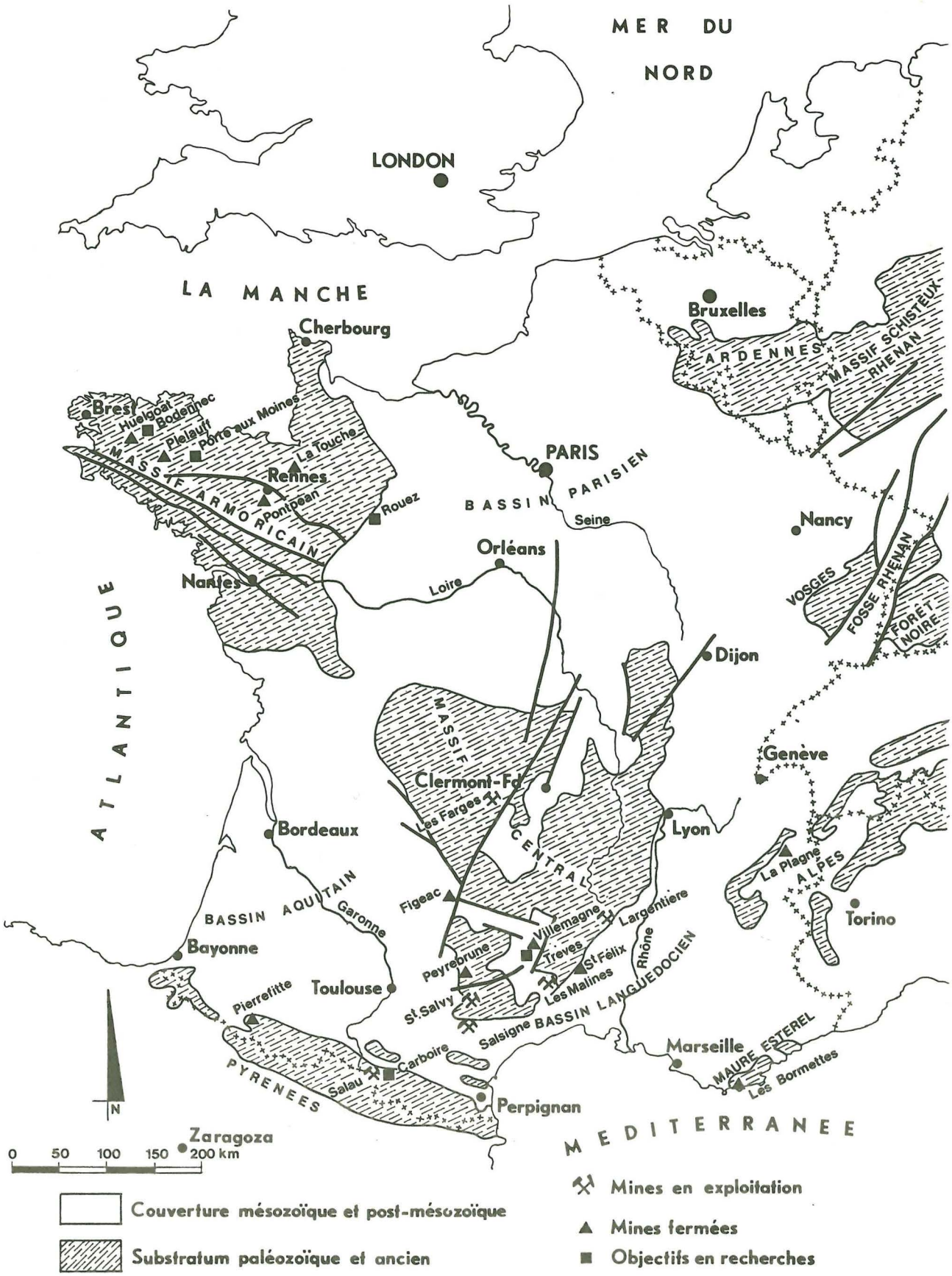
2.2.5 – Conclusions 33

2.3 – *Les remobilisations liasiques* 35

2.4 – *Aperçu sur les amas du Bathonien* 35

2.5 – *Conclusion* 36

3 – Références bibliographiques 55



Les grandes unités géologiques de la France.
Localisation des principales concentrations minérales.

1 — L'environnement géologique des minéralisations des Malines

1.1 — Généralités

Le district minier des Malines est situé à l'extrême sud-est du Massif central, là où les formations mésozoïques des Causses et de la bordure sous-cévenole viennent recouvrir en discordance angulaire les formations paléozoïques du socle varisque. Plus précisément, c'est à la faveur d'un horst d'importance régionale, le horst de Saint-Bresson, que l'importance minière de cette inconformité s'est progressivement révélée.

Géographiquement (fig. 1), c'est à 45 km au nord-ouest de Montpellier, à proximité des villes de Ganges et du Vigan, que l'on découvre, au pied même des rochers de la Tude et du pic d'Anjeau, dans le vallat de Crenze, les infrastructures de l'exploitation minière actuelle : bureau, magasins, laverie, bassin de décantation... Le pays est boisé, résineux, châtaigniers, chênes verts, et pauvre : de petites exploitations agricoles « de montagne » n'y survivent que grâce à l'apport d'un salaire industriel (de mineur éventuellement) de l'un des membres de la famille. Des bonneteries issues de l'industrie de la soie, aujourd'hui en désuétude, subsistent encore dans la région de Ganges. C'est dire qu'avec ses 187 emplois dont 8 cadres et 46 techniciens, pour la plupart originaires de la région, la mine constitue un facteur économique local non négligeable.

1.1.1 — Historique minier

La mine des Malines proprement dite n'a fait l'objet d'exploitation que depuis un siècle. Auparavant, dans le district, les points d'attaque, reconnaissance d'indice ou exploitation artisanale, ont été innombrables. La plupart concernent des formations paléozoïques où se rencontrent très fréquemment des placages, remplissages fissuraux, voire de petits amas de barytine à bournonite : c'est l'argent associé à ce sulfo-antimoniure (jusqu'à 5 kg/t de tout-venant) qui, semble-t-il, retenait l'attention de ces prospecteurs, antiques et anciens.

Trois périodes principales d'activité minière ont été dégagées par les historiens : la période gallo-romaine (2e au 5e siècle après J.C.), le Moyen-Age (11e au 15e siècle) et la période moderne (19e-20e siècles). Cette dernière commença lorsque la forte demande en métaux due aux guerres napoléoniennes et à l'industrialisation entraîna une véritable ruée vers les minerais métalliques, et les Cévennes, réputées riches en raison précisément des prospections antérieures.

Régionalement, on exploita tout d'abord le fer à Saint-Julien-de-la-Nef, à Ferrières, au Mont Méjean,... puis des calamines aux Avinières, à La Sanguinède, au Mas Séguin, au Mas Lacombe... (fig. 3). Dans le même temps, les espaces non couverts par des concessions firent l'objet d'exploration par tranchées et galeries. L'engouement fut tel qu'« amateur » naïf et « prospecteur » commandité par des groupes de bourgeois attirés par l'aventure minière se retrouvèrent, perplexes, sur de maigres indices limonitiques : faute de capitaux pour poursuivre, la plupart de ces travaux s'arrêtèrent sitôt commencés. Ce fut pourtant l'un d'eux qui, vers 1880, permit la découverte d'un gros amas calaminaire dans les dolomies bathoniennes au lieu-dit « les Malines ». Baptisé « André » (fig. 6 et 9), cet amas se révéla par la suite fort riche et important, suffisamment en tout cas pour qu'une société créée afin de l'exploiter sous le nom de Société des mines des Malines obtienne la concession pour plomb, zinc et métaux connexes, le 26 juin 1885.

Les minéralisations constituées de smithsonite, cérusite, blende, galène et d'un peu de barytine, étaient triées à la main, enrichies par grillage avant d'être expédiées par la gare de Ganges. Fort rentable, l'exploitation se poursuivit à un rythme accéléré jusqu'en 1934 où, à la suite de la crise économique et du manque de réserves, cette première phase de l'exploitation moderne prenait fin. Toutefois, et ainsi que le mentionne la monographie de G. Drapier (1912), c'est à la suite d'une erreur de géomètre que les exploitants, qui conservaient systématiquement les marnes triasiques sous leurs travaux, traversèrent la formation et découvrirent sous celle-ci des amas sulfurés barytiques, dont le minerai se prêtait fort mal à l'enrichissement alors purement gravimétrique.

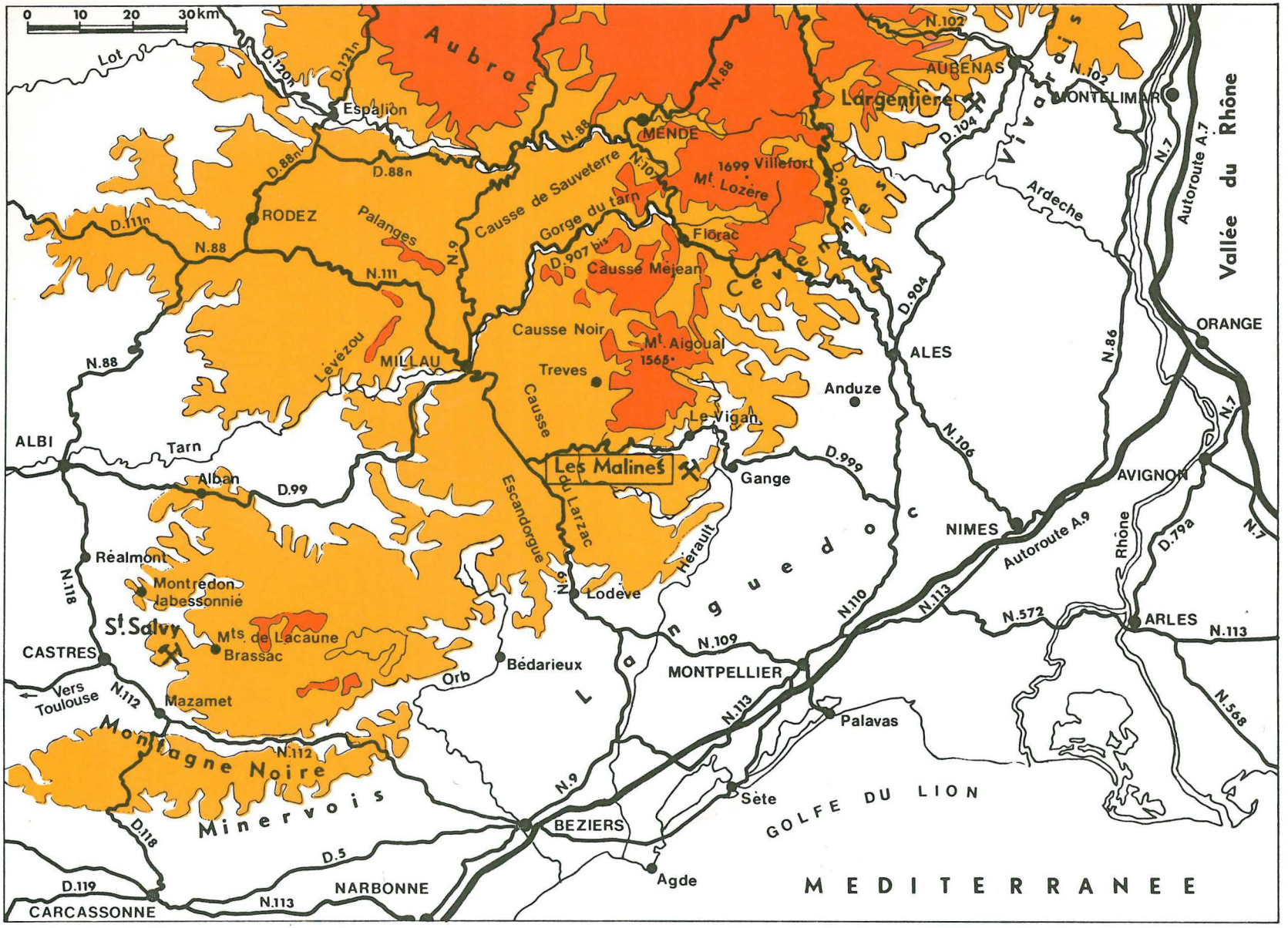


FIG. 1. — Les régions naturelles du sud du Massif central. Localisation géographique de la mine des Malines.

Physiography of southern Massif Central. Location of Les Malines mine.

au-dessus de 1 000 m

de 500 m à 1 000 m

C'est en 1941 que la Société minière et métallurgique de Peñarroya d'abord associée à la Société des mines des Malines, puis seule, entreprit de nouvelles recherches qui conduisirent, grâce à la mise en évidence de réserves sans cesse renouvelées à une exploitation continue jusqu'à nos jours. La capacité de l'usine de valorisation par flottation différentielle fut progressivement portée de 250 t/j à 700 t/j, 1 000 t/j et 1 200 t/jour.

1.1.2 – Historique scientifique

De très bonne heure, les indices minéralisés de la région de Saint-Laurent-le-Minier furent cités : E. de Genssanne (1779), A. Caillaux (1875), E. Dumas (1875), S. Czyskowski (1884), pour ne rappeler que les auteurs des travaux les plus diffusés. Toutefois, le premier qui fit état, en particulier, de la mine des Malines et de sa genèse est sans conteste le « garde-mine » M. Bonne (1884) qui rattachait les minéralisations alors connues au Bathonien et, eu égard à la mode d'alors, les rapportait à des phénomènes exhalatifs.

L'étude métallogénique du district ne commença réellement qu'avec L. de Launay qui, en 1897, décrivait les minéralisations supergènes des Malines à l'appui de sa théorie de la formation des calamines. Par la suite, G. Drapier (1912) publia la première monographie de la mine des Malines, monographie dont s'inspirèrent plus ou moins tous les auteurs ultérieurs quant à la description du gisement : M. Grandjean (1927), et même E. Raguin (1949), se réfèrent à la série stratigraphique, inexacte sous le Bathonien, invoquée par Drapier. En 1950, la genèse des minéralisations des Malines est alors envisagée comme un phénomène de substitution hydrothermale, théorie qui, en l'absence de toute roche plutonique intrusive ou effusive dans le district, paraît aujourd'hui en retrait des idées de Bonne, car, pour le moins, les concentrations métallifères du Bathonien sont bien syngénétiques de leur roche-support.

Bref, la reprise des activités de recherche et d'exploitation minière en 1941 conduisait à travers les rapports internes de la Société Peñarroya au dépôt d'une première note aux Comptes rendus de l'Académie des sciences : sous la plume de F. Fogliérini (1955), l'attribution au Trias des marnes situées sous la dolomie bathonienne d'Anjeau éclairait d'un jour nouveau la compréhension de la genèse des couches minéralisées d'Alby-Fontbonne (Bernard, 1955). Ces travaux préludaient à une longue série de publications, tant sur les minéralisations sous-cénevoles que sur celles du district Malines proprement dit : Bernard et Fogliérini (1958), Fogliérini et Bernard (1967), Macquar (1968), Bernier et *al.* (1970), Orgeval (1976), Verraes (1976, 1978). Encore que n'ayant pas donné lieu à publication, les travaux de M. Rey consignés dans des rapports internes méritent citation, car ils couvrent le développement des travaux de recherche de 1965 à 1970, tant au fond (travaux miniers) qu'au jour (forages).

Enfin, deux thèses de spécialité sont en cours de préparation sur le thème du remplissage des cavités paléo-karstiques des Malines.

1.2 – Aperçu géologique régional

Fondamentalement, le contexte géologique de la partie méridionale du horst de Roquedur-Saint-Bresson comporte deux ensembles géologiques qui viennent en contact, soit normal et transgressif, soit anormal, par faille : le socle cévenol et sa couverture mésozoïque (fig. 2 et 3).

1.2.1 – Le socle du horst de Saint-Bresson

Le socle sud-cévenol a acquis ses caractères de craton après l'orogenèse hercynienne : c'est dire qu'il s'agit de formations paléozoïques plissées, métamorphisées, traversées par des intrusions granitiques, pénéplanisées pendant le Stéphanien et le Permien.

Sur un socle protérozoïque, localement non affleurant, on peut distinguer quatre ensembles sédimentaires, et, de bas en haut :

– la dolomie de l'Arboussine : c'est une micro-dolosparite, sombre, azoïque, relativement massive qui constitue la base régionale de la série paléozoïque ;

– les schistes de Saint-Laurent-le-Minier (Michaud, 1970) ardoisiers, graphiteux, noirs ou bariolés ; ces pélites montrent fréquemment des nodules dolomitiques parfois organisés en petits bancs ;

– les grès des Falguières (Michaud, 1970) : il s'agit de siltites grauwackeuses, à caractère flyschoïde, de couleur vert à gris bleuté, où s'intercalent localement quelques horizons tuffacés ou laviques.

Longtemps considérées comme superposées, ces deux dernières formations passeraient latéralement de l'une à l'autre par interdigitation de faciès (Verraes, 1979).

– La dolomie de Saint-Bresson et des Malines, les calcschistes et schistes noirs de La Sanguinède et les calcschistes de Fontbouillens : ces formations passent latéralement de l'une à l'autre (Verraes, 1979).

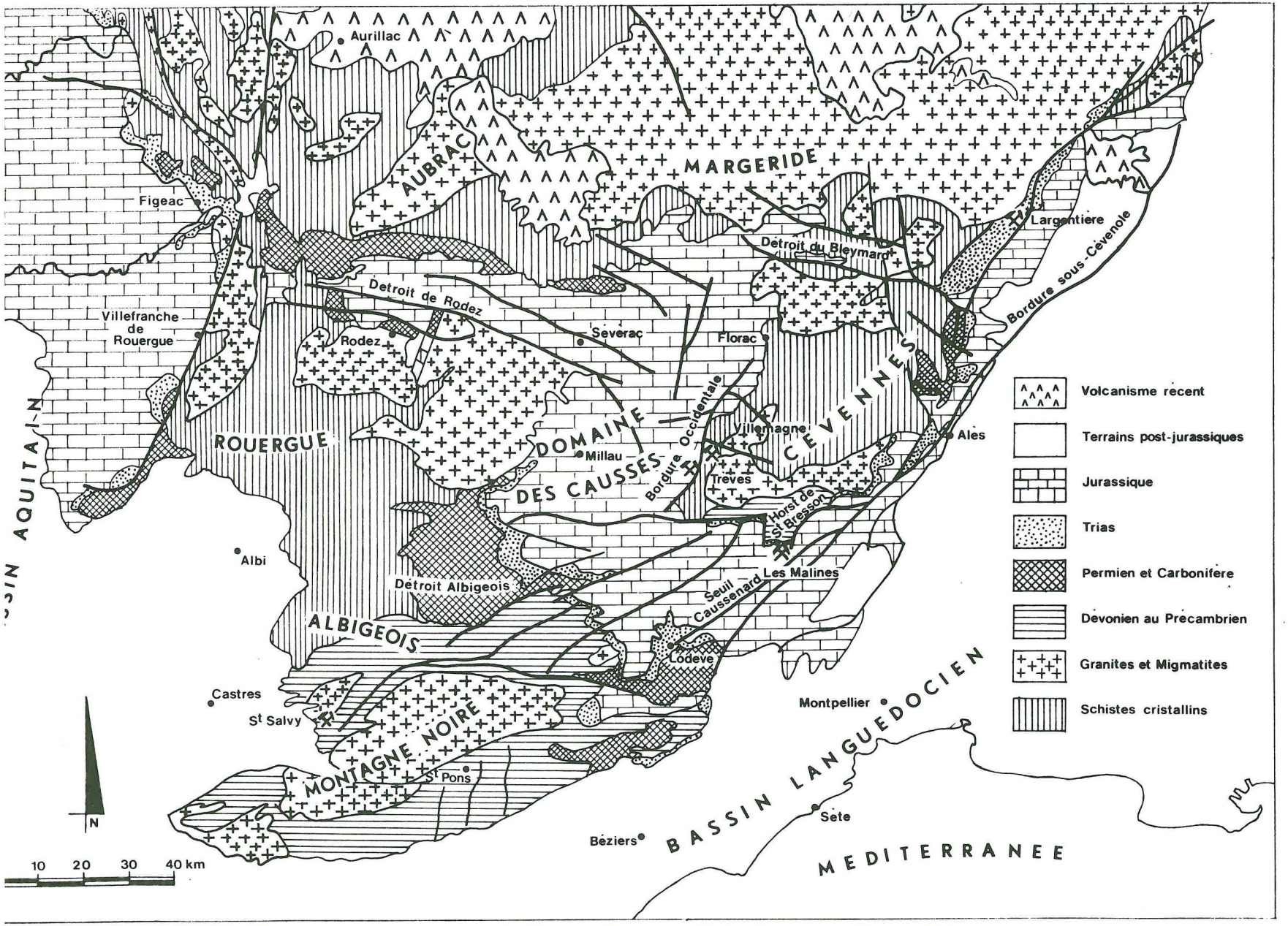
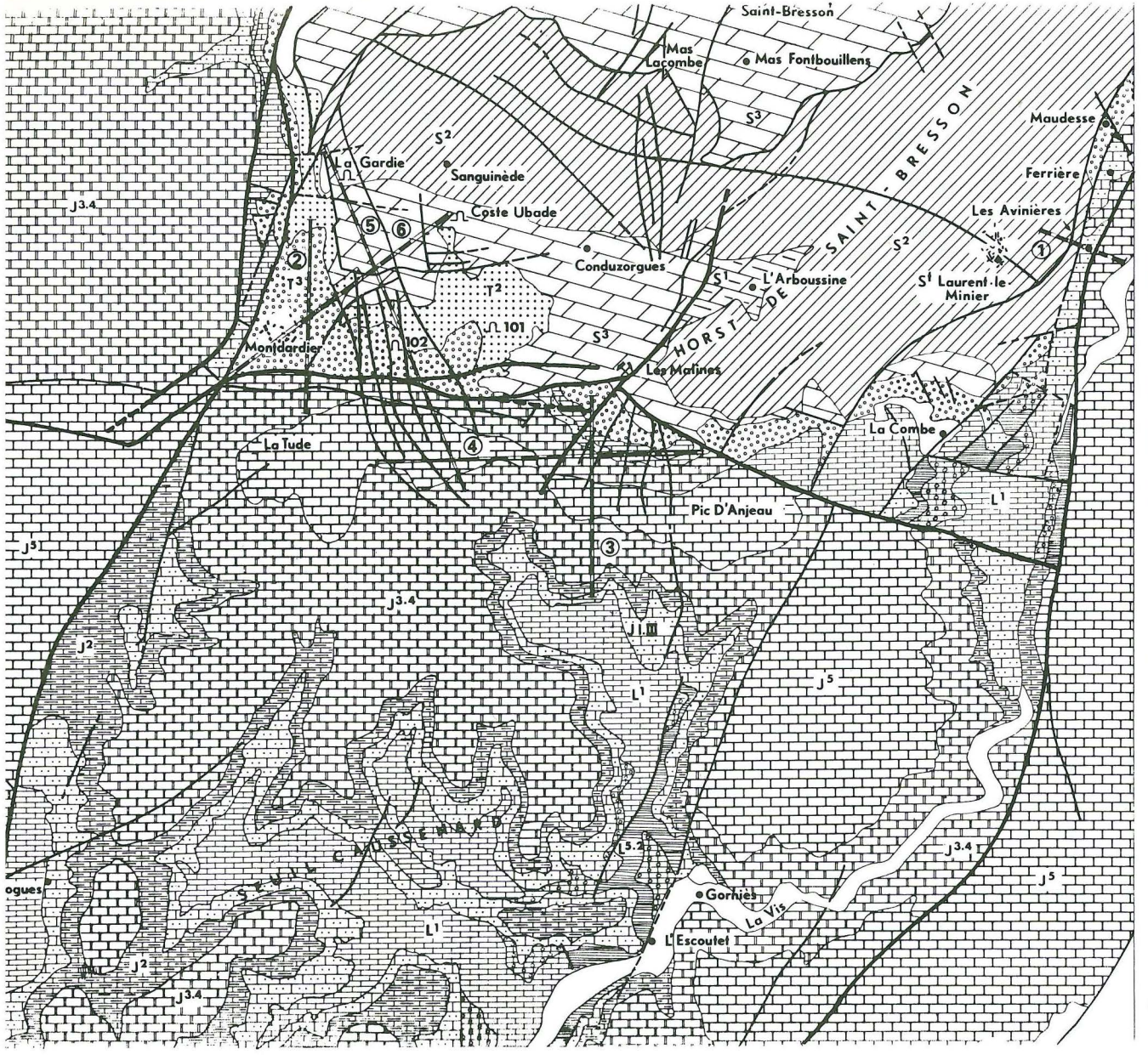


FIG. 2. — Les principales unités géologiques du sud du Massif central.

Main geological units of Southern Massif Central.



J5 Kimméridgien

J3-4 Rauracien. Séquanien

J2 Argovien

J1 III Bathonien

L5-2 Lias moyen et supérieur et Bathonien inférieur

L1 Hettangien et Sinémurien inférieur

T3 Trias supérieur séquence 3

T2 Trias supérieur séquence 2

S3 Cambrien moyen (Lénien) unité de la Sanguinède et de St Bresson

S2 Cambrien inférieur unité des Falguières

S1 Cambrien inférieur dolomie de L'Arboussine

D'après A. Bernard et F. Foglierini 1958
J.C. Macquar, J.G. Michaud, J.P. Palut et P. Bernier 1970, G. Verraes 1978

Avec la contribution de P. Brouder, A. Zizerman

0 500 1000m

② Localisation des Coupes

FIG. 3. — Carte géologique de la partie méridionale du horst de Saint-Bresson. Localisation des coupes figurées par ailleurs (fig. 5, 8, 9, 10).

Geological map of the southern border of the Saint-Bresson horst. The main sections referred to in this paper are located (fig. 5, 8, 9, 10).

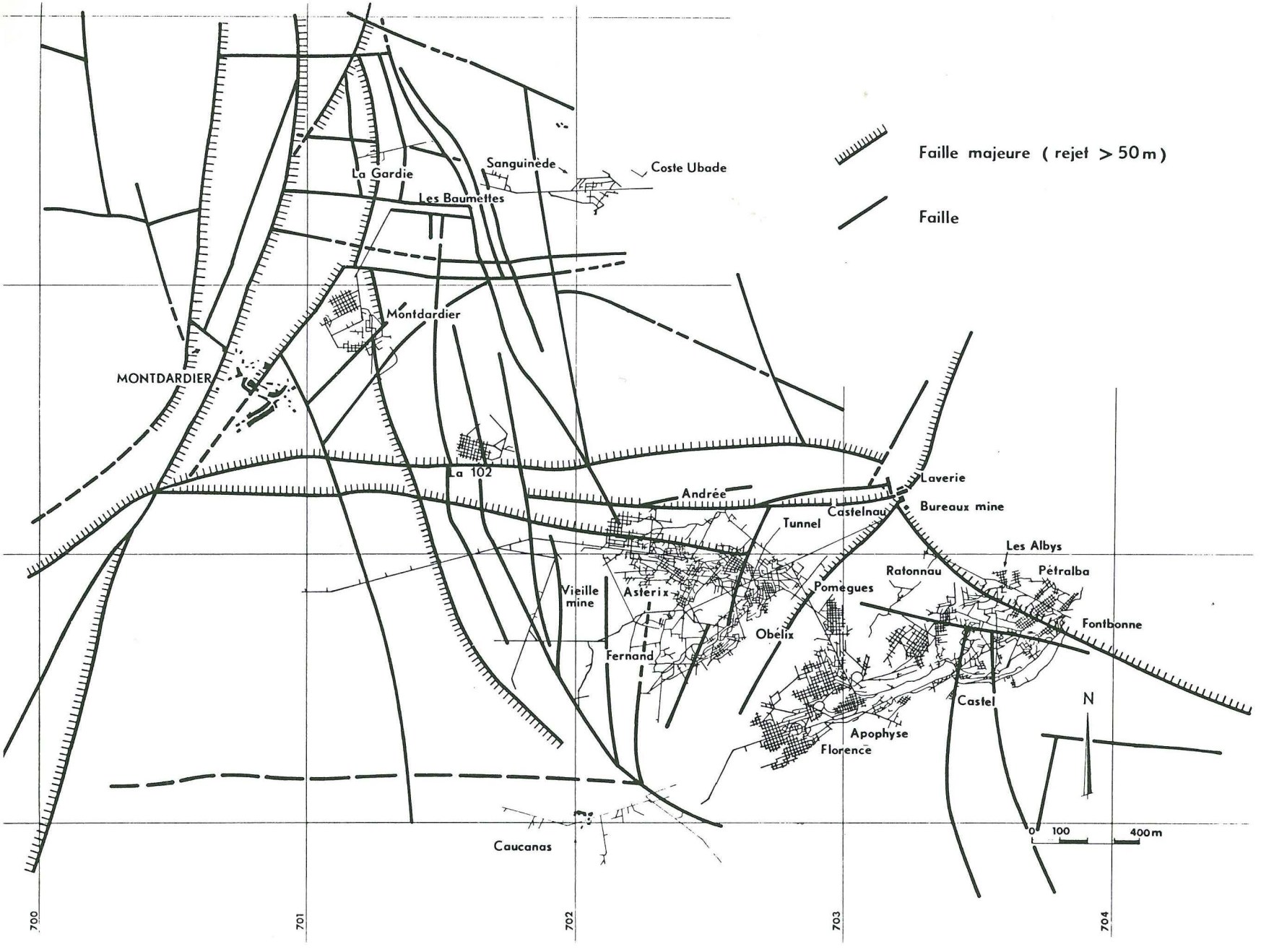


FIG. 4. – Principaux traits structuraux du gisement des Malines.

Main structural features of Les Malines mining district.

– Parfois oolithique, parfois à encroûtements algaires, le terme dolomitique est fossilifère (Archéocyatidés) et a fait l'objet de deux datations paléontologiques : il s'agit de l'Acadien (Thoral et Dębraban, 1935) et, sans doute, plus précisément du Lénien (Debrenne, Orgeval et Verraes, 1976). Vraisemblablement, c'est à la base de cette formation, qu'ont été récemment décrites quelques manifestations effusives (Capus et Orgeval, 1978).

La superposition stratigraphique de ces termes, a été controversée (Gèze, 1949 ; Michaud, 1970 ; Aubague et *al.*, 1977). Les informations nouvelles, tirées notamment de la mise en place récente d'un réseau routier dense, permettent d'assurer la polarité stratigraphique ici retenue et de limiter supérieurement la série par l'horizon fossilifère lénien (base de l'Acadien).

L'orogenèse hercynienne se manifeste par des déformations plicatives, l'acquisition de schistosités, des accidents cassants, le développement d'un métamorphisme épizonal, l'intrusion de massifs granitiques... On reconnaît une première phase principale de déformation, plicative, tangentielle, à plis couchés vers le sud, d'axe W-E, d'amplitude modérée (kilométrique), à schistosité de fracture. Une deuxième phase principale entraîne un écaillage de direction NNW-SSE (ou W-E), redressé, à pendage nord, accompagné par une schistosité de « strain-slip ». Le métamorphisme demeure anti à épisonal pour l'une ou l'autre de ces phases de déformation. Le massif de granite porphyroïde calco-alcalin du Saint-Guiral-Liron et de l'Aigoual se met en place à la fin de cette seconde phase (280-290 M.A.).

Pendant le Stéphanien une phase de compression généralisée (raccourcissement NW-SE) s'exprime par de grands décrochements recoupant toutes les structures antérieures. D'orientations et d'amplitudes diverses, c'est à de tels accidents que l'on doit rapporter la formation du sillon houiller viganais : E-W, dextres, très grande amplitude. Ces accidents ont rejoué en distension et notamment lors de la distension généralisée, post-orogénique, permienne, pendant laquelle, localement, se sont mis en place quelques dykes de dolérites. Ils conditionnèrent aussi, rejouant en distension, bon nombre de dispositifs paléogéographiques mésozoïques (seuil, c'est-à-dire haut-fond plus ou moins permanent ; par ex., seuil Caussenard), rejouant en compression, un certain nombre de traits structuraux pyrénéo-alpins. A un titre ou à un autre, sans doute faut-il leur rapporter aussi l'amorce des accidents sous-cévenols NE-SW ou les grands accidents sénestres NW-SE (ou NNW-SSE) d'amplitude pour le moins kilométrique.

1.2.2 – La couverture mésozoïque

La région sud viganaise demeure vraisemblablement émergée jusqu'au Rhétien. En effet, après la sédimentation stéphanienne, continentale, et très localisée à l'étroit sillon de « Sumène-Le Vigan », le horst de Saint-Bresson n'enregistre plus aucun dépôt sédimentaire durant le Permien et le début du Trias, soit qu'aucun dépôt ne se soit formé, soit que d'éventuels sédiments continentaux aient été remaniés dans des formations plus récentes. Il est par ailleurs peu probable que la transgression marine du Muschelkalk supérieur, bien connue en bordure sous-cévenole, ait atteint la région des Malines. En fait, après la pénéplénation permienne, une tectonique en horst et graben, satellite du rifting vocontien et languedocien, eux-mêmes manifestations lointaines du rifting atlantique, se développe à l'aplomb de la région minéralisée. Capricieuse et polyphasée, cette tectonique triasique sera étudiée en détail, un peu plus loin, car elle semble très directement contrôler l'existence des minéralisations (p. 14 et p. 17).

Cette zone d'épirogenèse triasique des Malines correspond à l'extrémité orientale du haut-fond caussenard qui, après la transgression marine hettangienne se manifestera, à nouveau, par l'émersion au Sinémurien de l'île de Gorniès, Partie Septentrionale du seuil caussenard (Lotharingien à Domérien supérieur, Gottis, 1962).

Compte tenu de l'émersion générale du domaine caussenard au Bathonien inférieur, on localise parfaitement le contour de ce haut-fond du Lias supérieur en suivant, cartographiquement, la discordance angulaire du Bathonien supérieur sur l'Hettangien, le Trias, et même sur le socle cambrien, depuis Sumène jusqu'à l'aplomb des Malines (quartier de Montdéric, de Florence, du puits Lafaille en Vieille Mine) le long de la bordure est et sud-est du horst de Saint-Bresson. Il est probable enfin que la ligne de rivage du Bathonien supérieur, limitant à son tour une lacune de sédimentation n'était pas éloignée de la région des Malines (Gottis, 1952 ; Fondeur et *al.*, 1952).

Une importante régression se manifeste encore entre Callovien supérieur et Oxfordien inférieur. Par la suite, la sédimentation de la plate-forme carbonatée n'est plus particularisée que par le développement au Kimméridgien supérieur d'un récif barrière décalé vers le sud-est par rapport à la structure haute primitive. Toute la région se comporte alors en bassin d'arrière-récif.

La suite de l'histoire sédimentologique de cette couverture ne concerne plus directement la région des Malines. Il convient toutefois de rappeler la vigueur de l'épirogenèse pyrénéo-alpine qui amena le horst de Saint-Bresson dans sa position actuelle, perforant en quelque sorte la plate-forme carbonatée des Causses de Montdardier, de Caucanas et des Montagnes de la Séranne et de la Fage. Plus près de nous encore, la surimposition du cours de la Vis dans son encaissant calcaire date du Pliocène (fig. 3 et 4).

Ainsi, zone haute dès la fin de l'orogenèse hercynienne, le socle varisque de Saint-Bresson et des Malines marquera une tendance à l'épirogenèse positive, discontinue certes mais réactivée à la moindre sollicitation, jusqu'au Pliocène. Deux épisodes épirogéniques, marqués par des inconformités nettes, présentent une importance métallogénique particulière et méritent d'être examinés de plus près.

1.3 — Les inconformités post-hercyniennes aux Malines

Il s'agit en fait de deux paléo-surfaces parfois condensées en une seule lorsque la plus récente (anté-Bathonien supérieur) vient localement attaquer le substrat de la plus ancienne (anté-triasique).

1.3.1 — L'inconformité anté-Bathonien supérieur

La paléosurface correspondante, encore que restreinte à l'île de Gorniès, entre Lotharingien et Bathonien supérieur, représente néanmoins une émersion d'environ 20 M.A.; en fait, elle est moins bien connue que l'inconformité anté-triasique, la transgression marine bathonienne s'avançant sur une surface très plane, a remanié tout sédiment aérien qui aurait pu se former sur l'île de Gorniès et notamment les amas calaminaires qui devaient exister à l'affleurement des amas plombo-zincifères individualisés au Keuper.

Au reste, les contacts « Bathonien-Cambrien » ou « Bathonien-Trias » dus à cette dernière inconformité se sont développés essentiellement à l'aplomb du horst de Saint-Bresson : ils ont été quasi-complètement érodés après la surrection pyrénéo-alpine de ce horst. A l'affleurement, le Bathonien supérieur biseautant l'Hettangien et le Trias atteint presque le socle cambrien, aux Avinières (sud-est du horst); à quelques mètres près toutefois, le contact de transgression « Bathonien-socle » ne peut être observé au jour (fig. 8). Au fond, en revanche, il a été traversé par les travaux miniers (puits Lafaille, quartier Vieille Mine); là, à l'aplomb d'un paléorelief cambrien, le dôme des Malines, les deux inconformités anté-bathonienne et anté-triasique sont confondues (fig. 9).

Eu égard à ces difficultés d'accès et d'observation, il convient de revenir à l'inconformité anté-triasique pour cerner d'un peu plus près le rôle métallogénique d'une paléo-surface à laquelle est indéniablement liée une partie non négligeable des minéralisations des Malines (350 000 t métal).

Remarque :

Il importe de rappeler que l'autre partie des minéralisations Malines (300 000 t métal) est précisément contenue dans le Bathonien supérieur. Elle doit ainsi être considérée comme liée à l'inconformité anté-Bathonien supérieur : ces minéralisations sont simplement sur inconformité, et, pour être tout à fait précis, *immédiatement* sur inconformité.

1.3.2 — L'inconformité anté-triasique

Elle est très importante, et par son extension et par la durée de l'émersion qu'elle représente, du Stéphanien au Keuper, soit environ 100 M.A.

En fait, à un certain moment des temps triasiques, une épirogenèse capricieuse, guidée par les accidents cassants tardihercyniens, se développe à l'aplomb des dolomies de Saint-Bresson. Les horsts vont subir l'érosion et enregistrer les résultats si particuliers de l'action des agents météoriques sur une roche carbonatée, c'est-à-dire entre autres mais d'abord acquérir une morphologie externe et interne : le karst. Les grabens vont eux, recevoir les produits du démantèlement des reliefs : en effet, même calcaires, les reliefs nouvellement créés délivrent des détritiques aux bassins de sédimentation externes, comme ils en délivrent au remplissage de cavité, en sédimentation karstique interne, à un stade évolutif un peu plus avancé du système karstique. Ce n'est en fait qu'en étape de maturité avancée, ou de sénilité, que l'érosion chimique du karst prend le pas sur l'érosion mécanique.

L'analyse litho-stratigraphique et sédimentologique des sédiments de graben livre des informations directes et précieuses sur les rythmes épirogéniques; c'est évidemment par là qu'il convient d'approcher le phénomène avant de tenter une corrélation avec l'enregistrement des formes karstiques et de leur remplissage par sédimentation interne.

1.3.2.1 — Les termes inférieurs de la série triasique

Lithostratigraphie (fig. 5).

De part et d'autre de la faille des Malines, au sud-ouest du horst de Saint-Bresson, le Trias est connu au-dessus de la dolomie cambrienne de Montdardier (ou de Saint-Bresson), à l'affleurement (au nord de la faille) et surtout par travaux miniers et forages (plus de 4 000 m de sondages carottés, au nord comme au sud de la faille).

Quatre séquences (numérotées de 0 à 3 ([1])) ont été reconnues dans ces formations triasiques conservées à l'aplomb d'une aire à tendance positive, à substrat carbonaté.

a — Séquence 0.

On ne la connaît qu'à la base du bassin (poljé) de Montdardier (G. Verraes, 1978) (fig. 10). Apparemment, elle ne se raccorde pas avec les termes décrits par J. C. Macquar (1968) dans la vallée de l'Arre.

Il s'agit de marnes claires à évaporites et lits sulfurés : leur couleur varie alors du gris anthracite au noir.

([1]) Ce qui n'est pas heureux ! Ces séquences ont été découvertes de haut en bas, le vocabulaire minier ayant été fixé à l'époque où seules les trois séquences supérieures étaient connues. On n'a pas jugé bon de modifier les usages miniers en vigueur en raison de la découverte récente d'un terme susceptible d'appartenir à une séquence très inférieure mais sans conglomérat associé connu : d'où l'emploi de cette numérotation, 0.

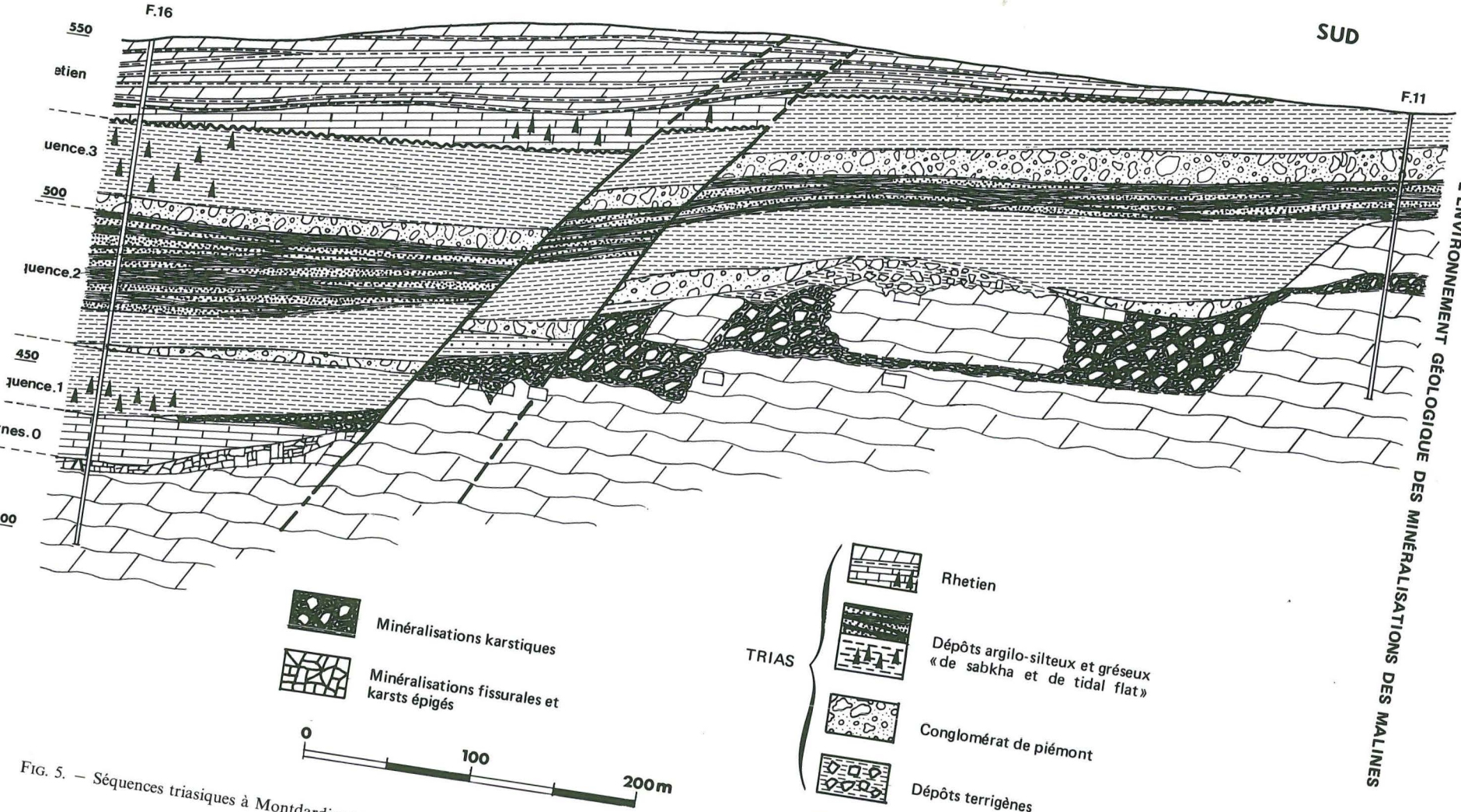


FIG. 5. — Séquences triasiques à Montdardier (coupe n° 2, localisation sur fig. 3).

Triassic sequences of the Montdardier area (Section n° 2

b — Séquence 1.

Elle apparaît, elle aussi, dans la dépression de Montdardier et réapparaît avec les mêmes caractères dans le petit bassin de La Tude (dont les contours ne sont pas encore totalement définis).

Cette séquence commence par un conglomérat à éléments de dolomie cambrienne (C. 1). Comme tous les conglomérats triasiques situés à proximité des Malines, il s'agit d'un épandage de piedmont, de puissance très variable, hétérogranulaire, formé lors de la répartition des produits de démantèlement des reliefs dolomitiques dans des dépressions environnantes.

En séquence 1, cette formation est assez puissante au sud de la dépression de Montdardier (15 m) ; elle s'amincit au centre où elle fait place à une surface d'érosion de forme elliptique (100 m × 80 m) orientée N 340°. Il s'agit probablement d'un petit horst, aujourd'hui aplani, qui a alimenté dans son piedmont le conglomérat 1.

Le deuxième terme de la séquence est argilo-détritique et se présente en rythmites, millimétriques à pluricentimétriques, sombres à la base, claires à bariolées au sommet (m. 1). Les argiles sont illitiques et kaoliniques, les détritiques quartzeux et feldspathiques. Au nord et à l'ouest, comme au centre de la dépression de Montdardier, ces rythmites se chargent en dolomite et en anhydrite : cette dernière se présente, soit en lits individualisés, soit en nodules à structure réticulée. Le gypse, secondaire, apparaît en lits pseudomorphosant les lits d'anhydrite, soit en remplissage de fissures sécantes par rapport au litage.

c — Séquence 2.

Elle commence elle aussi par un conglomérat de puissance très variable (C. 2 : de 0 à 30 m) qui recouvre entièrement la bordure nord du dôme des Malines. Il diminue très rapidement d'épaisseur dès qu'on s'éloigne du relief nourricier. Localement dans cette formation conglomératique, on rencontre quelques lentilles de marnes gréseuses verdâtres : à l'occasion, mais de manière caractéristique, ces marnes cimentent des éléments émoussés et aplatis de grès des Falguières.

Un banc de marnes verdâtres de 1 à 4 m de puissance recouvre de manière constante le conglomérat C. 2 ; souvent, il présente des structures étoilées, dolomitiques, vraisemblablement des pseudomorphoses d'anhydrite.

Au-dessus de ce banc-repère, un nouveau terme argileux à illite et kaolinique, sombre, passe à une alternance bariolée d'arkoses fines et de siltites feldspathiques, parfois séléniteuses.

L'ensemble de ces deux derniers termes constitue les « marnes m. 2 ».

d — Séquence 3.

Comme les deux dernières séquences, elle débute par un conglomérat à éléments dolomitiques anguleux, souvent polychromes (C. 3), qui provient d'un seul relief, le dôme des Malines. Puissant (50 m) sur le flanc nord de cette structure, il s'amincit rapidement dès que l'on s'en éloigne quelque peu (2 km) : il ne recouvre pas complètement la dépression de Montdardier. En revanche, il s'avance largement sur le dôme des Malines où il occupe préférentiellement les chenaux séparant les paléo-reliefs : Ratonnau, Pomègues, Florence, Vieille Mine.

Le deuxième terme de cette séquence est argileux, illitique et kaolinique, à interlits dolomitiques passant loin du dôme des Malines, à de l'anhydrite et/ou du gypse. Très sombre ou noire, cette formation est d'épaisseur relativement constante quel que soit l'éloignement des reliefs : elle se termine par une surface de discontinuité rubéfiée et jalonnée de brèches intraformationnelles.

Au-dessus de cette discontinuité, une formation rythmée, parfois bariolée, à carbonates (calcite et dolomite), argiles (illite, kaolinite) et quartz détritique, termine la séquence : elle forme avec le terme précédent les « marnes m. 3 ». Fréquemment, on rencontre dans ces rythmites des évaporites sulfatées, gypse ou anhydrite, soit sous forme de petits nodules étoilés, soit en bancs massifs pouvant atteindre plusieurs mètres de puissance.

Dans ces divers dépôts, et plus particulièrement dans les « marnes », on rencontre à l'occasion : ripple-marks, flutes-casts, laminations de type intertidal, micro-chenaux, bois flottés, végétaux terrestres et aquatiques bien conservés, empreintes de trémies de sel, structures en cone-in-cone, en bird-eyes, grillagées, fentes et copeaux de dessication, enfin quelques empreintes d'origine animale possible.

L'ensemble caractérise sans ambiguïté un environnement de type sebkha.

Les quartz, en général très peu roulés, présentent des golfes de corrosion près des reliefs, des auréoles de nourrissage dans les dépressions. Peu émoussés, les feldspaths sont, systématiquement, légèrement nourris.

L'ensemble de ces séquences est recouvert par une alternance de bancs de dolomie argileuse et de siltites sombres. Les bancs pluri-décimétriques de dolomie contiennent des quartz en dragées tout à fait caractéristiques ; ils ont livré *Avicula* sp. Il s'agit du Rhétien auquel font suite les premiers bancs ondulés de dolomies microcristallines de l'Hettangien.

Essai de reconstitution paléogéographique.

La lithostratigraphie (fig. 5, 6 et 7) de chacune des trois dernières séquences fait apparaître la même succession générale de termes, certes avec des puissances et des extensions latérales différentes, mais on retrouve bien, fondamentalement, conglomérats, argilites réductrices, rythmites bariolées à évaporites. Il semble que l'on puisse rapporter ce mégarythme à la création épirogénique des reliefs (conglomérats) dont le site de Montdardier nous indique qu'il y eut localement au moins trois saccades majeures. Chacune des séquences représente alors l'enregistrement par les sédiments de l'aplanissement des reliefs : dépôts de piedmont, établissement d'un milieu hydromorphe réducteur préludant à l'installation d'un régime de type sebkha.

Les rythmites claires et bariolées qui terminent les séquences montrent par la nature de leurs éléments détritiques que

l'alimentation n'est plus seulement locale, mais d'envergure régionale encore que toujours terrigène. Les rythmes mineurs marquent, classiquement, un phénomène répétitif de confinement pouvant conduire à la cristallisation d'évaporites ; il s'agirait donc de rythme saisonnier conduisant, soit à des dessications à fentes et copeaux, soit à des surfaces à empreintes de trémies de sel et structures en tee-pee. L'importance des évaporites sulfatées en séquence 3 indique une influence marine ou, pour le moins, lagunaire. La transgression marine du Muschelkalk supérieur s'avance en effet (montagne de la Fage) très près de la bordure orientale du horst de Saint-Bresson ; de même, le Muschelkalk supérieur est-il vraisemblablement très littoral et gréseux au sondage de Gorniès. Non démontrée, l'influence marine est-elle très probable et réciproquement le milieu de dépôt des rythmites bariolées à évaporites est-il fortement confiné.

Chaque saccade épirogénique entraîne donc une émersion franche du substrat dolomitique : l'aplanissement du relief entraîne à chaque fois le retour à un régime de sebkha. L'importance des évaporites en séquence 3 laisse penser, d'une part à un confinement d'eaux marines, d'autre part, si tant est que l'on puisse proposer un raccordement de cette séquence à la série stratigraphique régionale, aux évaporites du Salifère supérieur. Enfin, la permanence des rythmites bariolées à la fin de chaque séquence principale permet de penser que toutes ces saccades participent d'une même phase épirogénique du Trias terminal, c'est-à-dire du Keuper.

1.3.2.2 – **Morphologie de la paléo-surface triasique** (fig. 6)

L'étude stratigraphique fait apparaître des structures positives dont l'arasion ou plutôt le nivellement intervient au terme de chaque séquence. La considération des courbes isopaques des conglomérats, et notamment de l'isopaque 0 des conglomérats 1 et 2, permet de bien localiser les reliefs qui alimentèrent les deux premières séquences.

La figure 6 montre sans ambiguïté que la séquence 1 a été alimentée par un petit horst (nord Montdardier) qui, par la suite a occupé le centre de la dépression de Montdardier. L'aire située au sud-ouest de Montdardier sous le C.D. 18 est encore trop mal connue pour qu'il en soit tenu compte dans cette présentation schématique. Pour en revenir au petit horst nord Montdardier, point haut durant la séquence 1, ce sera, par la suite, le point bas de la surface du socle durant les séquences 2 et 3.

En séquence 2, trois paléoreliefs jouent, semblent-il, un rôle :

– le dôme des Malines : 2 km en E-W, 1 km en moyenne en N-S ;

– le dôme ouest Montdardier ou dôme des Crozes : 500 m en N-S, l'extension E-W est inconnue ;

– le dôme de La Sanguinède : 800 m en E-W, plus de 1 000 m en N-S dont seulement 400 m intéressent le socle carbonaté.

En séquence 3, apparemment seul le dôme des Malines alimente puissamment en conglomérats son flanc septentrional.

Entre ces trois paléoreliefs d'existence éphémère, la paléosurface primitive se présente :

– soit découpée par des lapiez de 20 à 50 cm de flèche, notamment sur les flancs des paléoreliefs avant qu'ils ne soient recouverts par leur conglomérat respectif ;

– soit, et notamment à l'aplomb des paléoreliefs arasés par des chaos de blocs arrondis (certains de plusieurs m^3), massif affleurant démantelé en quelque sorte, cimentés par des sédiments internes des ouvertures de dissolution sous-jacentes.

En effet, à l'aplomb de l'une ou l'autre de ces formes externes, il n'est pas rare de rencontrer des réseaux de paléocavités de dissolution, apparemment alignées sur des zones fracturées, qui semblent drainer les aires lapiazées. C'est par effondrement du toit des cavités les plus superficielles (par rapport à la paléosurface) que l'on passe aux paléoaffleurements chaotiques, ces derniers représentant donc le plus souvent le débouché des paléoréseaux souterrains sur la paléosurface.

Parallèlement à ces effondrements cutanés, les dolomies cambriennes primitivement gris clair, carbonées et siliceuses, subissent un lessivage et une oxydation. D'abord décolorées, elles sont ensuite rubéfiées ; le lessivage concerne essentiellement la silice, tandis que la dolomite résiduelle recristallise. La roche devient poreuse.

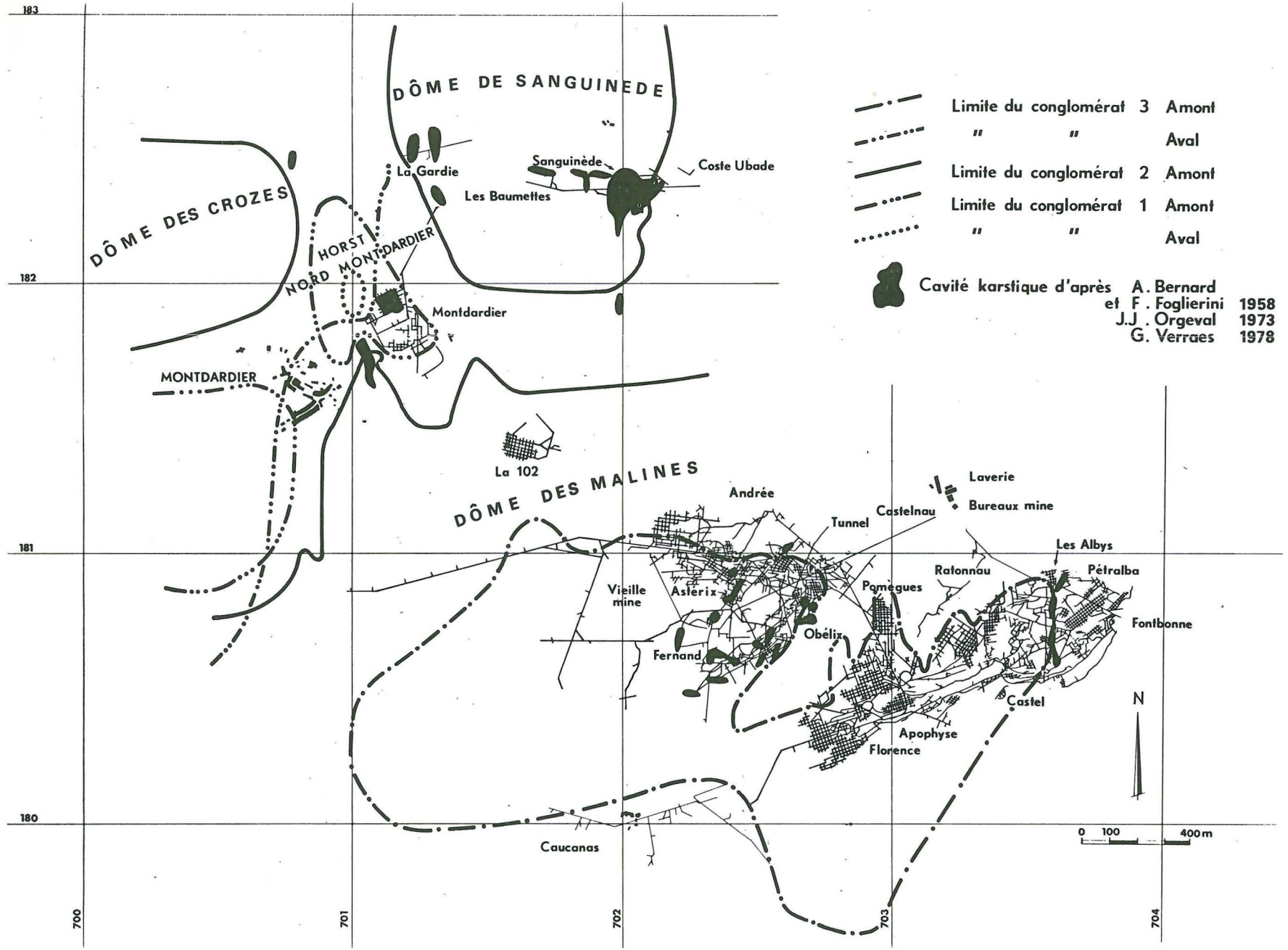
Remarque.

Cette recristallisation peut être particulièrement bien suivie le long de certaines diaclases : elle y fait apparaître, aux épontes, des dolomies à gros grain (plurimillimétrique) qui s'interrompent brutalement à quelques décimètres de la diaclase. Un phénomène analogue s'observe en queue de diaclase, vers le bas.

Ces phénomènes présentent des analogies certaines avec la désilification en climat tropical.

Même s'ils ne participent pas à la formation des lapiez au sens strict, tous les joints, diaclases, fissures, plans de schistosité, lorsqu'ils se trouvent à proximité de la paléosurface triasique, sont affectés par ces phénomènes connexes de lessivage et de dissolution sur des hauteurs variant de plusieurs mètres à plusieurs décamètres.

A l'inverse, durant l'ensemble de l'épirogenèse triasique, la région de Montdardier fait partie d'un vaste paléorelief, c'est-à-dire une aire de départ, d'infiltration, des circulations karstiques dont les formes hypogées seront décrites avec les minéralisations puisqu'aussi bien elles ont été découvertes et reconnues grâce à l'exploitation minière. Les zones de résurgences, elles, ne sont pas connues avec certitude : elles devaient se situer en contrebas de la région de Montdardier, mais à des dénivelées raisonnables, voire peu importantes. En effet, dans de tels systèmes karstiques, développés sur socle, la pénétration des circuits sous la surface dépend bien davantage de la perméabilité du massif carbonaté que de la cote de la résurgence par rapport à la cote de l'aire d'alimentation.



IG. 6. — Morphologie du substratum cambrien soulignée par les courbes isopaques 0 m amont des conglomérats triasiques et localisation des principales cavités karstiques.

Morphology of Cambrian basement outlined by isopaches 0 meter of the top of triasic conglomerates and location of main karstic cavities.

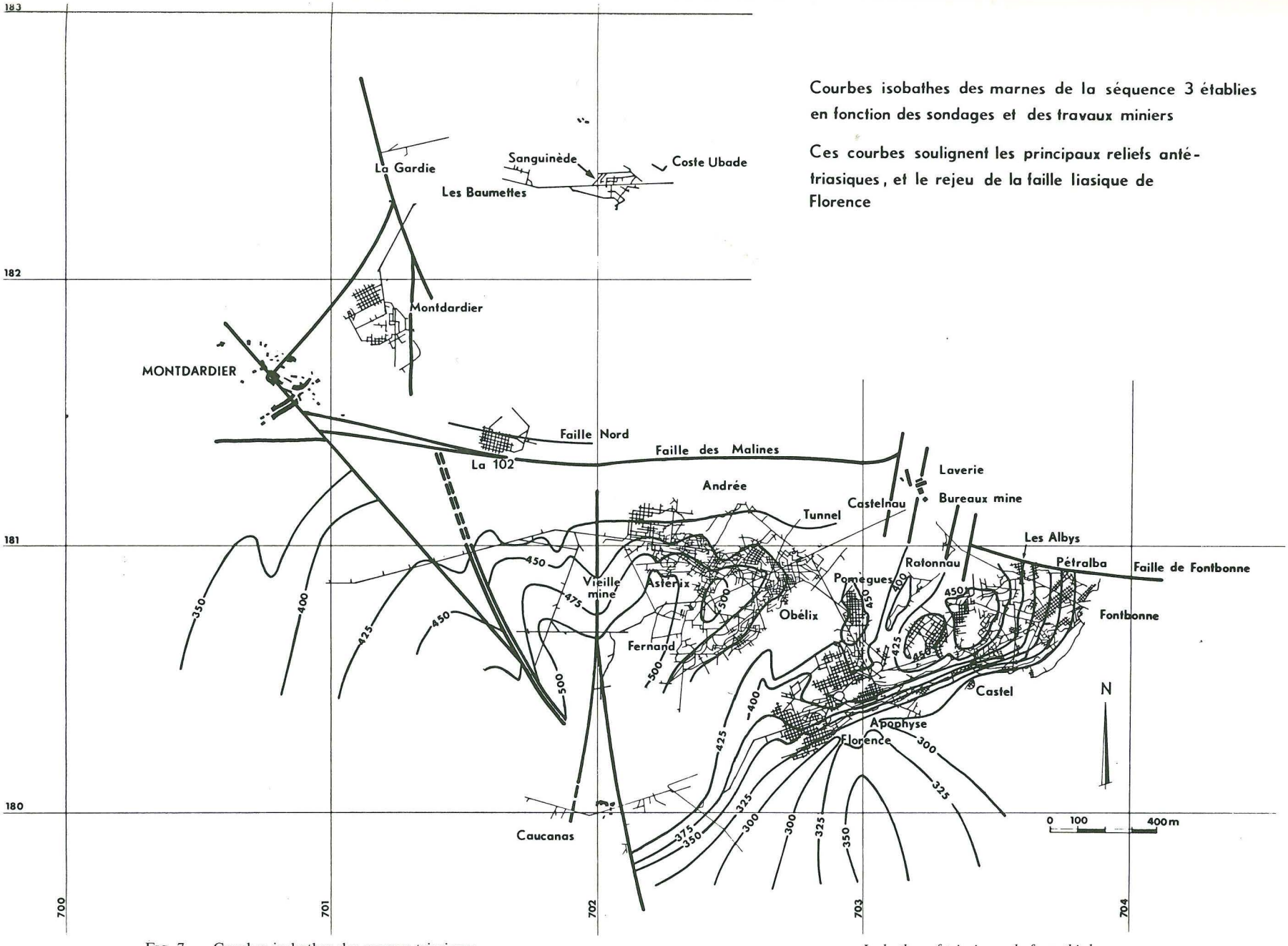


FIG. 7. — Courbes isobathes des marnes triasiques de la séquence 3 soulignant les principaux reliefs anté-triasiques.

Isobathes of triasic marls from third sequence outlining the main features of the antetriasic surface.

1.4 — Conclusions

La place donnée à la description des inconformités posthercyniennes dans cette présentation du district des Malines se justifie par la liaison, au moins géométrique, des minéralisations aux paléosurfaces correspondantes :

a — Sur les marnes (triasiques) : il s'agit des amas situés dans le Bathonien supérieur, sur l'inconformité correspondante. Ils sont situés à l'aplomb du quartier Vieille Mine (amas Andrée, Tunnel, Cabrières nord et sud) (fig. 6 et 9), ainsi que dans la couverture orientale du horst de Saint-Bresson (quartier des Avinières) (fig. 8).

b — Dans les marnes : il s'agissait en 1958 des couches minéralisées du quartier Alby-Fontbonne (fig. 9 et 13). Depuis, des formations en couches ont été découvertes et décrites au contact du socle (quartier François : Rey, 1967), dans les conglomérats (Montdardier, quartier 102) et cailloutis (Pomègues B) associés à la paléosurface... Toutes ces couches ou amas stratiformes sont en fait situées sur l'inconformité triasique principale. Il serait plus judicieux, aujourd'hui, de distinguer avec C. W. Callahan (1964, 1973), les minéralisations situées *sur l'inconformité triasique,* et les minéralisations situées.

c — Sous l'inconformité triasique, c'est-à-dire dans le socle. Pour l'essentiel, elles peuvent être considérées comme des remplissages, dont certains typiquement sédimentaires, de cavités et de brèches de dissolution : néanmoins des phénomènes de remplacement diffus, métasomatiques, accompagnent fréquemment la diagenèse de ces sédiments très particuliers.

On peut, en bonne première approximation, distinguer

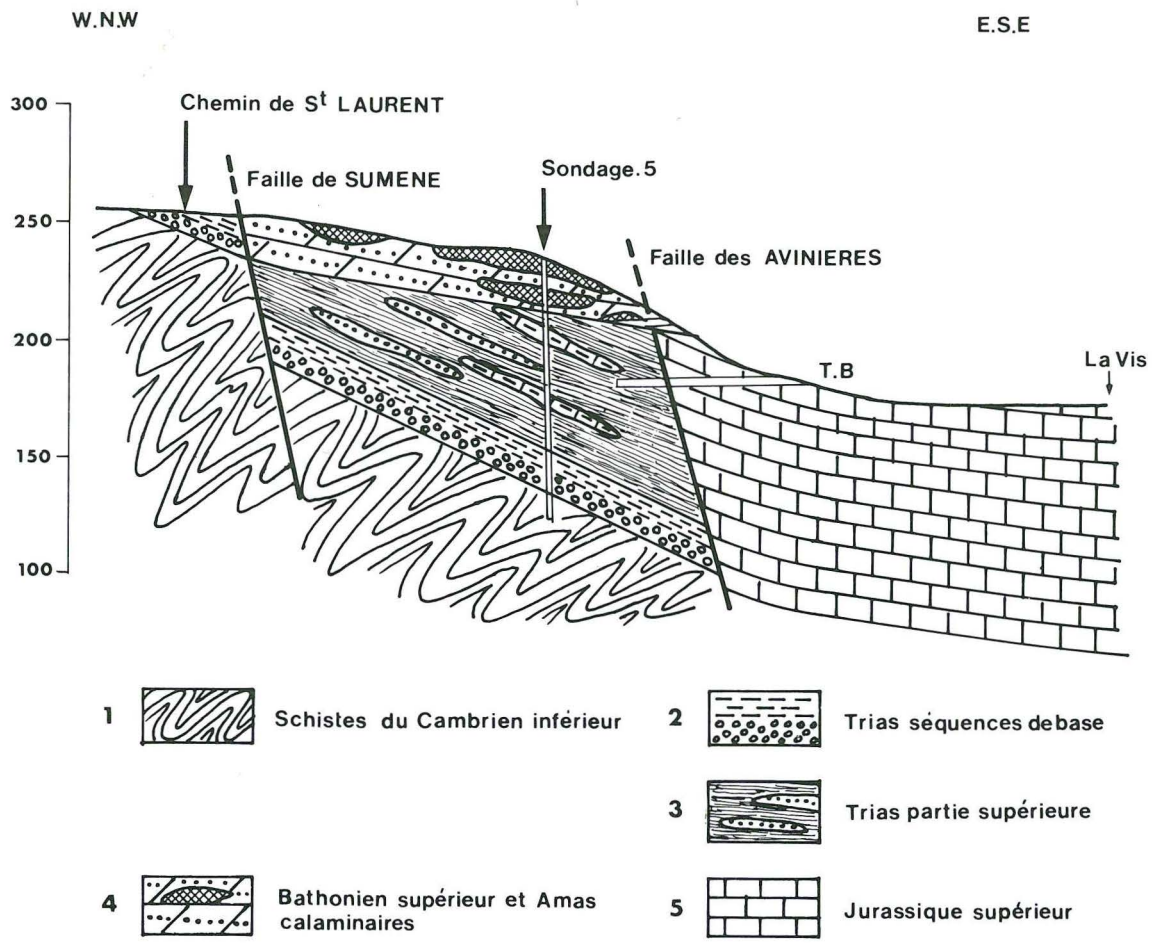


FIG. 8. — Coupe des Avinières, à l'est du horst de Saint-Bresson (coupe n° 1, localisation sur fig. 3).

Geological section of les Avinieres on the East side of Saint-Bresson Horst (section n° 1, located on fig. 3).

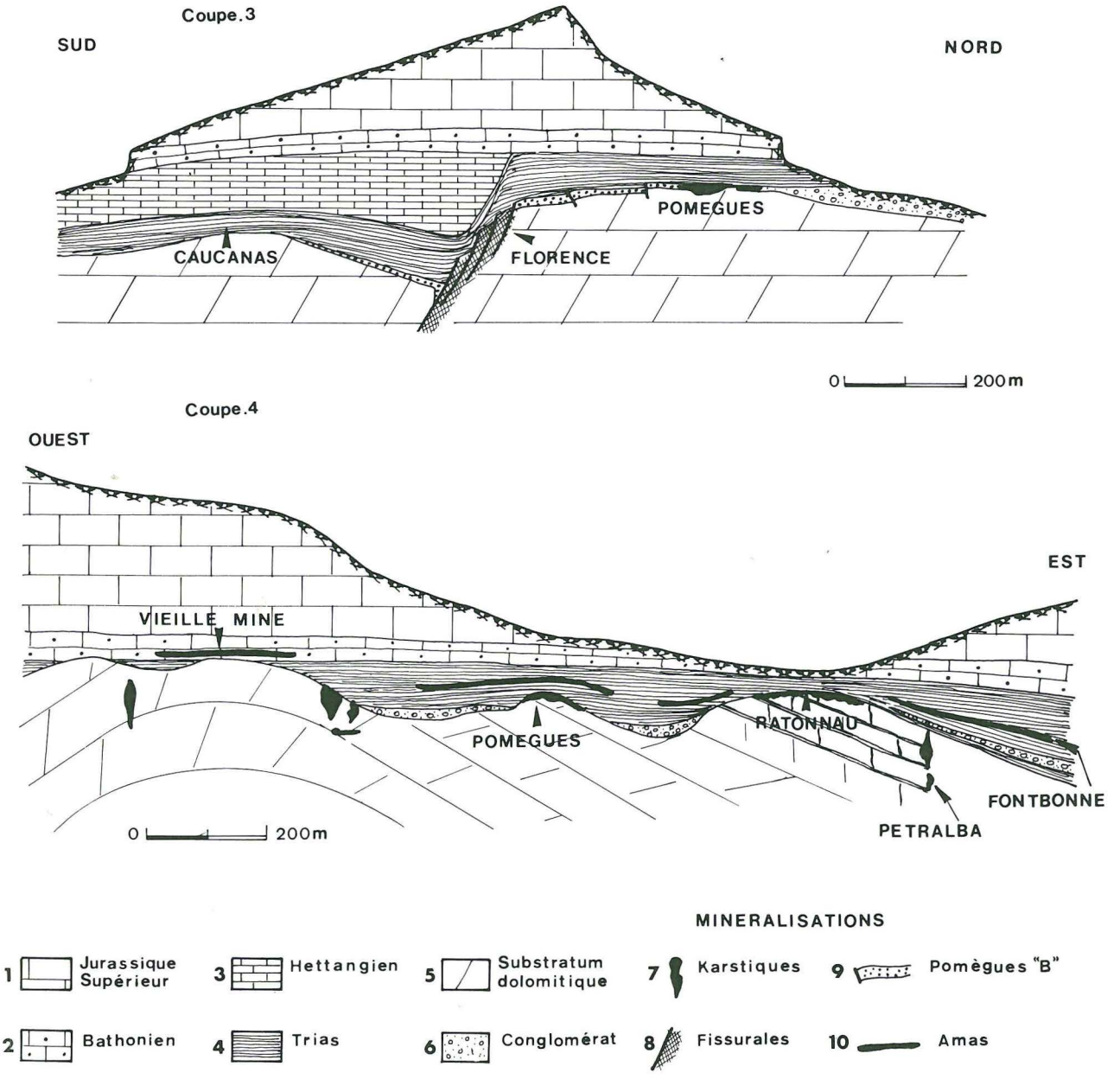


FIG. 9. — Coupes dans le massif minéralisé des Malines (coupes n° 3 N-S et n° 4 E-W, localisation sur la figure 3).

En N-S comme en E-W on peut observer le caractère très tabulaire de la formation dolomitique du Bathonien supérieur (2). La partie supérieure du substratum dolomitique (5) est au contraire très irrégulière, soit en raison de paléoreliefs (Ratonnau, Pomègues, Caucanas, Vieille Mine) soit en raison d'une tectonique post-hettangienne et anté-bathonien supérieur (accident de Florence). Bref, ce sont les variations de puissance du Trias et de l'Hettangien qui émoussent les irrégularités du socle avant le Bathonien supérieur. A noter, à l'extrême gauche de la coupe 4 que le Bathonien vient reposer directement sur le socle (quartier du Puits Lafaille).

Quelques minéralisations sont indiquées ; épigénétiques et discordantes (7) parfois directement sur la surface du socle (Pomègues, Ratonnau) fissurales (8) ou en amas stratiformes dans les conglomérats (9) ou dans les marnes (10) triasiques.

Geological Sections in the area of mineralized bodies of Les Malines District (Section n° 3 N-S and n° 4 E-W, located on fig. 3).

N-S as W-E the very tabular appearance of the Upper Bathonian dolomite formation is clear. Yet the upper part of the dolomitic substratum is very irregular due either to paleorelief (Ratonnau, Pomègues, Caucanas, Vieille Mine) or to Post-Hettangian and Ante-Bathonian movements (Florence accident). In other words the strong Triassic and Hettangian variations smoothed off the basement's irregularities before the Upper Bathonian. Note, at the extreme left of Section 4, the Bathonian lying directly on the basement (Puits Lafaille district).

A few mineralizations are shown; epigenetic and discordant (7) sometimes directly on the basement surface (Pomègues, Ratonnau) in cracks (8) or in stratiform bodies in the Triassic conglomerates (9) or marls (10).

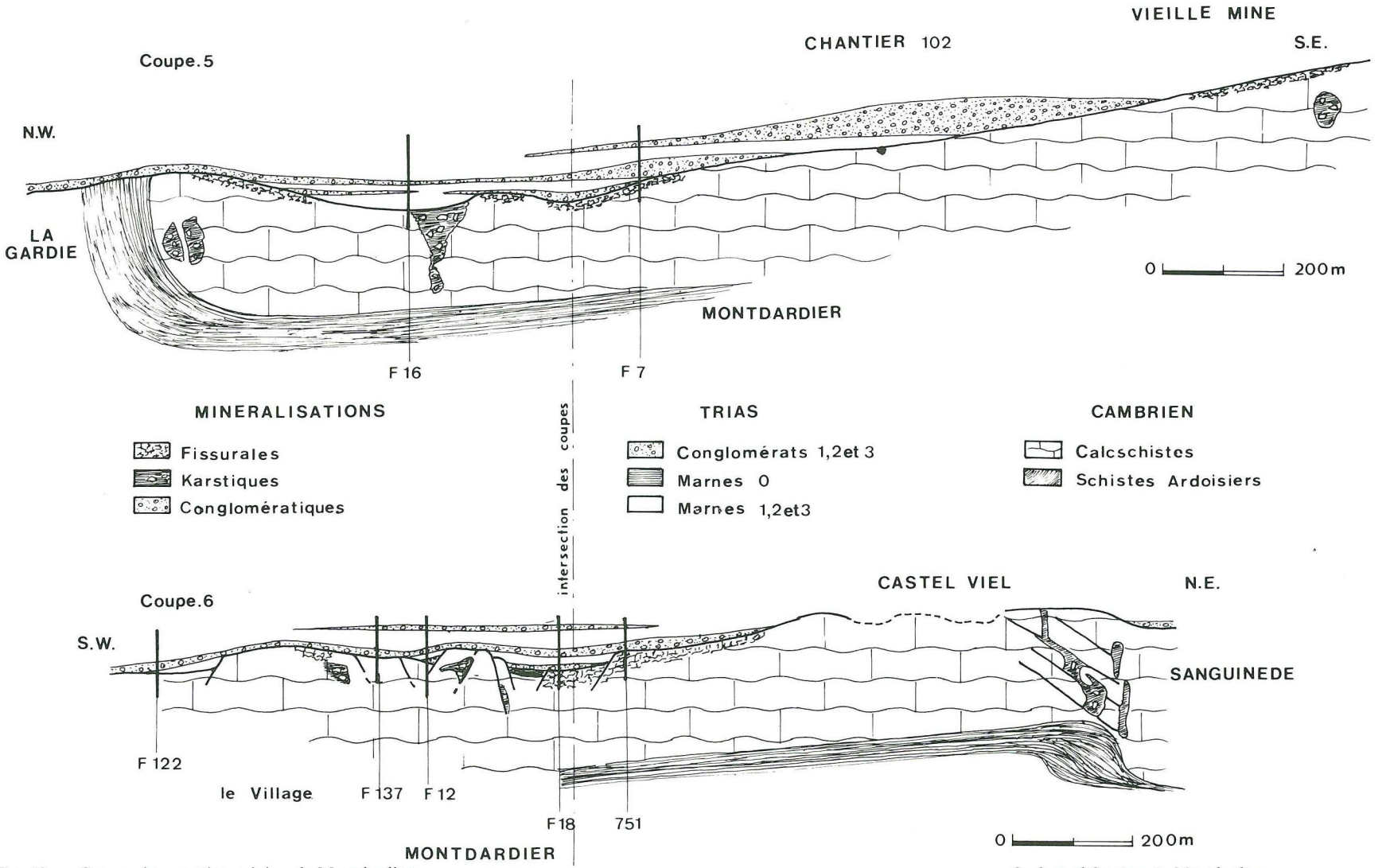


FIG. 10. — Coupes des quartiers miniers de Montdardier et Sanguinède (coupes n° 5 et 6, localisation sur fig. 3).

Geological Sections in Montdardier and Sanguinède districts (Sections n° 5 and 6, located on fig. 3).

quatre types de minéralisations caractérisées à la fois par *la structure du piège, la nature du remplissage* et *la paragenèse des minerais.* Il s'agit :

– des amas à remplissage minéralisé bréchique. Ils apparaissent surtout au nord de la faille des Malines (fig. 5 et 10) : Sanguinède, La Gardie, Les Beaumettes, Montdardier (panneau 12) ;

– des cavités à remplissage minéralisé sédimentaire (fig. 12) : Montdardier, quelques amas Vieille Mine (Tabusse), quartier Pomègues (minerai A, fig. 9) ;

– des amas de type Vieille Mine et du quartier Fontbonne (amas de Pétralba, fig. 9 et 13). Il s'agit d'amas massifs représentant un stade de diagenèse avancé des amas du type précédent ;

– des remplissages de cavités de dissolution épigées (fig. 5, 9 et 10) : quartier Ratonnau, chantier 18 de Montdardier.

d — Enfin, mais comment les classer sur des bases purement géométriques, des mobilisations épigénétiques sont susceptibles d'affecter l'ensemble des minéralisations antésinémuriennes, c'est-à-dire l'ensemble des minéralisations liées à l'inconformité triasique. Ces remaniements méritent description parce que longtemps confondus avec les concentrations primaires, ils leur sont chronologiquement très postérieurs et ne correspondent pas toujours à une re... ou plutôt une surconcentration des matériaux minéralisés devant être remaniés. Cela se produit parfois (fig. 14) : quartiers Florence, Aval, 102.

Il convient maintenant de passer à la description des gisements, et plus particulièrement, des gisements accessibles à la visite en 1980, en mettant en avant les faits importants observables tant au jour qu'au fond. Pour ce faire, et, prenant en considération que ce sont essentiellement les amas sous-inconformité qui sont aujourd'hui en exploitation, l'accent sera d'abord mis sur ces amas. Ils ne seront pas tous décrits mais un exemple caractéristique de chaque type sera exposé.

De même, quelques exemples accessibles de minéralisations sur-inconformité triasique seront rapportés. On ne pourra, encore une fois faute d'accès actuels, que rappeler les caractères principaux des amas sur les marnes (sur-inconformité bathonienne) quelle qu'ait pu être leur importance économique passée.

2 — Les minéralisations des Malines

L'analyse de l'environnement géologique des minéralisations conduit à classer ces dernières en fonction de leur position par rapport aux inconformités. Toutefois, ce seul critère géométrique doit être nuancé par la prise en considération de phénomènes de remaniement qui sont intervenus, chronologiquement, au Lotharingien ; c'est-à-dire qu'ils n'affectèrent que les seules minéralisations liées à l'inconformité triasique. Enfin et compte tenu de l'accès actuel aux faits observables, ces minéralisations seront décrites dans l'ordre suivant :

- gisements dans le substratum,
- gisements stratiformes du Trias,
- mobilisation liasique des précédents,
- aperçu sur les amas du Bathonien.

2.1 — Gisements dans le substratum

Ils se présentent en amas enfouis dans la dolomie cambrienne, souvent sous plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de série du Jurassique supérieur. Leurs formes sont extrêmement capricieuses, leur volume compris entre 1 et 35 000 m^3. Le plus souvent ces amas sont interconnectés.

Encore qu'indéfinissable, strictement, la forme de ces amas montre des directions d'allongement, des extensions préférentielles orientées, des localisations définies par le contexte encaissant. Il semble alors que la tectonique cassante tardihercynienne ait une influence prépondérante quant à la localisation (importance des intersections de directions tectoniques majeures) et à la morphologie de ces amas.

Très tôt, les caractères pétrographiques des dolomies encaissant ces amas associés à la morphologie tectoniquement orientée des volumes minéralisés exploitables permettaient de les apparenter à des cavités de dissolution emplies par les minéralisations (Bernard et Fogliérini, 1958). Le piège karstique a été explicité par H. Paloc (1961) et repris depuis par de nombreux auteurs.

Les travaux en cours de J. J. Orgeval et G. Verraes consistent en une analyse détaillée de ces remplissages de cavités qui, eu égard à leur morphologie, à l'altération de leurs parois, à leur environnement carbonaté, à leur position sous inconformité... paraissent indéniablement karstiques. Certains de ces remplissages présentent avec les remplissages actuels, non minéralisés, des analogies frappantes.

Parallèlement, il existe, régionalement, dans la dolomie de Saint-Bresson, d'autres paléokarsts, d'âge divers, à remplissages variés, dont les relations avec les amas minéralisés ont fait l'objet de travaux détaillés qui ne pourront malheureusement pas être relatés dans le cadre de cette présentation.

2.1.1 — Les amas à remplissage bréchique

Les amas du quartier de La Sanguinède, bien explorés, bien conservés, ont été choisis comme exemple de ces minéralisations ; elles sont essentiellement développées au nord de la faille des Malines. C'est également un excellent exemple de réseau de paléocavités karstiques hypogées.

2.1.1.1 — Morphologie des cavités du réseau principal (fig. 11)

Les cavités superficielles

Ce chapelet de cavités commence au sud du dôme de La Sanguinède, non loin de l'isopaque 0 du conglomérat 2, par une importante aire paléolapiazée (100 m en E-W, 80 m en N-S) (fig. 6). Ces lapiez affectent le substratum cambrien sur une hauteur de 30 m sous la paléosurface. Actuellement, ils présentent des encroûtements de smithsonite et de cérusite associées à des sulfures résiduels.

Le drain de cette aire lapiazée est une cavité karstique subverticale de direction NNE-SSW (fig. 11) : sur une longueur explorée de 110 m, sa largeur varie entre 4 et 15 mètres. Cette cavité perce par ailleurs la paléosurface en de nombreux endroits.

En profondeur, au niveau du chantier du Plateau, cette cavité débouche largement sur une autre ouverture, de 4 à 6 m, pentée à 30° vers l'est. Cette dernière structure est en fait contrôlée par un plan d'écaillage antérieur, lui-même suivi par un filon de roches intrusives; localement sous-cavées, ces roches participent au remplissage de la cavité.

Suivie en direction N-S sur au moins 100 m, cette deuxième ouverture est reconnue en E-W sur environ 80 mètres.

Au niveau de la recoupe 390 Sud (et du sondage 34) cette cavité présente une communication avec une troisième ouverture, sub-parallèle à la précédente, mais 30 m plus bas, par deux diaclases élargies, sub-verticales, de direction N-S. Elles ont été traversées par de nombreux travaux miniers (galeries et sondages).

Cette troisième cavité suit également un plan d'écaillage sur une cinquantaine de mètres en E-W, avec un pendage de 35°. Connue sur une centaine de mètres en N-S, sa puissance est régulière : 3 à 4 mètres. Cette fissure élargie débouche au nord dans l'« amas principal », au sud dans l'« amas fracture », ces deux dernières ouvertures correspondant à deux épisodes importants de la vie du système.

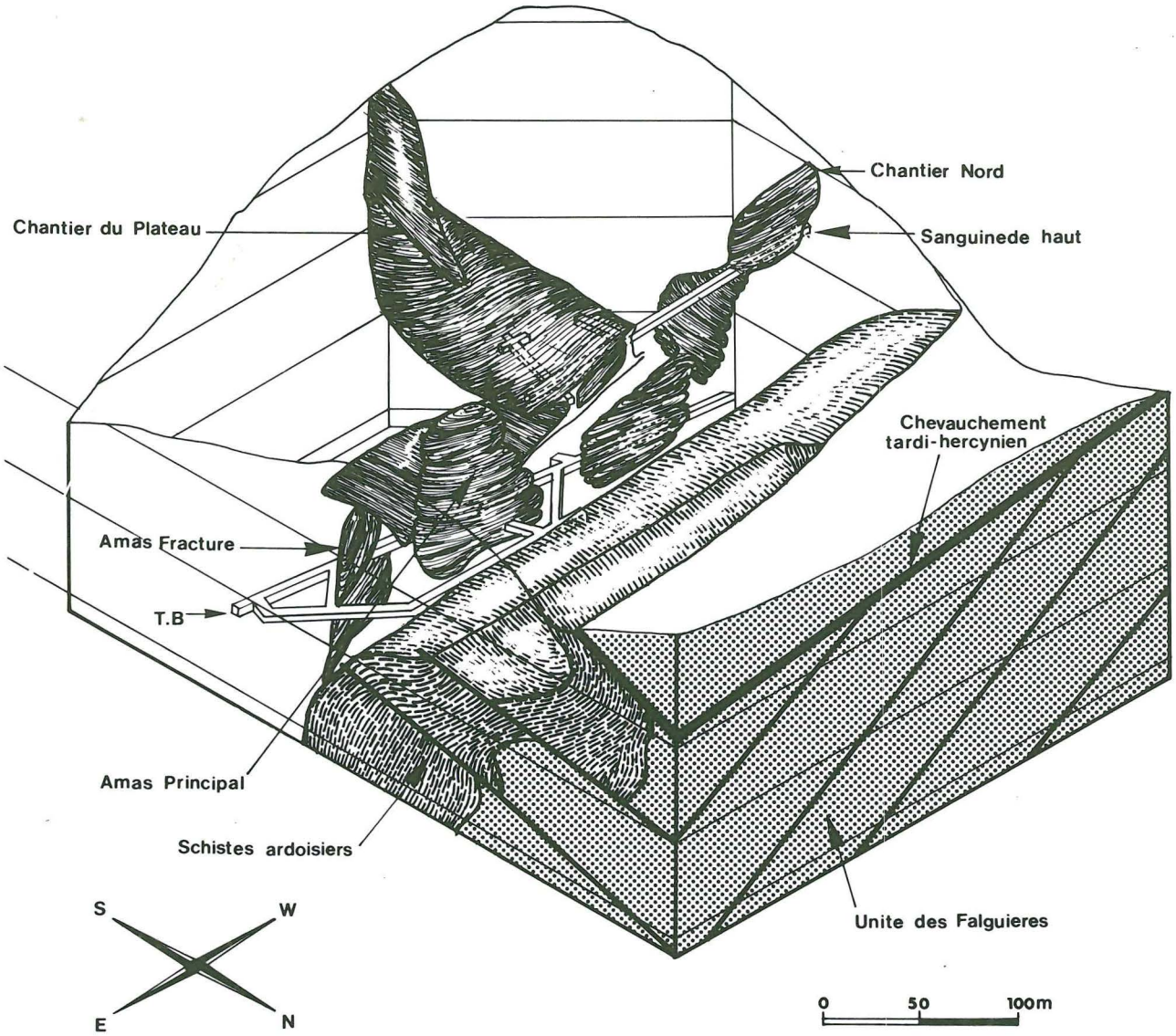


FIG. 11. — Bloc-diagramme du massif de la Sanguinède montrant les relations entre les systèmes de cavités de l'amas principal, du chantier nord, et le contact des schistes ardoisiers.

Three-dimensions diagram showing the cavities network below the Triassic unconformity of the Sanguinede height.

L'« amas principal »

Il se compose en fait de deux cavités superposées et reliées entre elles par une zone de dissolution intense développée le long d'un réseau de fissures.

a — La cavité supérieure est de forme ovoïde : 50 × 60 m de section horizontale maximum pour une hauteur de 45 mètres. Elle se termine dans sa partie haute par un volume fissuré — préparant un effondrement — surmonté d'une cavité lenticulaire assimilable à une cavité de distension. La surface inférieure de cette cavité supérieure de l'amas principal est concave vers le haut et relativement régulière.

Les parois de cette cavité, quand elles n'ont pas enregistré d'effondrements, sont modelées en surfaces ondulées. Il s'agit du résultat de phénomènes de dissolution préférentielle, dus au ruissellement le long de certains plans de diaclase et/ou de schistosité. Dans les calcschistes, les indentations sont d'amplitude métrique.

b — La cavité inférieure présente, elle, une forme de fuseau de 55 × 30 m de section horizontale sur 45 de hauteur maximale. Le fond de cette cavité s'approche très près des schistes ardoisiers du flanc normal du synforme couché de La Sanguinède. Une communication existe vraisemblablement entre cette cavité et l'« amas fracture » aux alentours du niveau 340 (sondage 759).

L'« amas fracture »

Il s'agit d'un chapelet de petites cavités lenticulaires, verticales, de direction moyenne N 40° E ; elles suivent la trace, peu visible, d'une faille hercynienne qui effondre, à l'est, le contact « dolomie-schistes ardoisiers » d'environ 80 mètres.

Ces cavités ont de 7 à 12 m de large, 45 m de longueur maximale et de 60 à 90 m de hauteur. Elles se disposent en échelle parallèlement à l'axe de la fracture, N 40° E, le décalage horizontal entre les axes de cavités ne dépassant pas 20 mètres. La communication entre ces différentes cavités est difficile à appréhender en mine : elles semblent toutefois être reliées par une série de fissures, d'ouverture centi à décimétrique, qui termine latéralement chacune de ces cavités de manière sigmoïde (terminaisons dites en « coup de gouge »).

Vers le haut, une de ces cavités se raccorde avec la troisième cavité précédemment décrite.

Les terminaisons inférieures ainsi que les exutoires hydrauliques de ce réseau de cavités, image de circulations karstiques triasiques, sont inconnus : toutefois à 200 m sous la paléosurface, la puissance de ces ouvertures laisse penser à des circulations aval encore fort importantes. (On vient de retrouver par sondages le prolongement de ce système 80 m plus bas (mai 1979)).

2.1.1.2 — Les remplissages

Ils sont essentiellement composés de sédiments intrakarstiques (ou influvium) cimentant de gros blocs d'encaissant dolomitique tombés du toit ou des parois des cavités, ainsi que de blocs de dykes doléritiques passablement altérés.

Les blocs de calcschistes ont de 0,25 à plus de 10 m^3. Basculés les uns par rapport aux autres lorsqu'ils sont de petite taille, ils demeurent apparemment parallèles à leur position d'origine lorsque leur diamètre dépasse 3 mètres. Ces blocs ne sont généralement pas rassemblés en niveaux homogènes, stratifiés mais sont dispersés dans la masse du remplissage. Cette distribution implique à la fois une cimentation des gros blocs postérieurs à leur individualisation et une sédimentation des petits fragments dans un ciment primaire : *en d'autres termes, le morcellement des parois est contemporain de la sédimentation du ciment.*

Ce ciment intrakarstique, ou influvium (pl. I, ph. 1), est lui-même le plus souvent bréchique et présente dans le même temps des rythmes sédimentaires de plus en plus affirmés au fur et à mesure que l'on se rapproche des niveaux supérieurs de la cavité. Les éléments clastiques ont une granulométrie comprise entre 1 mm et 10 cm, le mode étant compris entre 2 mm et 1 cm : il s'agit donc d'un sédiment détritique, très mal classé (pl. I, ph. 2). C'est également une brèche polygénique puisqu'on y trouve des dolomies, des schistes ardoisiers, des dolérites altérées, bref, en composition, une image de l'encaissant des cavités. Les fragments dolomitiques sont généralement arrondis tandis que les fragments schisteux conservent des formes allongées parallèlement au clivage majeur.

Le ciment de cette brèche est un sédiment à grain fin, à pôles dolomitiques, siliceux et blendeux. Il présente des rythmes millimétriques à centimétriques (pl. I, ph. 3) ; sa couleur est sombre ou noirâtre. La sphalérite constitue une de ses composantes majeures puisque sa teneur varie entre quelques points pour cent et 60 %.

Dans le détail, on observe que lorsque la teneur en zinc est faible, la sphalérite pigmente en clair les lits les plus grossièrement grenus et, en particulier, occupe la place des cristaux dolomitiques les plus gros. Lorsque la teneur en zinc augmente, des termes de plus en plus fins de la roche-ciment se trouvent remplacés par de la sphalérite.

Cette mise en place apparemment métasomatique du sulfure de zinc se confirme par l'analyse des bordures des éléments bréchiques dolomitiques ou calcschisteux. L'épigénie se développe de manière centripète des bords vers le centre des éléments : elle peut être partielle ou complète, mais elle ne démarre que lorsque le ciment est pratiquement complètement sulfuré. Même certains éléments schisteux de la brèche peuvent, dans les mêmes conditions, être envahis par la sphalérite.

Il fait peu de doute ici qu'un sédiment bréchique, sorte de piedmont interne, ait été intensément pénétré et percolé par des solutions zincifères qui, en milieu réducteur, ont déposé de la sphalérite en lessivant les carbonates. Réducteur, le milieu circulant devait aussi être acide.

Si tant est que l'on puisse corréler cette sédimentation interne avec la sédimentation externe, c'est aux marnes de la séquence 1 qu'il faut rapporter cet influvium du réseau de La Sanguinède. Il n'est pas certain, mais, fort probable, que la brèche d'effondrement interne soit contemporaine de la formation du conglomérat de piedmont et que les colmatages sédimentaires de l'une et l'autre de ces deux formations ne soit contemporains, l'un en milieu interne et réducteur, l'autre en milieu externe et oxydant.

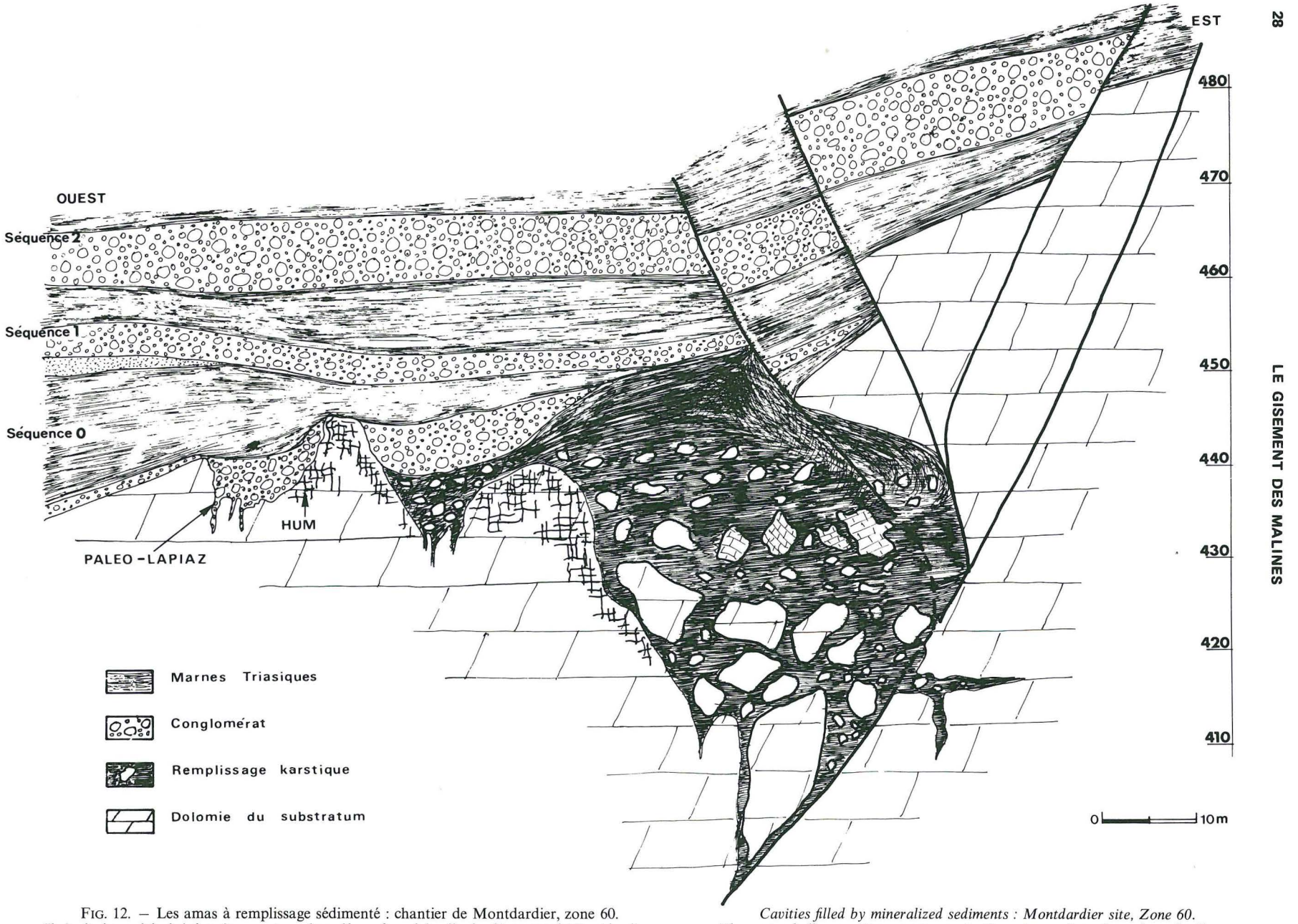


FIG. 12. – Les amas à remplissage sédimenté : chantier de Montdardier, zone 60.
Il s'agit de cavités épigées s'ouvrant sur la paléosurface, ici celle du dôme nord-Montdardier.

Cavities filled by mineralized sediments : Montdardier site, Zone 60.
These are shallow cavities opening on to the paleo-surface, through roof-collapse.

2.1.2 – Les amas à remplissage sédimenté

Les plus beaux exemples de ce type de remplissage ont été observés (pl. II, ph. 1) à Vieille Mine (Amas Tabusse ; Orgeval, 1976), au quartier Pomègues (minerais de type A ; Verraes, 1976), et surtout à Montdardier, au nord de la faille des Malines.

Il s'agit de cavités superficielles, voire largement ouvertes sur la paléosurface. Leur volume varie de quelques m^3 à 70 000 m^3. L'étude de leur morphologie en fait :

– soit des lapiez ou de petites cavités épigées ;

– soit des dolines en puits, c'est-à-dire des cavités importantes qui s'ouvrent par effondrement de leur toit sur la paléosurface (fig. 12). Souvent, il semble que ce soit la coalescence de plusieurs cavités souterraines qui entraîne instabilité du toit et effondrement.

Les remplissages de ces ouvertures sont constitués par des sédiments rythmés, chaque lit (1 à 5 cm de puissance) comportant à la base un pôle arénitique, au sommet un pôle silto-argileux sombre (pl. II, ph. 2). L'ensemble est imprégné de sphalérite claire, en fines mouches rassemblées surtout dans les épisodes arénitiques de chaque rythme (pl. II, ph. 3).

Des cristallisations diagénétiques sont fréquentes ; il s'agit :

– soit de nodules, centimétriques à pluri-décimétriques : ils déforment leurs lits encaissants durant leur croissance. On y rencontre sphalérite orangée, pyrite, barytine ;

– soit des crustifications sulfurées de quelques millimètres à un centimètre d'épaisseur : elles interviennent dans le sédiment sous la forme de planchers. Parfois ces crustifications sont remaniées en intraclasts, ou affectées de figures d'assèchement ou de contournements diagénétiques.

D'une manière générale ces sédiments varvés montrent communément des copeaux de dessication, des contournements de slumping, des microfailles de tassement différentiel, des figures de charge et de poinçonnement... (Orgeval, 1976 ; Verraes, 1978).

Il convient aussi de signaler l'existence de blocs ou de gros fragments dolomitiques dans ces sédiments. Dans certaines grandes cavités (Chantier 60, fig. 12) ces blocs se présentent en chaos analogues à ceux des grottes actuelles. Leur signification est claire : il s'agit d'effondrements brutaux des couronnes de cavités. Ce qui est important en la circonstance, c'est que le sédiment intrakarstique qui cimente ces blocs est affecté et déformé par la chute. En d'autres termes, au moins un des processus de formation des cavités, l'effondrement, a certainement agi pendant la sédimentation de l'influvium intrakarstique.

Conclusions

Il est en effet classique de nettement séparer génétiquement et chronologiquement, la formation des cavités et la sédimentation, métallifère ou non. Ici, il est clair que ces deux phénomènes se sont développés de manière concomitante. Or, il se trouve précisément que le sédiment intrakarstique est métallifère et qu'il a été métallisé avant les déformations diagénétiques précoces de slump ou de microtassement différentiel.

On doit donc en conclure que la concentration métallifère a été syngénétique de son sédiment-support, ou, à tout le moins diagénétique fort précoce. Que des recristallisations ou remaniements diagénétiques soient intervenus postérieurement est également évident : ainsi les blocs tombés dans la boue métallifère sont-ils très souvent corrodés, dentelés, au contact du ciment. L'analyse détaillée de cette corrosion montre qu'elle s'est réalisée au sein même du sédiment-hôte.

Au demeurant, il n'y a pas de différence fondamentale entre les remplissages sédimentés et les remplissages bréchiques. Les premiers correspondent, apparemment, à des cavités superficielles remplies tardivement lors de l'immersion finale du système karstique (pl. II, ph. 3). Les secondes correspondent à des cavités plus profondes, où les solutions circulantes, moins agressives, déposent néanmoins leur contenu métallifère par remplacement métasomatique des éléments bréchiques carbonatés.

2.1.3 – Remplissage de cavités épigées ([2])

D'une manière générale, la dolomie du substratum présente une fissuration sub-orthogonale qui la débite en blocs de dimensions décimétriques (pl. III, ph. 1). Ces fissures souvent élargies par dissolution (0,2 mm à 1 cm de puissance) pénétrant profondément sous la paléosurface (5 à 7 m en moyenne) et cela quel que soit le sédiment de couverture à l'exception toutefois des sables dolomitiques (minéralisations de type Pomègues B, p. 21).

A l'occasion, ces fissures présentent un remplissage minéralisé d'organisation très particulière :

– à l'éponte, une sphalérite claire, finement cristalline, envahit la dolomie cambrienne, généralement recristallisée et poreuse. La densité de cette imprégnation diffuse décroît du mur de la fissure vers la masse rocheuse encaissante ;

– sur le mur de la fissure, c'est une schalenblende concrétionnée qui se développe ;

– enfin, lorsque la fissure n'est pas colmatée par les concrétionnements précédents, c'est un remplissage horizontalement lité qui occupe la partie centrale de l'ouverture : des rubans de sphalérite, galène, pyrite, alternent avec de petits niveaux silico-dolomitiques (pl. III, ph. 2). Ce dernier remplissage est comparable aux sédiments métallifères intrakarstiques précédemment décrits, encore que beaucoup plus fins.

Le dôme de Ratonnau se présente comme une surface en coupole limitant un massif dolomitique localement stratifié (fig. 9). Cette disposition structurale a, semble-t-il, favorisé le développement d'un réseau de cavités lenticulaires, aplaties

([2]) Il s'agit des minéralisations fissurales définies par G. Verraes (1979).

suivant la stratification d'ensemble, et interconnectées par des cavités perpendiculaires qui suivent, elles, des diaclases du substratum.

Ce réseau de cavités est empli par des crustifications de sphalérite, pyrite et barytine directement déposées sur les parois. Ces crustifications peuvent être libres ou être à leur tour recouvertes de sphalérite orangée cimentant de petits fragments de dolomie.

Ces minéralisations fissurales de Ratonnau correspondent en formes épigées au chapelet de cavités hypogées de Pétralba.

Conclusions

Ces remplissages superficiels soulignent un mode de dépôt différent de la sédimentation métallifère qui, d'une manière générale, paraît bien (voir fissures épigées) tardif par rapport aux crustifications et imprégnations d'épontes qui mettent en relief le rôle du ruissellement et annoncent les formes concrétionnées métallifères des amas Vieille Mine.

Le mode de gisement, remplissage métallifère de cavités paléokarstiques, est donc conforme à ce qui a été décrit jusqu'à présent. Mieux même, J. J. Orgeval (1976) a pu dater, par pollens, ces remplissages minéralisés du Keuper. Donc, en essence, le phénomène minéralisateur est bien le même qu'à Montdardier.

Toutefois, des différences importantes se font jour :

– ces minéralisations du type Vieille Mine sont riches : actuellement elles représentent le tiers du minerai tout-venant exploité et la moitié du tonnage métal ;

– la barytine intervient en grande quantité dans les remplissages. Ceux-ci se présentent, le plus souvent, comme des rubanements de sulfures (sphalérite et galène) et de dolomite, alternant avec des bandes plus épaisses de barytine. Mais il ne s'agit là que d'une généralisation qui ignore d'une part la signification génétique de ce sulfate, d'autre part la diversité des faciès et des textures qu'il est susceptible de présenter. Par exemple, il est classique en Vieille Mine, de distinguer les barytines de remplissage, laiteuses et bien clivées, des barytines métasomatiques, grises, à éclat nacré, à plans de clivage courbes (pl. IV, ph. 1) ;

– l'importance des remplissages par concrétionnement (c'est-à-dire par ruissellement) et métasomatose connexe est attestée par des crustifications, stalactites, draperies (pl. IV, ph. 2 et 3), encroûtements de barytine englobant des rubanements, la plupart du temps recristallisés de sphalérite et de galène ;

– l'évolution diagénétique poussée de ces minerais : ainsi les galènes poreuses pseudomorphosant des cristaux de barytine ne sont pas rares (Pétralba). Elles impliquent un remplacement du sulfate par le sulfure dans des conditions épigénétiques.

2.1.4 — Conclusions

Bref, les minerais des amas du type Vieille Mine (ou Fontbonne, Pétralba) représentent sans doute les termes les plus évolués d'une histoire génétique que l'on commence à démêler avec les minéralisations simples du type Montdardier et Sanguinède. De prime et simple abord, il est logique de considérer que le ruissellement des solutions est plus « normal » en structure haute et précoce alors que la sédimentation paraît plus « vraisemblable » en structure basse et tardive. En fait, c'est ce qui se vérifie dans le cadre simple d'une séquence, triasique, individualisée, c'est-à-dire quand il est possible de corréler sédiments externes et formations internes. Mais tous les autres cas de figures que ménage l'épirogenèse karstique (rajeunissement de système sénile ou mûr) sont possibles et restent à démêler avec les amas Vieille Mine.

2.2 – Gisements stratiformes du Trias

La nature stratifiée des roches triasiques implique une sédimentation en milieu aqueux, sédimentation rythmée par des vitesses de dépôt faibles ou nulles (joints), d'éventuelles érosions, mais toujours en milieu aqueux... Tel est le principe stratonomique à partir duquel on devrait, en toute première hypothèse, comprendre les quelques « enregistrements-clichés » que préserva la transgression des faciès continentaux du Trias. Par exemple, les minéralisations du quartier Pomègues (type B), les minéralisations des conglomérats, les couches du quartier Alby-Fontbonne, seront décrites ci-après.

2.2.1 – Les minéralisations du quartier Pomègues (type B)

Il s'agit d'imprégnations sulfurées (sphalérite) de sables dolomitiques. Développés à l'aplomb des structures hautes du dôme des Malines, et, plus précisément, dans l'aire circonscrite par l'isopaque 0 du conglomérat 3, ces sables dolomitiques remplissent des creux du grand paléorelief de la troisième séquence. Ces dolosparites ne sont en fait que des épandages

superficiels de sables et cailloutis dolomitiques sur substrat imperméable, encore que fissuré, démantelé, en fait, de véritables dolines, sans drain sous-jacent.

La sphalérite de ces épandages doit être rapprochée de celle des minéralisations des conglomérats.

2.2.2 — Les minéralisations des conglomérats

C'est une simplification illusoire que de considérer résolu le problème des minéralisations liées, géométriquement, aux conglomérats en les assimilant à des imprégnations diffuses. Celles-ci existent, sans aucun doute, mais elles sont très généralement pauvres (C. 1, C. 2) ou très proches du stérile (C. 3).

En ne retenant que le conglomérat de 3e séquence, on constate que le plus souvent cette roche se présente comme, effectivement, un poudingue à éléments de dolomie cambrienne sub-anguleux ou arrondis, cimentés par une dolomite cristalline rougeâtre (pl. V, ph. 1). C'est dans le ciment qu'apparaissent à l'occasion des imprégnations sulfurées discrètes, sphalérite et pyrite essentiellement (pl. V, ph. 2).

En revanche, et indépendamment des remobilisations liasiques, le conglomérat 3 fournit des minerais riches et exploitables : amas sous les marnes du quartier Vieille Mine et notamment amas Vendôme, Castelnau, les Albys... Ceux-ci se présentent comme une masse barytique et sulfurée à enclaves sub-anguleuses, non jointives, de dolomie cambrienne plus ou moins transformée par remplacement métasomatique, par la minéralisation sulfurée et/ou sulfatée (pl. V, ph. 3). Fait curieux, mais remarquable, le degré de remplacement de ces éléments est très variable à l'intérieur d'un même échantillon, manuel, de minerai et, mieux même, à l'intérieur d'un même ensemble de blocs réunis par une même enveloppe de sulfures concrétionnés. En effet, les fragments dolomitiques sont systématiquement auréolés par un rubanement de sulfures concrétionnés où la sphalérite domine de très loin sur la marcasite et la pyrite. Il arrive, que plusieurs fragments soient réunis dans une même enveloppe crustifiée. Un ciment de barytine blanche, en grandes lamelles palmées, pratiquement dépourvu de sulfures, lie entre eux les blocs séparés comme les ensembles de blocs.

Latéralement, les sulfures disparaissent et la roche se présente alors comme un conglomérat à ciment purement barytique, puis barytodolomitique, et enfin purement dolomitique.

Les circulations aquifères dans des formations détritiques grossières (gisements du type Red-Bed) expliquent aisément de telles cimentations. En revanche, la métasomatose très irrégulière des fragments dolomitiques dans un même échantillon manuel s'accommode mal d'un tel modèle. On peut penser qu'une partie de ces fragments dolomitiques transformés pseudomorphiquement et de manière différentielle en barytine ou en sulfures (marcasite, sphalérite) ne sont que des morceaux de minerais d'amas, remaniés dans le conglomérat.

2.2.3 — Le conglomérat-brèche des Albys

L'origine par remaniement bréchique et sédimentaire parce que stratifié dans le conglomérat, est localement certaine.

Le conglomérat-brèche des Albys (pl. V, ph. 4) montre des éléments anguleux de dolomie cambrienne, mais aussi de minéral fragment de concrétionnement de schalenblende, de minerai barytique (métasomatose de dolomie cambrienne) et sulfuré (sphalérite)... Le ciment de cette brèche reflète aussi le remaniement d'une minéralisation antérieure à la bréchification : dans une trame de dolomie très cristalline, siliceuse — chert et cristaux de quartz bipyramidés interstitiels entre les cristaux de dolomite — on reconnaît des lamelles broyées de barytine, des fragments d'ovoïdes de schalenblende et de petits éclats de concrétionnement pyriteux.

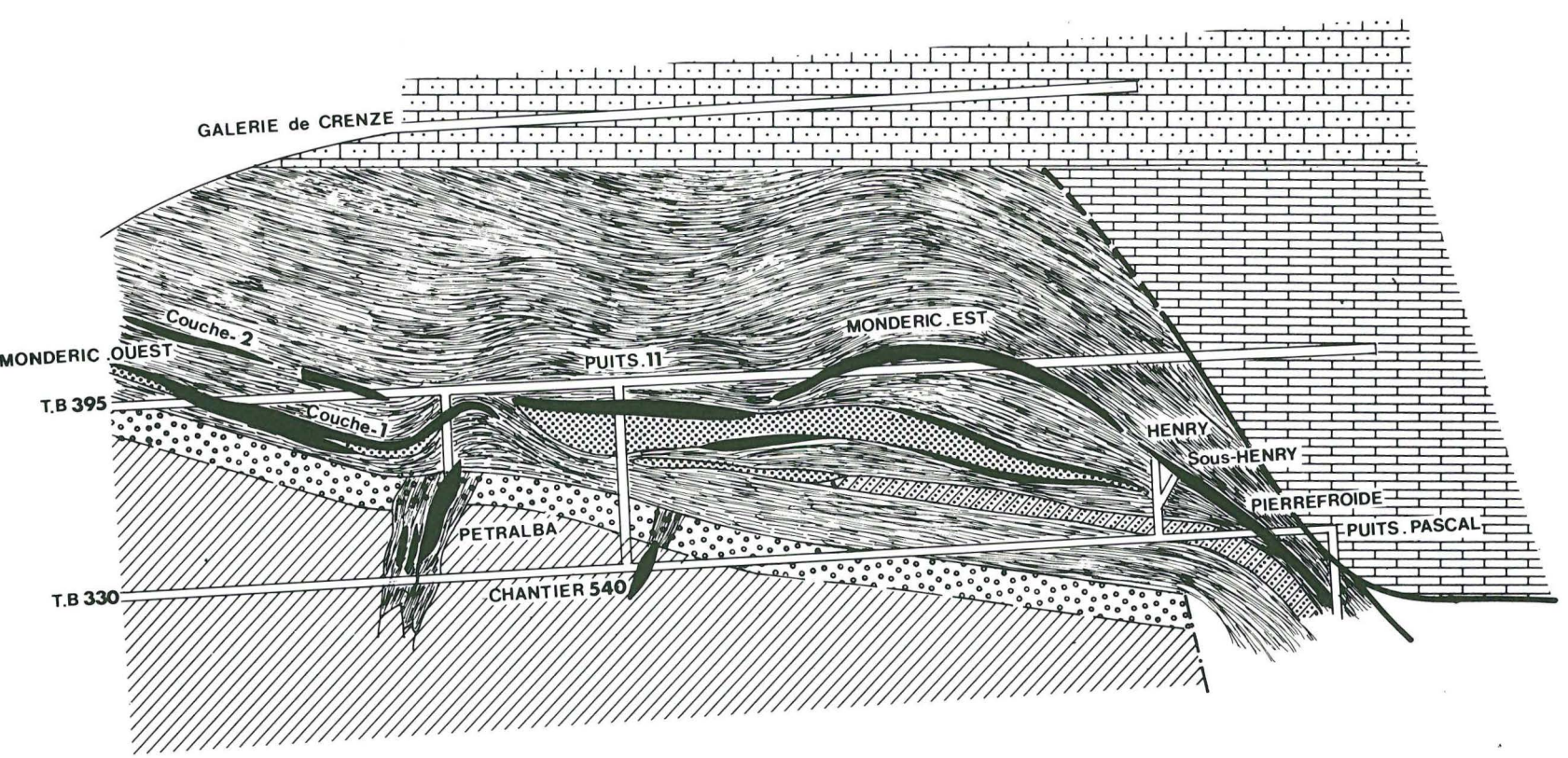
On note enfin quelques minéraux de néoformation : pyrite, sphalérite mielleuse, dolomite, bien visibles dans les géodes assez rares, du ciment.

Les microbrèches intraformationnelles minéralisées d'Alby-Fontbonne. On peut rapprocher ce type de minerai, bréchique, des microbrèches sédimentaires (pl. VI, ph. 1) polygéniques, minéralisées par leur ciment du quartier Alby-Fontbonne, c'est-à-dire à des couches minéralisées. Généralement bien classés (2 à 3 cm), les éléments de cette brèche sont constitués, soit par de la dolomie de Montdardier, soit, surtout, par des pélites schisteuses très similaires aux schistes de La Sanguinède. Le ciment, minéralisé, est constitué par une sphalérite brune à inclusions de quartz bipyramidés (pl. VI, ph. 2). Il s'y développe quelques lamelles effilées de barytine, corrodées à leur périphérie par des cristaux de quartz néoformés. Ces minerais bréchiques sont assez ubiquistes dans le quartier d'Alby-Fontbonne, en aval précisément du quartier des Albys.

Ainsi, il est certain qu'au moins une partie des minéralisations riches des conglomérats et des couches provienne du démantèlement de minéralisations antérieures, du type amas de socle. Ceci implique également un rajeunissement de karst du substratum (Pétralba, par exemple) : minéralisés pendant le nivellement d'un premier relief dû à une saccade épirogénique, ces massifs dolomitiques furent mécaniquement démantelés lors d'une deuxième saccade. La reprise d'érosion karstique sur les cavités hypogées fut sans doute, comme il en est généralement dans le cas de rajeunissement, particulièrement intense, le nivellement final de la dernière saccade entraînant, à son tour, minéralisation. Seulement pressentie à Montdardier, cette possibilité de rajeunissement d'un horst et de ses karsts est ici prouvée par ces minéralisations remaniées dans le 3e conglomérat et les sédiments détritiques immédiatement surincombants. Il resterait bien sûr à analyser les conséquences de ce rajeunissement en cavité hypogée ; cette recherche reste à entreprendre.

2.2.4 — Les couches du quartier Alby-Fontbonne

Il s'agit de minerais pauvres qui, panachés avec les minerais riches du quartier Vieille Mine, ont assuré pendant plusieurs années la production du district. Stratifiées, ces minéralisa-



1 Dolomies du cambrien moyen
Middle Cambrian dolomites

2 Conglomérats triasiques
Triassic conglomerates

3 Marnes triasiques
Triassic marls

4 Dolomies de l'Hettangien
Hettangian dolomites

5 Dolomies du Bathonien supérieur
Upper Bathonian dolomites

6 Minéralisation sulfurées riches
Rich sulphided mineralizations

7 Lentilles dolomitiques stériles
Barren dolomitic lenses

8 Lentille micro-bréchique dite « couche gréseuse, faiblement minéralisée »
Micro-breccia lens - so-called « poorly-mineralized sandstone layer »

9 Imprégnations barytiques diffuses dans le conglomérat et remplissages concrétionnés des amas de Petralba
Barytic impregnations scattered throughout the conglomerate and concretionary fillings of the Petralba bodies

FIG. 13. — Coupe à travers les quartiers des Albys et de Fontbonne.

Section across the workings of Albys and Fontbonne district.

tions apparaissent sur le flanc sud-est du dôme des Malines (fig. 13), et plus précisément, à l'aplomb de l'alignement des amas de Pétralba. Les faciès rencontrés sont divers et riches d'informations génétiques ; toutefois la nature introductive de cette présentation restreint la place impartie à leur description. Un choix est nécessaire qui mette l'accent sur la signification de ces minéralisations : les shales dolomitiques de couche I, les dolomies vacuolaires (couches I et II).

Ces concentrations stratiformes se superposent à des lentilles dolomitiques interstratifiées dans les marnes noires litées. Plus précisément, c'est le sommet de ces unités lenticulaires qui est minéralisé : le contact « dolomie-marnes noires » ménage en fait trois lithotypes et, de haut en bas :

a — un shale marno-dolomitique à 52 % de minéraux argileux, à large dominante illitique et 42 % de carbonates (dolomite) ;

b — un shale dolomitique, à savoir qu'une faible proportion de minéraux des argiles confère à cette roche une structure litée ;

c — une dolomie grise vacuolaire, mais pour le reste massive, et en tout cas, non litée et dépourvue de minéraux argileux.

Ce sont les horizons *b*) — couche I — et *c*) — couche I et II — qui sont sélectivement minéralisés.

2.2.4.1 — Les shales dolomitiques de la couche I

Les minéralisations correspondantes paraissent litées ; elles le sont doublement (pl. VII, ph. 3) :

— par le litage de la roche dolomitique qui les supporte ;

— par le rubanement des crustifications sulfurées.

Ces rubanements se superposent aux principaux délits argileux du shale dolomitique. Ils en suivent apparemment tous les contournements et tel minerai, ici à structure parallèle au litage plan, passe latéralement à des minerais à structure contournée, de slumping (pl. VII, ph. 4). Par exagération de ces contournements, on arrive à des structures bréchiques. Celles-ci, monogéniques, intraformationnelles, présentent des éléments de shales dolomitiques lités à imprégnation zincifère diffuse, le ciment étant constitué par une dolomie saccharoïde, noirâtre, où s'individualisent ça et là de petits concrétionnements néoformés de schalenblende.

En d'autres termes, tôt individualisée dans le litage dolomitique, la sphalérite devient de plus en plus abondante en arrivant à l'éponte des joints argileux où elle forme des crustifications rubanées de schalenblende (pl. VII, ph. 1). En fait, il s'agit de grains fibreux de sphalérite, aucune wurtzite n'ayant été décelée aux rayons X. En revanche, la galène est fréquente dans les microrubans et forme souvent l'essentiel des plages centrales de ces rubanements.

Pré-évaporitique, cette dolomie à grain fin, noirâtre par l'imprégnation en pyrite à cœur framboïdal, est également gypsifère. Nul doute que son contenu en métaux lourds n'ait existé très tôt dans la boue dolomitique où l'expression minéralogique finale de ces sulfures et sulfates relève de la diagenèse, voire de l'épigenèse (fissures tardives à gypse fibreux et sphalérite jaune clair).

2.2.4.2 — Les dolomies vacuolaires de couche I et II

Il s'agit de la dolomie interstratifiée dans les shales marneux noirs. Saccharoïde, grise, vacuolaire, cette dolomie (pl. VII, ph. 2) présente au microscope deux types de cristaux :

— des grains xénomorphes engrenés à pigmentation diffuse, de grande dimension (0,5 à 0,6 mm) formant la trame ;

— des cristaux automorphes microcristallins (20 à 50 microns) de dolomite claire dessinant de petits trabécules dans la trame. Il s'agit d'une cristallisation épigénétique par intrusion et éclatement (Gignoux et Avnimelech, 1937).

Les minéraux sulfurés apparaissent :

— dans la roche où ils se superposent aux trabécules de dolomite épigénétique (pl. VI, ph. 3 et 4). On y rencontre :

- la fluorine qui cristallise de manière poeciloblastique sur la dolomie épigénétique ;
- la sphalérite claire, jaune, automorphe ;
- l'anhydrite et le gypse,

— dans les vacuoles, où l'on peut fixer un ordre de cristallisation : dolomite en rhomboèdres, fluorine en cubes, sphalérite claire en dodécaèdres, gypse en petites houppes crêtées. Tous ces minéraux sont là recouverts par un enduit de kaolinite terminale.

Il est donc fort probable là encore, que dans cette dolomie pré-évaporitique la paragenèse métallifère ait été présente très tôt dans la boue carbonatée et que son expression finale relève de l'histoire diagénétique et épigénétique de la roche-support. Les deux expressions d'une même paragenèse évidemment contemporaines dans la roche et dans les vacuoles — un même cristal de fluorine pouvant être xénomorphe et poeciloblastique côté roche, automorphe, côté vacuole —, méritent d'être soulignées.

2.2.5 — Conclusions

Ainsi, les minéralisations en couche dans leur ensemble témoignent de phénomènes de remaniement d'un stock métal fixé primitivement dans les amas du substratum : d'abord détritiques et grossiers, ces remaniements demeurent mécaniques pour les éléments rocheux mais deviennent chimiques pour la silice, les carbonates, les métaux lourds. En milieu pré-évaporitique et en sédimentation carbonatée dolomitique enfin, ces remaniements s'avèrent totalement chimiques.

D'abord dépôts détritiques bordant des reliefs qui limitaient une doline-puits, sédiments et minéralisations associés évoluent vers des dépôts ultra-détritiques et chimiques, le plus souvent réducteurs, qui correspondent au colmatage hydromorphe de la doline et préludent à la sédimentation évaporitique, oxydante, de sebkha qui termine l'histoire sédimentologique du Keuper.

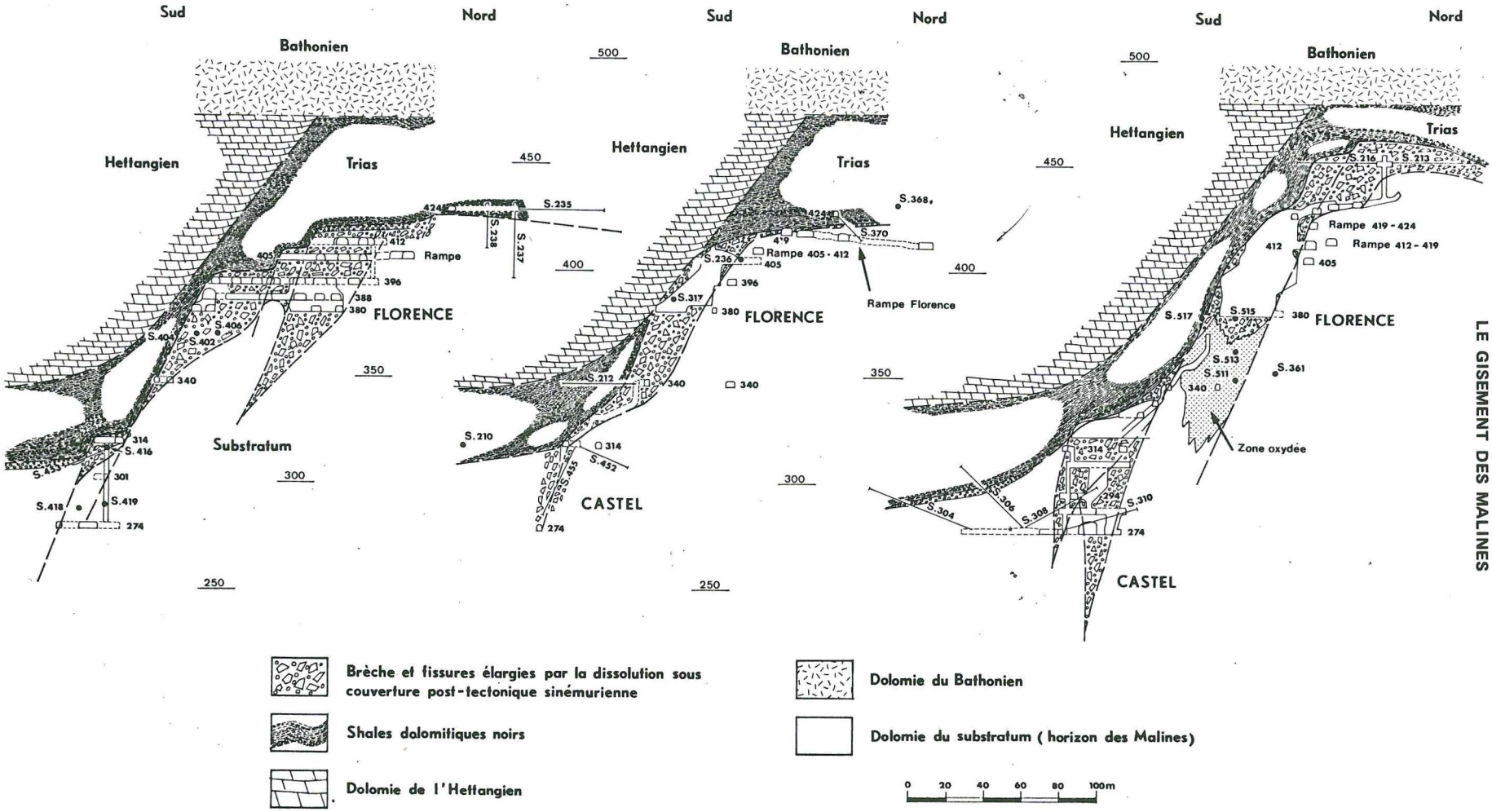


FIG. 14. — Coupes sériées N-S à travers les réseaux karstiques sous couverture de Florence et de Castel.

Les réseaux se développent dans la dolomie cambrienne, le long d'une zone de faille liée à la hase tectonique sinémurienne. Cette zone fracturée s'accompagne du biseautage de l'Hettangien t des marnes triasiques.

Les dissolutions associées à chaque fracture ne pénètrent que peu dans le substratum (30 m u maximum). En revanche, l'ensemble du système fracturé représente une hauteur karstifiée 'environ 200 m qui se superpose à la dénivellation, en escaliers, du Socle dolomitique.

North-South seriated geological sections through karstic cavities of Castel and Florence below the sedimentary cover.

The cavities develop in the Cambrian dolomite, along a fault zone linked with the Sinemurian tectonic phase and accompanied by the Hettangian bevelling and Triassic marls.

The solutions do not sink far down in these fractures (30 m at the most) but the whole system has produced a high karst relief of about 200 m on top of the stepped dolomitic basement.

2.3 — Les remobilisations liasiques (fig. 14 et pl. VIII)

Il s'agit de remaniements épigénétiques tardifs des minéralisations précédentes. Ils n'affectent donc pas les roches du Lias supérieur mais interviennent très vraisemblablement au moment de la surrection du dôme de Gorniès et des Malines, entre Lotharingien supérieur et Bathonien supérieur. L'érosion qui s'ensuit décape ce nouveau relief jusqu'au socle varisque et les circulations aquifères connexes de cette émersion affectent, inéluctablement, les minéralisations liées à l'inconformité triasique.

Le plus souvent, ces remaniements consistent en un élargissement de fissures, voire en la création de petites cavités à brèches d'effondrement (pl. VIII, ph. 1 et 2). Particulièrement repérables dans les massifs minéralisés où ils vident ici d'anciennes fissures minéralisées, effondrent là un massif minéralisé antécédent (brèches tardives à éléments de minerai), remplissent enfin de manière très caractéristique de nouveaux réseaux d'ouvertures, ces phénomènes de « dissolution-dépôt » liasiques se développent aussi en zone non minéralisée. Les reconcentrations qu'ils engendrent sont évidemment beaucoup plus intéressantes économiquement ; elles constituent presqu'exclusivement les minerais des quartiers Florence (pl. VIII, ph. 3), Aval, 102.

En général, les remplissages liasiques sont homogènes dans une même zone minéralisée. Les lessivages des anciennes crustifications peuvent toutefois avoir été incomplets et il n'est pas rare de rencontrer des reliques de crustifications triasiques sous les concrétionnements liasiques. Ces dernières présentent une paragenèse relativement constante, encore que plus ou moins, suivant les endroits :

– la première crustification est siliceuse et formée d'une couche monocristalline de quartz directement déposée sur les parois de la fissure agrandie. Cette silice ne se substitue pas à la dolomie d'éponte mais la recouvre et la protège de toute corrosion ultérieure ;

– le deuxième encroûtement est constitué de pyrite (pl. VIII, ph. 4) microcristalline (20 microns) à nombreuses inclusions de galène (2 microns). A l'exception des minerais de Caucanas, cet encroûtement est systématiquement désordonné. Fréquemment, ce premier ruban sulfuré est recouvert d'un deuxième enduit beaucoup mieux ordonné et comprenant quartz sub-automorphe, pyrite (20 microns) et galène (2 à 5 microns). C'est une répétition ordonnée du premier enduit ; elle n'est pas systématique ;

– le troisième et dernier encroûtement constant est formé de sphalérite orangée à rouge, en cristaux sub-automorphes ou en texture dite en palissade.

Suivant les endroits et de manière beaucoup moins commune, d'autres dépôts peuvent recouvrir le troisième encroûtement : dolomite automorphe, deuxième génération de sphalérite en cristaux millimétriques rouge sombre à noir, petits cristaux de quartz... Ces cristallisations tardives sont souvent distribuées de manière éparse sur les parois des fissures. Le vide central, lorsque l'ouverture n'est pas totalement emplie par les dépôts précédents, est généralement occupé par de la barytine, notamment au-dessus de l'isopaque 8 m du conglomérat 3.

2.4 — Aperçu sur les amas du Bathonien

Il s'agit, ainsi que cela a été relaté dans l'historique minier de lentilles de grandes dimensions (300 à 800 m^2) puissantes (13 m à Cabrières), de minéraux oxydés du zinc, essentiellement (smithsonite, hémimorphite), et du plomb (cérusite) accessoirement.

Les minéralisations primaires ont été sulfurées, mais les circulations récentes (post-oligocène) dans la dolomie bathonienne ont oxydé pratiquement la totalité de ces sulfures. Donc et pour l'essentiel, il s'agissait d'amas calaminaires traversés par des réseaux de fractures limonitiques et affectés par de nombreux phénomènes de dissolution karstique, en milieu oxydant.

Le minerai primaire sulfuré n'est plus accessible aujourd'hui et c'est sans doute avec les minéralisations stratiformes, dans le Bathonien, de Saint-Hippolyte-du-Fort, entre Ganges et Anduze, *cf.* fig. 1, que l'on peut se faire une idée de ce qu'ont été les minéralisations sulfurées du Bathonien aux Malines. Les minerais observables aujourd'hui, tant sur les stériles qu'au fond (vieux travaux très partiellement accessibles), ne montrent guère que des imprégnations pauvres, fissurales, dans une calcarénite dolomitique et très siliceuse (chert). Toutefois, aux Avinières *cf.* fig. 3 comme aux Malines, les anciens rapports signalent une liaison préférentielle des lentilles minéralisées avec des lignites sans insister sur une liaison avec des accidents cherteux.

2.5 – Conclusion

Cette présentation des gisements du district des Malines se veut purement descriptive... Mais, peut-on éviter de parler de genèse paléokarstique devant les rythmites de remplissage interne des cavités sous-inconformité de Montdardier et de La Sanguinède ?

Certes, et comme l'idée en a été avancée, la cavité karstique n'est peut-être qu'un réceptacle à sédiments allochtones et postérieurs, ou, en tout cas, hétérochrones par rapport à l'ouverture même de la cavité. Ici, il est certain qu'ouverture et remplissage sont bien synchrones, et que, par conséquent, pour l'essentiel, les matériaux de l'influvium dérivent de l'encaissant proche, dolomitique ou grauwackeux.

Qu'en est-il des métaux ? Là aussi il semble qu'une première pré-concentration cambrienne, volcano-sédimentaire, bien connue par des anomalies géochimiques importantes (plusieurs centaines de µg/g Pb-Zn) ait existé à l'aplomb des massifs carbonatés cambriens, après l'orogenèse hercynienne.

Dès lors, l'épirogenèse lotharingienne et la transgression bathonienne ménagent des possibilités très sérieuses de remaniement chimique de l'énorme concentration métal lié à l'inconformité triasique (750 000 t).

Alors, les raisons de la permanence de minéralisations plombo-zincifères en un même lieu ne résident-elles pas dans la réitération curieuse, heureuse, inopinée, climatique... de la sédimentation carbonatée à des époques différentes mais au même endroit : dolomie lénienne, triasique, bathonienne ?

Au reste, décrire et seulement décrire, ne signifie pas obligatoirement absence de réflexion ; corrélation factuelle ou disgression génétique, l'essentiel pour découvrir de nouvelles minéralisations enfouies... – en 1979, l'affleurement riche dans le district des Malines est une denrée rare – est de prolonger à partir de ce que l'on sait sûrement, d'extrapoler, bref ! de prendre un risque raisonné. Alors pour apprécier et raisonner le risque, vrai ou faux, réalité ou rêve, le modèle paléokarstique s'est avéré depuis 1958 d'une utilité certaine, en exploration minière de la zone Malines.

PLANCHES

PLANCHE I. — **Cavités à remplissage bréchique.**

Ph. 1. — Remplissage intrakarstique.

Il s'agit d'un sédiment fin, à litage très perturbé, contourné, dans lequel se rencontre des intraclasts de sédiments indurés et sulfurés (S). Il s'agit évidemment du remaniement d'un sédiment antérieur induré et sulfuré, dans un nouveau sédiment très peu minéralisé et constitué essentiellement de quartz, de phyllite, de dolomite.

Chantier de la Sanguinède, amas Fracture (voir fig. 11), recoupe 5, niveau 375, photo N. Meyer.

Ph. 2. — Brèche de la Sanguinède : vue de détail d'un remplissage bréchique.

On peut distinguer sur cette photo de nombreux éléments anguleux de schistes ardoisiers, sombres (Sc) quelques éléments de dolomie cambrienne, clairs (d), des éléments mixtes calschisteux (M).

Le ciment est constitué par de la dolomite, du quartz et une sphalérite orangée, en petits cristaux (50 à 70 microns).

Origine : chantier de la Sanguinède, Amas principal (voir fig. 11) taille 1, niveau 320. Photo N. Meyer.

Ph. 3. — Vue de détail d'un sédiment intrakarstique rythmé.

La granulométrie de ces rythmites est très variable et l'organisation séquentielle des macrorythmes difficile à mettre en évidence en raison de slumps, des microtassements différentiels, ou comme ici un décollement de lit induré (bulle ?) empli par en dessous par les rythmites surincombantes.

Les lits clairs à la base et au sommet de l'échantillon sont pratiquement constitués de sphalérite pure (S) qui se superpose ainsi aux horizons les plus grossiers.

Origine : chantier de la Sanguinède, niveau 450, photo N. Meyer.

PLATE I. — ***Karstic cavities with brecciated filling.***

Ph. 1. — Intra-karstic filling.

This is a fine sediment with very disturbed, contorted bedding in which are found intraclasts of indurated and sulphided sediments (S). It is obviously a modification of an earlier indurated, sulphided sediment into a new hardly mineralized one, made up mainly of quartz, phyllite and dolomite.

Workings at la Sanguinède, mass fracture (see fig. 11) drift 5, level 375, photo N. Meyer.

Ph. 2. — Breccia of la Sanguinède : detailed view of a brecciated filling.

On this photo, can be seen numerous dark angular elements of slaty schists (Sc), a few light coloured elements of Cambrian dolomite (d) mixed calschistous elements (M).

The cement consists of dolomite, quartz, and an orangey-coloured sphalerite, in small crystals (50 to 70 microns).

Origin : workings of la Sanguinède, main mass (see fig. 11) face 1, level 320, photo N. Meyer.

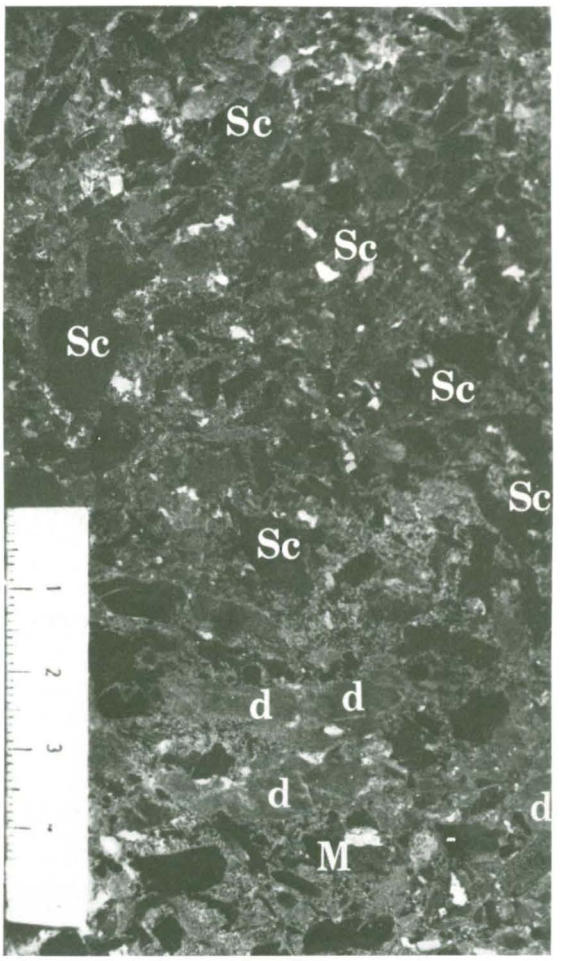
Ph. 3. — Detailed view of a rhythmic interkarstic sediment.

The granulometry of these rhythmites varies greatly and the sequential organization of the macro-rhythms is difficult to bring out because of slumps, differential micro-settling or, as in this case, an indurated bed dislodging (bubble ?) filled in from below by the superincumbent rhythmites.

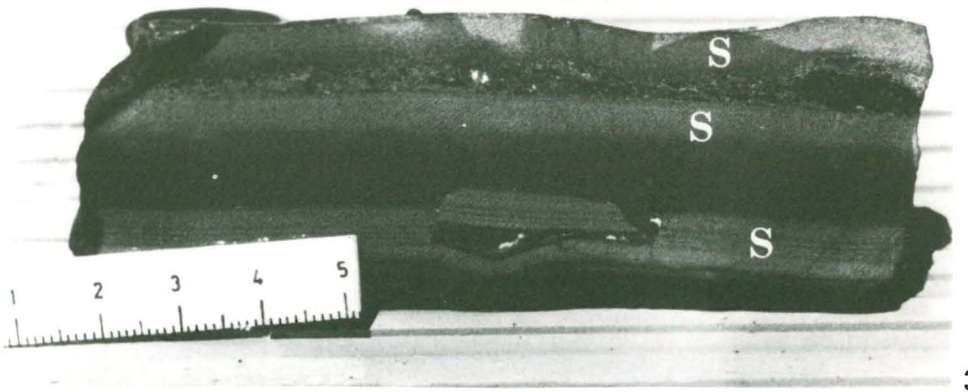
The light coloured beds at the bottom and top of the sample are almost entirely made up of pure sphalerite (S), lying on top of the coarser layers.

Origin : workings of la Sanguinède, level 450, photo N. Meyer.

1



2



3

PLANCHE II. — **Cavités à remplissage sédimenté.**

Ph. 1. — Remplissage sédimenté dans une grande cavité.

Il s'agit d'une rythmite imprégnée de manière diffuse par de la sphalérite claire. Le sédiment est par ailleurs ponctué par de petits fragments clastiques, dolomitiques.

Origine : chantier de Montdardier, amas 60 (voir fig. 12). L'échelle est donnée par le couvre-objectif : 45 mm. Photo G. Verraes.

Ph. 2. — Vue de détail d'une rythmite intrakarstique.

Les macrorythmes visibles à l'œil nu sont eux-mêmes divisés en nombreux microrythmes. On distingue très bien la distribution de la sphalérite apparemment corrélée avec les granulométries les plus grossières.

Origine : chantier de Montdardier, amas 60, recoupe 95, niveau 445. Photo G. Verraes.

Ph. 3. — Vue de détail d'un sédiment intrakarstique.

On peut distinguer des rythmes d'ampleur inégale, des slumps, ainsi que quelques copeaux de dessication. La sphalérite, encore une fois, se rassemble surtout en petits cristaux diffus dans les lits les plus grenus.

Origine : chantier de Montdardier, amas 60, recoupe 95, niveau 440. Photo G. Verraes.

PLATE II. — ***Karstic cavities with sedimentary filling.***

Ph. 1. — Sedimented filling in a big cavity.

This is a rhythmite impregnated with scattered light coloured sphalerite. The sediment is also dotted with small clastic, dolomitic fragments.

Origin : Montdardier workings, mass 60 (see fig. 12). The scale is given by the cover-lens : 45 mm. Photo G. Verraes.

Ph. 2. — Detailed shot of an intrakarstic rhythmite.

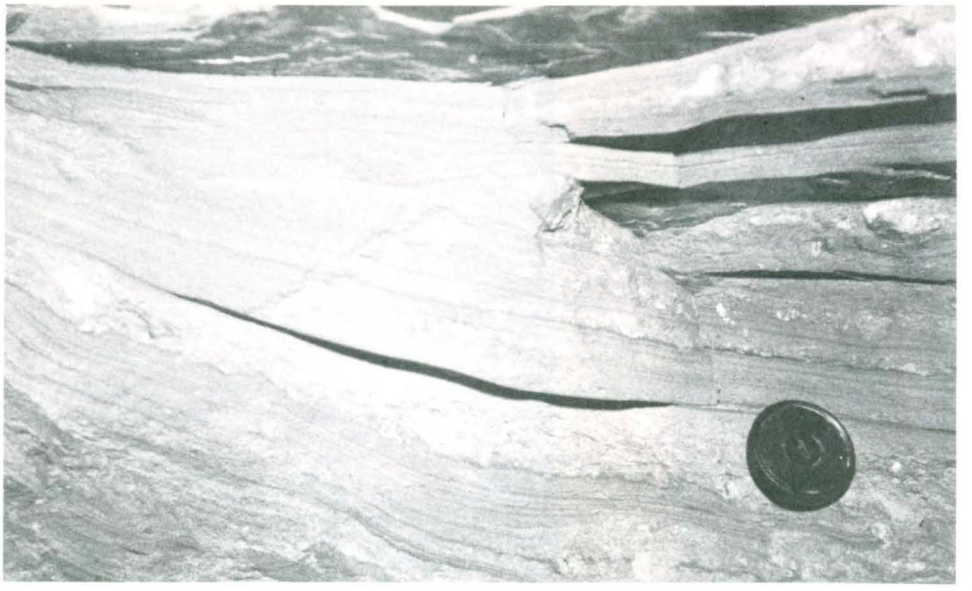
The macrorhythms visible to the naked eye are themselves divided up into microrhythms. The distribution of the sphalerite can be clearly seen, apparently correlated with the coarsest granulometries.

Origin : Montdardier workings, mass 60, cross drift 95, level 445. Photo G. Verraes.

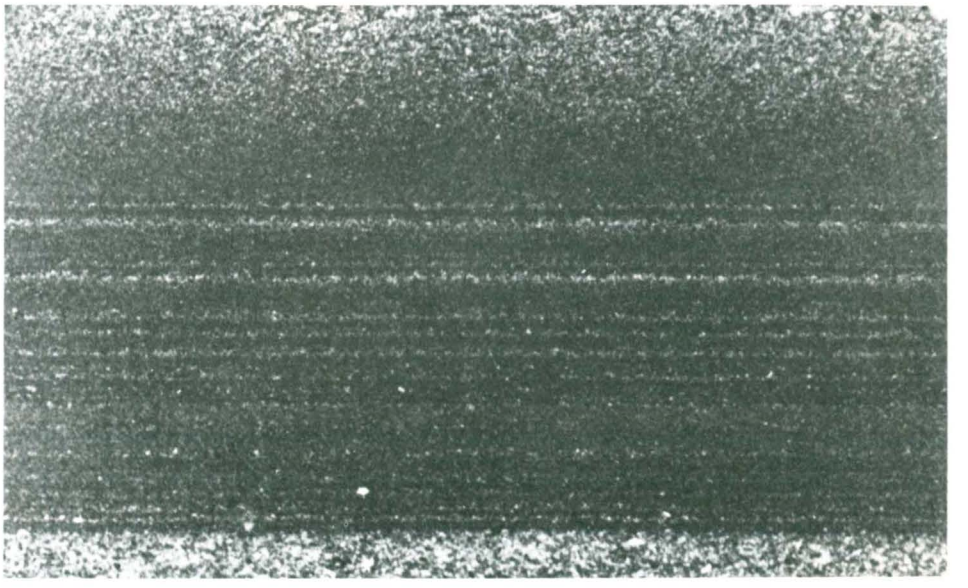
Ph. 3. — Detailed shot of an intrakarstic sediment.

Rhythms of differing importance can be seen, as well as slumps, and a few chips of dessication. The sphalerite once more, is grouped into small crystals scattered throughout the most granular beds.

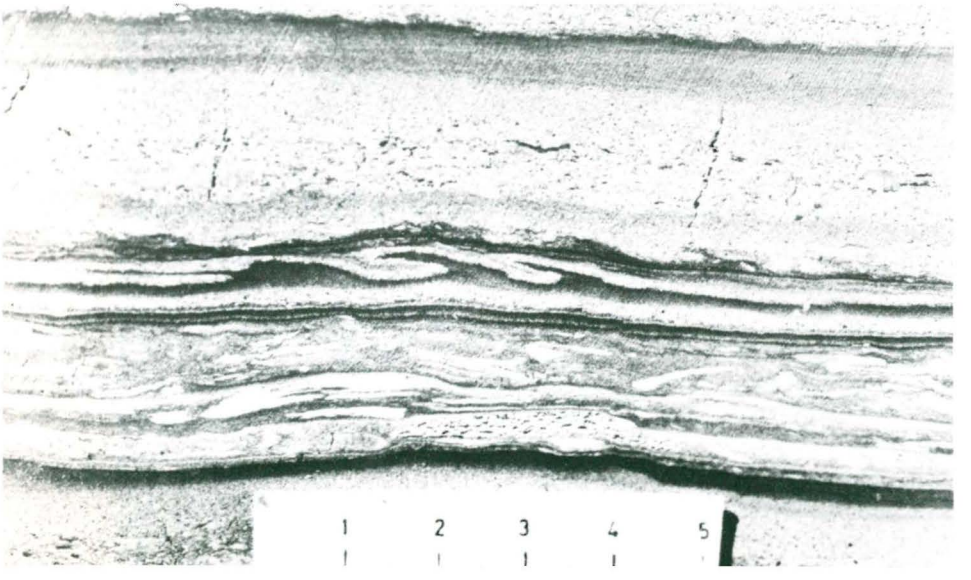
Origin : Montdardier workings. Mass 60, cross drift 95, level 440. Photo G. Verraes.



1



2



3

PLANCHE III. — **Remplissages de cavités épigées.**

Ph. 1. — Phénomènes d'effondrement — dissolution.

Les fractures de la dolomie démantelée sont comblées par des produits (argiles) résiduels : illite, kaolinite, quartz, hydroxydes de fer, dolomite.

On se trouve ici sous le fond d'une paléo-doline.

Origine : Vieille Mine, intersection des T.B. 416 et 414. Photo J. G. Michaud.

Ph. 2. — Fissures élargies, dans la dolomie cambrienne, se remplissant comme des micro-cavités.

Les parois des fractures, émoussées par dissolution se recouvrent tout d'abord d'encroûtements de schalenblende où figurent également quelques cristaux de galène, les ouvertures résiduelles étant alors emplies par un sédiment à grain fin constitué essentiellement de silice, de dolomite et de sulfures.

Le sommet de certaines de ces cavités a été, à son tour, décapé, corrodé, par des circulations ultérieures, probablement liasiques : cette nouvelle surface est aujourd'hui parsemée, inégalement, par quelques néoformations automorphes de pyrite et de sphalérite.

Origine : Montdardier, chantier 18, allée 14, niveau 470. Photo G. Verraes.

Ph. 3. — Sédiment très argileux emplissant une cavité largement ouverte sur la paléo-surface triasique.

Quelques blocs dolomitiques, visiblement tombés dans un ciment à grain très fin, rythmique par son litage, se discernent en haut et à droite de la photo. Ce ciment présente de nombreux caractères sédimentaires.

Il s'agit du minerai Pomègues, type A (G. Verraes, 1976).

Origine : Pomègues, allée 2, Nord. Photo. J. G. Michaud.

PLATE III. — ***Fillings of surface cavities.***

Ph. 1. — Phenomena of sinking-dissolution.

The fractures of the dismantled dolomite are filled in with residual products : illite, kaolinite, quartz, iron hydroxides, dolomite.

This is under the floor of a paleo-doline.

Origin : Vieille Mine, intersection of the T.B. 416 and 414. Photo J. G. Michaud.

Ph. 2. — Widened fissures in the Cambrian dolomite, filling in like micro cavities.

The sides of the fractures, smoothed-off by dissolution are covered over at first by schalenblende encrustings where a few galena crystals are found also. The residual openings are then filled in with a fine-grained sediment made up mainly of silica, dolomite and sulphides.

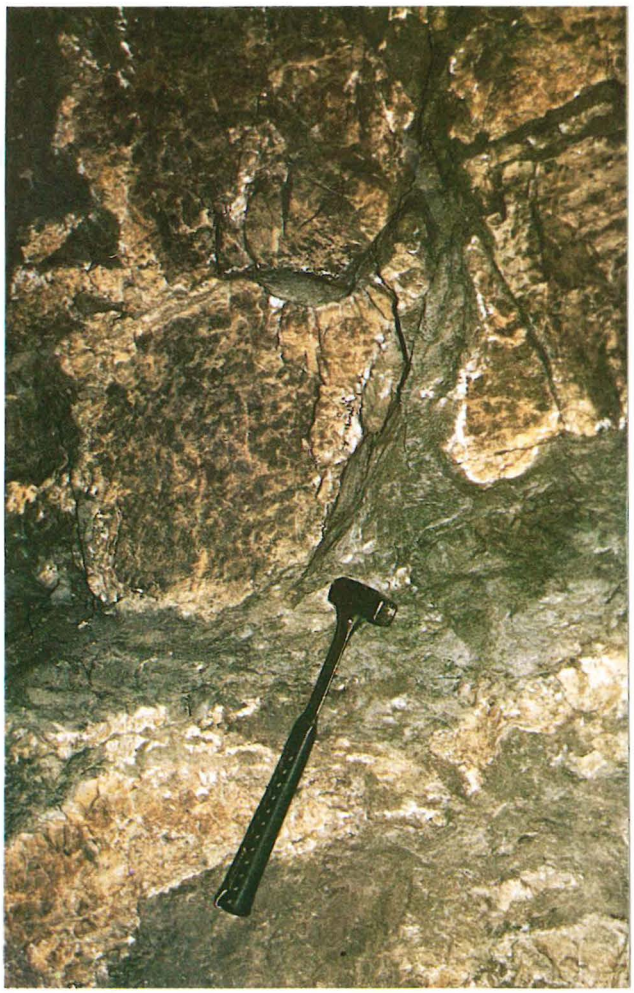
The top of some of these cavities was in turn scraped and corroded by later circulations, probably Liassic : this new surface is strewn irregularly today by a few automorphous neoformations of pyrite and sphalerite.

Origin : Montdardier, working 18, path 14, level 470. Photo G. Verraes.

Ph. 3. — Very clayey sediment filling a cavity opening wide on to the Triassic paleo-surface.

A few dolomitic blocks, visibly fallen into a very fine-grained cement, with rhythmic bedding, are to be seen at the top right of the photo. This cement has many sedimentary characteristics. It is the Pomègues ore, « A » type (G. Verraes, 1976).

Origin : Pomègues, path 2, north. Photo J. G. Michaud.



1

2

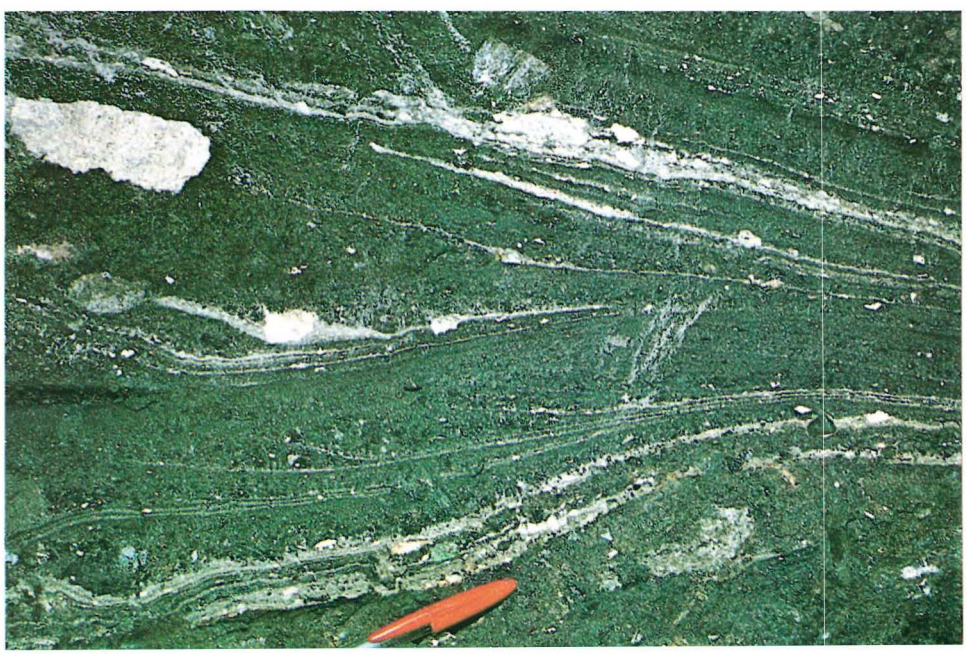


PLANCHE IV. — **Minerais des amas Vieille Mine.**

Ph. 1. — Minerai d'amas enraciné : Tabusse, zone de la racine (cote 400).

La barytine noirâtre, nacrée, à plans de clivage courbe, qui constitue les trois quarts de l'échantillon remplace métasomatiquement, mais de manière uniforme la dolomie cambrienne. Elle est cimentée par une barytine laiteuse où se développent essentiellement les sulfures de Zn-Pb-Fe.

Face polie, × 1.

Ph. 2. — Minerai de sommet d'amas karstique : Vieille Mine, Chantier Obelix, niveau 446.

Stalactites et draperies de Schalenblende et de galène cimentées par de la barytine laiteuse. Trouvées en place, ces concrétions ont été photographiées au jour (cliché N. Meyer).

Ph. 3. — Vue de détail de l'échantillon précédent.

Il s'agit ici d'une section transversale de stalactites, ou en tout état de cause d'une structure concrétionnée cylindrique à canal axial.

PLATE IV. — ***Ores from vieille mine district.***

Ph. 1. — Ore of a deep-seated mass : Tabusse, root zone (400 mark).

The blackish, pearly baryte with curved cleavage planes, making up three quarters of the sample, replaces metasomatically but in a uniform way the Cambrian dolomite. It is cemented by a milky barytine where the sulphides of Zn-Pb-Fe are developed in particular.

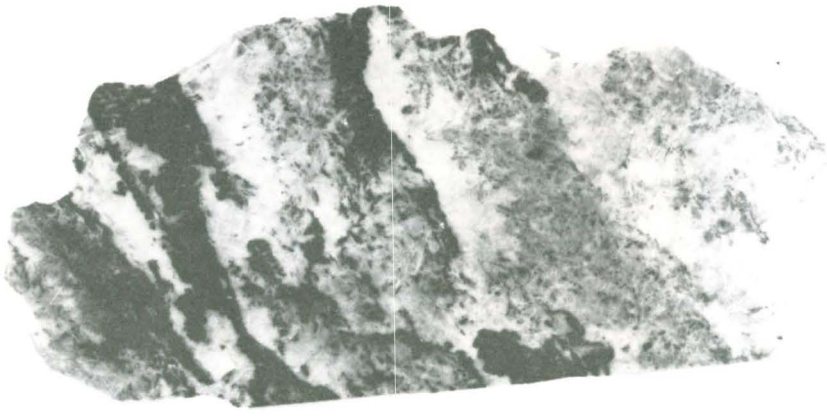
Polished surface, × 1.

Ph. 2. — Ore from top of karstic mass : Vieille Mine, Obelix working, level 446.

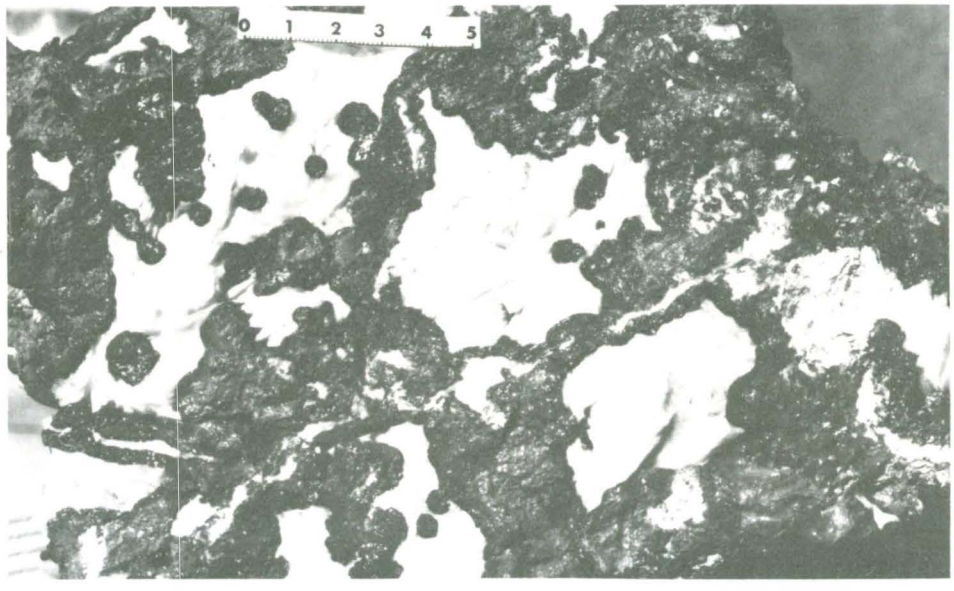
Schalenblende and galena stalactites and hangings, cemented by milky baryte. Found on the spot, these concretions were photographed in daylight (photo N. Meyer).

Ph. 3. — Close-up of the above sample.

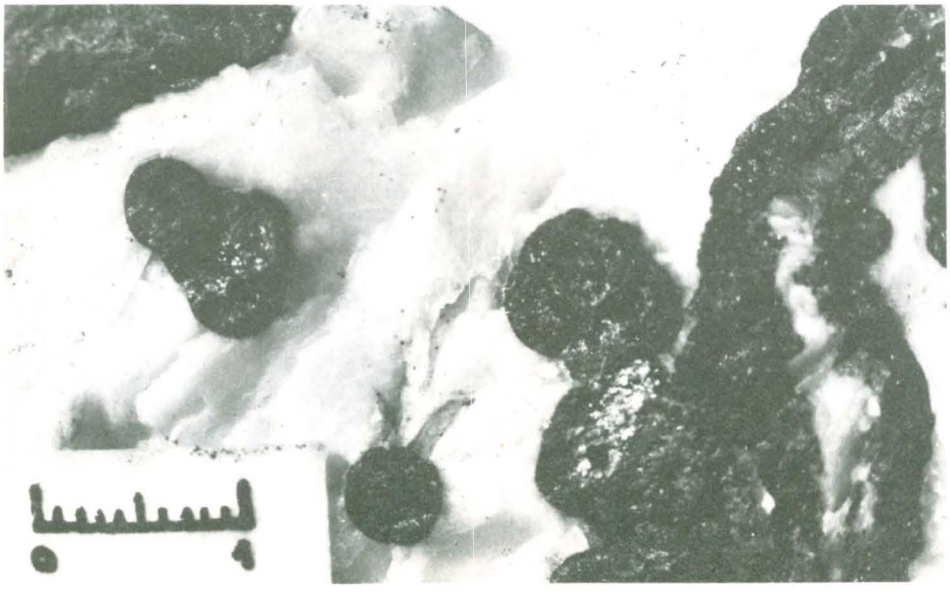
This is a cross-section of stalactites, or, in any case, of a cylindrical concretional structure with axial canal.



1



2



3

PLANCHE V. — **Minéralisations des conglomérats triasiques.**

Ph. 1. — Conglomérat fortement minéralisé.

Les éléments et le ciment sont fortement enrichis en sulfures. Parfois ce phénomène est si développé qu'on ne distingue plus que des fantômes d'éléments dans un ciment de composition quasi identique.

Ce conglomérat se rapproche beaucoup de la brèche des Albys décrite par A. Bernard (1955) et qui proviendrait d'un remaniement d'amas sulfurés pré-existants.

Origine : Montdardier C_1, chantier 14.

Grossissement : × 0,9.

Ph. 2. — Conglomérat-brèche de Montdardier, faiblement minéralisé.

Les éléments anguleux de dolomie cambrienne sont entourés par un liseré sombre de sulfures où domine la marcasite, le tout étant cimenté par une dolomie rougeâtre stérile.

Origine : Castelnau du Bas, carotte de forage sciée et polie, × 1,3.

Ph. 3. — Conglomérat-brèche de Montdardier, minéralisé en sulfures de fer et de zinc. Le ciment est barytique.

En fait, les éléments anguleux de dolomie cambrienne intacte ou partiellement épigénisée par la barytine (b) ou totalement remplacée par la marcasite (m) sont assez systématiquement enveloppés par un liseré de sulfures, sphalérite et marcasite.

Souvent ces éléments apparaissent dispersés, de manière non jointive, dans le ciment barytique, laiteux, tardif.

Origine : Castelnau du Bas. Ech. macroscopique, face sciée, × 0,75.

Ph. 4. — Conglomérat-brèche minéralisé des Albys.

Brèche à éléments anguleux où se reconnaissent des blocs de dolomie de Montdardier plus ou moins épigénisée en barytine — certains (d) sont simplement silicifiés et recristallisés —, des fragments de minerai zincifère à sphalérite brune concrétionnée (analogue à celle des amas), fragment de minerai barytique et zincifère (ba et b)...

Le ciment est dolomitique et légèrement imprégné par les sulfures de fer néoformés.

Origine : Les Albys, quartier Alby-Fontbonne. Ech. macroscopique, face polie, × 1,25.

PLATE V. — ***Ores in Triassic conglomerates.***

Ph. 1. — Strongly-mineralized conglomerate.

The elements and the cement are highly enriched in sulphides. At times, this phenomenon is so developed that only shadows of elements are to be seen in a cement of almost identical composition.

This conglomerate is very close to the Albys breccia described by A. Bernard (1955) and which would come from a modification of preexisting sulphided masses.

Origin : Montdardier C_1, working 14.

Enlargement : × 0.9.

Ph. 2. — Breccia-conglomerate of Montdardier, weakly mineralized.

The angular Cambrian dolomite elements are surrounded by a dark border of sulphides mostly marcasite, the whole being cemented by a reddish sterile dolomite.

Origin : Castelnau du Bas, sawed, polished core, × 1.3.

Ph. 3. — Montdardier breccia-conglomerate, mineralized into iron and zinc sulphides.

The cement is barytic. Indeed, the angular elements of Cambrian dolomite intact or partly epigenized by baryte (b) or completely replaced by the marcasite (m) are quite systematically surrounded by a sphalerite or marcasite sulphide border.

These elements often seem scattered, in a disconnected way in a late milky barytic cement.

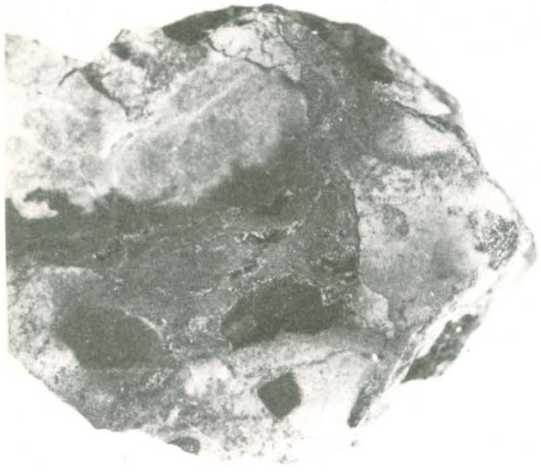
Origin : Castelnau du Bas. Macroscopic sample sawed surface, × 0.75.

Ph. 4. — Mineralized breccia-conglomerate of the Albys.

Breccia with angular elements where can be seen pieces of Montdardier dolomite, more or less epigenized into baryte — some (d) are simply silicified and recrystallized —, fragments of a zinc bearing ore with brown concretional sphalerite (like that of the masses), fragment of barytic zinc-bearing ore (ba and b)...

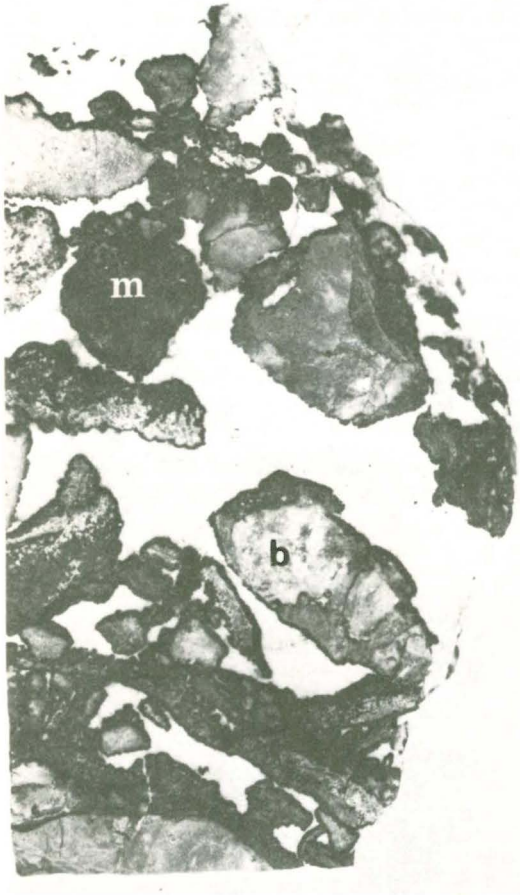
The cement is dolomitic and slightly impregnated by the neoformed iron sulphides.

Origin : Les Albys, Alby-Fontbonne region. Macroscopic sample, polished section × 1.25.

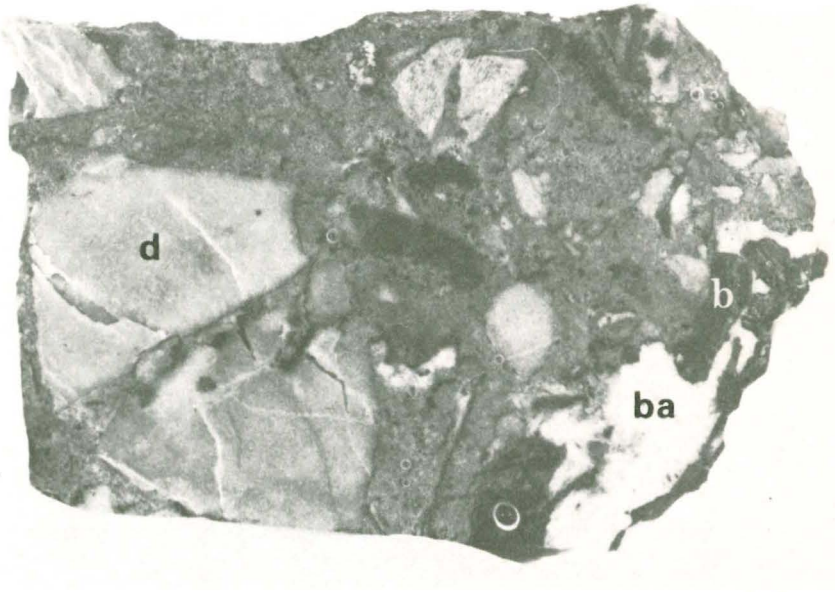


1

2



3



4

PLANCHE VI. — **Microbrèches intraformationnelles et couches d'Alby-Fontbonne.**

Ph. 1. — Microbrèche intraformationnelle, sédimentaire du quartier Alby-Fontbonne.

(Sc) Blocs de schistes de la Sanguinède
(d) Dolomie de Montdardier
(B) Sphalérite brunâtre, en partie détritique.
Le ciment est silico-sulfuré : petits quartz bipyramidés, sphalérite brune.
On y distingue également des baguettes effilées de barytine néoformée.
Couche II : galerie de Pierrefroide, avancement ouest (août 1954), section polie, × 3.

Ph. 2. — Même minerai que précédemment en lame mince.

On y reconnaît un élément allongé de schistes de la Sanguinède (Sc) et un élément de dolomie de Montdardier (d) cimentés par la minéralisation sulfurée, sphalérite (B).
De la silice sous forme de quartz bipyramidés (q, q') apparaît un peu partout dans cette minéralisation microbréchique L. N. × 25.

Ph. 3. — Minerai vacuolaire de couche II.

Il s'agit d'une dolomie grise, cristalline. Dans les géodes (G) on peut apprécier l'ordre de cristallisation suivant : dolomite, pyrite, fluorine, gypse. Toutes ces espèces sont là, automorphes. Les taches blanches sur la photo correspondent à des remplissages géodiques terminaux de kaolinite. Quartier de Pierrefroide, à proximité du Puits Pascal, face polie × 1,3.

Ph. 4. — Même échantillon que précédemment en lame mince.

Il s'agit d'une dolomie diagénétique imprégnée suivant les trabécules (t) par une minéralisation où domine la fluorine xénomorphe (fl) associée aux sulfures (pyrite et sphalérite)
d : dolomite diagénétique
G : géode, tapissée de fluorine et de sulfures
g : gypse xénomorphe
L. P. × 25.

PLATE VI. — ***Intraformational microbreccias and stratabound mineralizations in Alby-Fontbonne district.***

Ph. 1. — Intraformational, sedimentary microbreccia of the Alby-Fontbonne district.

(Sc) Schist blocks of la Sanguinède
(d) Montdardier dolomite
(B) Brownish, partly detritic sphalerite.
The cement is silico-sulphided : small bipyramid quartzes, brown sphalerite.
Tapering sticks of neoformed baryte can also be seen.
Layer II : Pierrefroide gallery, western projection (August 1954), polished section × 3.

Ph. 2. — Same ore as above in thin section.

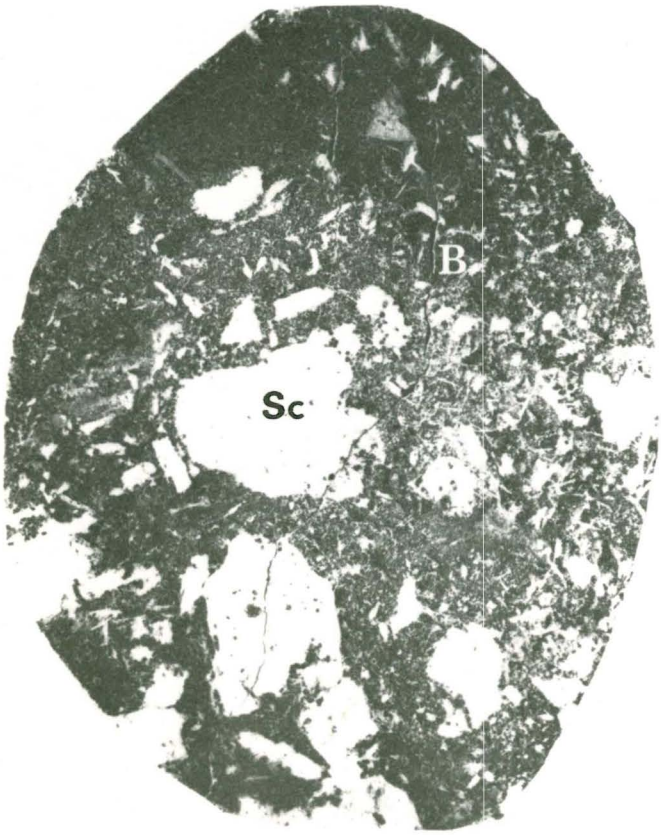
An elongated element of Sanguinède schists (Sc) can be spotted out and an element of Montdardier dolomite (d) cemented together by the sulphided sphalerite mineralization (B).
Silica in the form of bipyramid quartz (q, q') appears all over in this microbreccia mineralization.
N. L. × 25.

Ph. 3. — Vesicular ore of II bed.

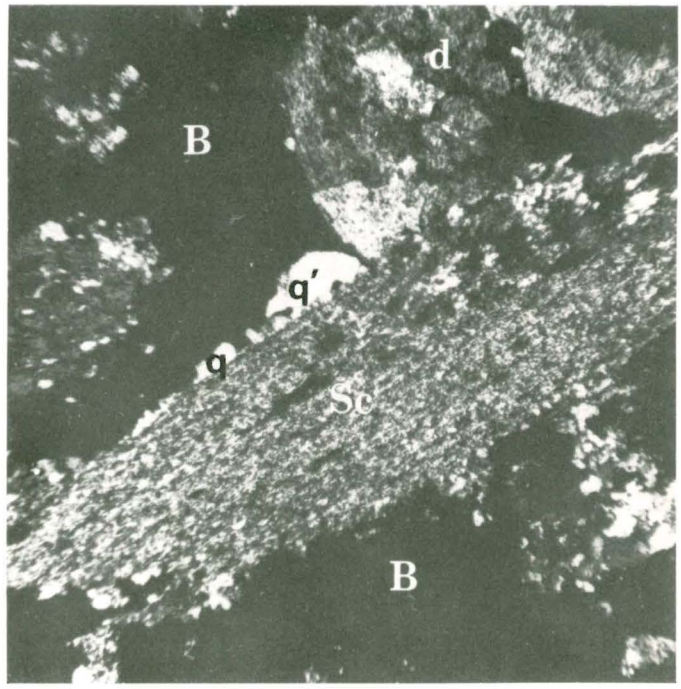
This is a grey cristalline dolomite. In the geodes (G) the following crystallization pattern can be seen : dolomite, pyrite, fluorine, gypsum. All these species are present, automorphous. The white spots on the photo correspond to terminal kaolinite geodic fillings.
Pierrefroide district, near the Puits Pascal.
Polished section × 1.3.

Ph. 4. — Same sample as above in thin section.

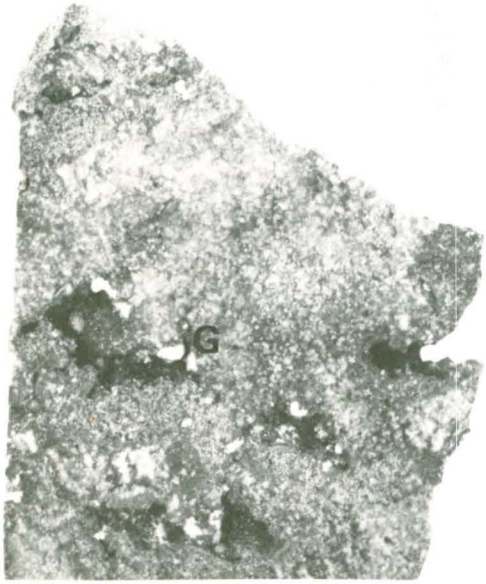
This is a diagenetic dolomite, impregnated along the trabecula (t) by a mineralization where xenomorphous fluorine dominates (fl) connected with the sulphides (pyrite and sphalerite).
d : diagenetic dolomite
G : geode, lined with fluorine and sulphides
g : xenomorphous gypsum.
P. L. × 25.



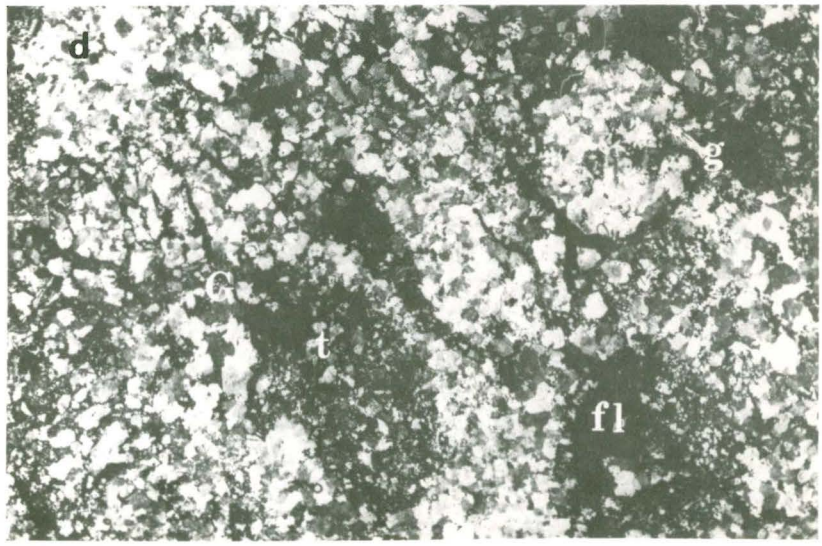
1



2



3



4

PLANCHE VII. — **Les minéralisations en couches, triasiques.**

Ph. 1. — Minerai rubané du toit de la couche I.

Les rubanements de sphalérite et de galène sont concrétionnés. La galène (g) constitue la plage centrale avec de la dolomite diagénétique.

On note qu'une fracture tardive (fr) à remplissage de sphalérite translucide, claire, jaunâtre, traverse en le décalant, le ruban supérieur de schalenblende (sch) ainsi que les rythmites litées de la dolomite du toit à caractère syngénétique (dsy). Quartier Alby-Fontbonne (fig. 13) TB 395, section polie × 4.

Ph. 2. — Éponte d'un rubanement sulfuré de couche I.

L'imprégnation sulfurée ne se développe franchement qu'au-dessus d'un débit bitumineux (ph) et argileux micro-stylolithique.

(sch) schalenblende du ruban sulfuré (gy) gypse en taches ou filonnets de recristallisation — (dsy) dolomie à grain fin, microlithée, d'éponte.

Alby-Fontbonne, TB 395, lame mince, L N. × 10.

Ph. 3. — Minerai rubané de couche I.

On distingue nettement trois zones et de haut en bas :

- un shale dolomitique non minéralisé (dsy)
- une imprégnation diffuse d'éponte
- les rubanements sulfurés de schalenblende (sch) à plage centrale dolomitique.

Galerie de ventilation de l'avancement de Pierrefroide : extrémité sud du TB 330 (fig. 13), lame mince, L. N. × 4.

Ph. 4. — Minerai rubané et contourné du toit de la couche I.

Les rubanements précédents, très calmes, sont ici plissés, contournés et passent localement à la brèche. Les taches blanches centrales sont toujours barytiques et/ou dolomitiques. Encadrés dans le gisement par des lits calmes et parallèles à la stratification générale, ces minerais témoignent d'un slump précoce, en boue non encore lithifiée. A l'évidence les sulfures se trouvaient dans le sédiment boueux à un stade très précoce de sa diagenèse.

Montderic ouest (fig. 13) TB 305, face polie, × 0,6.

PLATE VII. — ***Triassic stratabound mineralizations.***

Ph. 1. — Banded ore from the roof of bed I.

The sphalerite and galena bands are concretional.

The galena (g) makes up the central area with the diagenetic dolomite.

A late fracture (fr) filled in with translucid light coloured, yellowish sphalerite can be seen crossing the upper schalenblende band (sch) displacing it, as well as the bedded rhythmites of the roof dolomite of a syngenetic type (dsy).

Alby-Fontbonne district (fig. 13) TB 395, polished section × 4.

Ph. 2. — Sulphided banded wall of bed I.

The sulphided impregnation is only clearly developed above a bituminous (ph) and micro-stylolitic clayey discharge.

(sch) schalenblende of the sulphided band (gy) gypsum in recrystallization spots or veins — (dsy) — fine-grained, microlithic dolomite from wall.

Alby-Fontbonne, TB 395, thin section, N. L. × 10.

Ph. 3. — Banded ore of bed I.

3 zones are clearly visible from top to bottom :

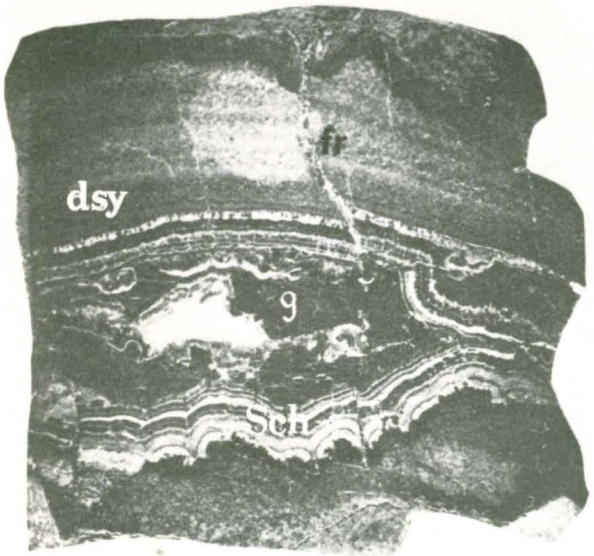
- *a non-mineralized dolomitic shale (dsy)*
- *a widespread wall impregnation*
- *the sulphided schalenblende bands (sch) with central dolomitic area.*

Ventilation gallery of Pierrefroide extension : southern end of the TB 330 (fig. 13), thin section, N. L. × 4.

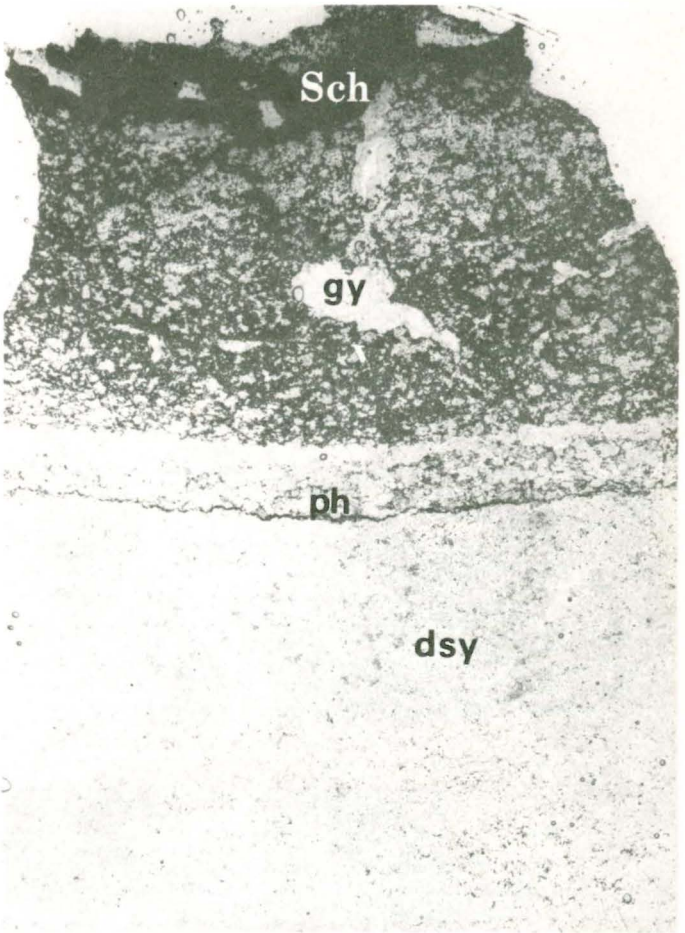
Ph. 4. — Banded contorted ore from the roof of bed I.

The above bands, very regular, are folded and contorted here and turn locally into the breccia. The central white spots are still barytic and/or dolomitic. Flanked, in the deposit by calm parallel beds with general stratification, these ores give evidence of an early slump, into not-yet lithified mud. Obviously the sulphides were present in the muddy sediment at a very early stage of its formation.

West Montderic (fig. 13) TB 305, polished section × 06.



1



2

3

4

PLANCHE VIII. — **Les remobilisations liasiques.**

Ph. 1. — (cf. fig. 14). Fissures élargies par les circulations d'eaux vadoses, elles-mêmes liées à l'émersion lotharingienne de l'île de Gorniès.

On notera les encroûtements de schalenblende, le ciment barytique terminal.
Origine : Florence, niveau 396, allée 19. Échelle : couvre-objectif, 45 mm. Photo G. Verraes.

Ph. 2. — Éxagération du phénomène précédent conduisant à une pseudo-brèche comparable en tout point aux brèches « d'effondrement-dissolution », (voir photo 1, pl. III).

Au voisinage de ces brèches, la dolomie du substratum est très généralement profondément rubéfiée.
Origine : Florence, niveau 332, allée 14, × 1. Photo G. Verraes.

Ph. 3. — Minerai pseudo-bréchique de Florence.

Vue de détail d'une minéralisation analogue à celle de la photo 2 précédente. Apparemment le bloc dolomitique régulièrement entouré d'un liseré de sulfures baigne de tous côtés dans une barytine laiteuse.

Ph. 4. — Encroûtements hétérogènes et hétéropaques.

Sur cet échantillon chaque élément dolomitique est recouvert, à sa partie supérieure, par un encroûtement pyriteux en forme de chapeau annamite, alors qu'à sa partie inférieure, l'encroûtement est systématiquement en sphalérite.
Origine : chantier Aval, niveau 295 Castel. Échelle : couvre-objectif, 45 mm. Photo G. Verraes.

PLATE VIII. — ***Liassic remobilizations.***

Ph. 1. — (cf. fig. 14). Fissures widened by the circulations of vadose waters, linked themselves, with the Lotharingian emersion of the Gorniès island.

Note the schalenblende encrustings and terminal barytic cement.
Origin : Florence, level 396, path 19. Scale : cover-lens, 45 mm. Photo G. Verraes.

Ph. 2. — Enlargement of the above phenomenon leading to a pseudo-breccia comparable in very respect to the « sinking-dissolution » breccias (see photo 1, pl. III).

In the neighbourhood of these breccias, the substratum dolomite is almost always rubefied.
Origin : Florence, level 332, path 14 × 1. Photo G. Verraes.

Ph. 3. — Pseudo-breccia ore from Florence.

Detailed shot of a mineralization similar to that of photo 2 above. Apparently the dolomitic block, regularly surrounded by a sulphide border is in the middle of a milky baryte.

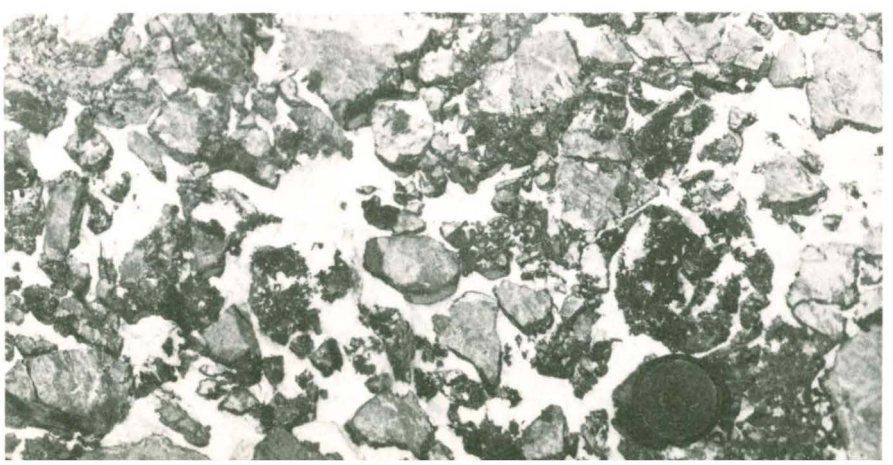
Ph. 4. — Heterogeneous, heteropaque encrustings.

On this sample, each dolomitic element is covered, in its upper part, by a pyritous crust shaped like a Chinese peasant's hat, while in its lower part, the crust is systematically of sphalerite.
Origin : Aval working, level 295 Castel. Scale : cover-lens 45 mm. Photo G. Verraes.

1

2

3



3 — Références bibliographiques

AUBAGUE M., ORGEVAL J. J. et SOULIE M., en collaboration avec BOYER F. et COMBES P. J. (1977). — Gîtes minéraux de la terminaison méridionale du Massif central et de sa bordure languedocienne. Co-Éditeur B.R.G.M.-C.E.R.G.A., *Bull. B.R.G.M. Fr.*, (2), **11**, 3, pp. 139-181.

BERNARD A. J. (1955). — Sur l'origine du minerai de zinc d'Alby-Fontbonne (30). *C.R. Acad. Sci., Fr.*, **241**, pp. 1250-1252.

BERNARD A. J. (1958). — Contribution à l'étude de la province métallogénique sous-cévenole. *Sci. de la Terre, Fr.*, 1959-1960, **VII**, n° 3-4, pp. 123-403. Thèse d'État Nancy.

BERNARD A. J. et FOGLIERINI F. (1958). — Groupe des Malines, Anjeau, Saint-Laurent-le-Minier. *In :* Contribution à l'étude de la province métallique sous-cévenole. **1**, pp. 318-370, Nancy, Fac. Sci.

BERNARD A. et FOGLIERINI F. (1959). — Mines métalliques des Cévennes. 3e séminaire Int. étu. mines métall. géol. Rev. Ind. Miner., 17 p.

BERNIER P., MACQUAR J. C., MICHAUD J. G., PALUT J. P., ZISERMAN A. et DARS R. (1970). — Contribution à la recherche de gisements métallifères cachés (district Malines-Cévennes). *Bull. B.R.G.M., Fr.*, **II**, n° 1, 97 p.

BONNE (1884). — Le gîte de la Maline. Archives de la mine des Malines.

CAILLAUX A. (1875). — Tableau général et description des mines métalliques et combustibles minéraux de la France. 1 Vol., 506 p., Baudry, Paris.

CALLAHAN W. H. (1964). — Paleophysiographic premises for prospecting for stratabound base metal deposits in carbonate rocks. In. Symposium on mining geology and base metals. Cento Vol., Ankara, pp. 191-248.

CALLAHAN W. H. (1973). — Syngenesis versus epigenesis of Mississipi Valley Appalachian type base metal mineral deposits. *Econ. Geol., U.S.A.*, **69**, pp. 123-124.

CONNAN J. et ORGEVAL J. J. (1977). — Un exemple d'application de la géochimie organique en métallogénie : la mine des Malines (Gard, France) *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine* **1**, 1, pp. 59-105.

CZYSKOWSKI S. (1884). — Les minerais de fer dans l'écorce terrestre. *Bull. Soc. ind. Minér.*, **XIII**, 2e et 3e livraisons.

DEBRENNE F., ORGEVAL J. J. et VERRAES G. (1976). — Présence d'*Archaeocyathus* dans le substratum carbonaté de la mine des Malines (Gard, France). *C.R. Som. Soc. géol. Fr.*, F6, pp. 259-260.

DRAPIER G. (1912). — Monographie des Mines des Malines. XLIe Congr. Avanc. des Sciences, Nîmes (14 p.).

DUMAS E. (1875). — Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard, Nîmes, 3 vol.

FOGLIERINI F. (1955). — Interprétation nouvelle des formations marnodolomitiques minéralisées de la région des Malines (30). *C.R. Acad. Sci., Fr.*, **241**, pp. 1214-1216.

FOGLIERINI F. (1958). — Le gisement des Malines. *Chr. Mines, Paris*, n° 260, p. 59.

FOGLIERINI F. et BERNARD A. J. (1967). — L'histoire géologique d'un gisement stratiforme plombo-zincifère : les Malines. *Econ. Geol., U.S.A.*, n° 3, pp. 294-307.

FONDEUR G., GOTTIS M., ROUIRE J. et VATAN A. (1952). — Quelques aspects de la dolomitisation du Jurassique en France. XIXe Congr. Géol. Intern., Alger, fasc. XV, section 13, pp. 479-491.

GENSSANE E. de (1776). — Histoire naturelle de la province de Languedoc, partie minéralogique et géologique. 5 vol., in-8e, Montpellier, 1776-1779.

GEZE B. (1949). — Étude géologique de la Montagne noire et des Cévennes méridionales. *Mém. Soc. géol. Fr., Paris*, n° LXII.

GOTTIS M. (1952). — Paléogéographie et tectonique du Mésozoïque anté-Aptien en Bas-Languedoc, Causses, Provence occidentale. *Rev. Inst. fr. Pétrole*, Paris, **VII**, n° 11.

GRANDJEAN M. (1927). — Rapport sur les concessions de Saint-Félix et d'Anjeau, 1 vol., Paris.

LAUNAY L. de (1897). — Contribution à l'étude des gîtes métallifères. *Ann. Mines, Fr.*, (ou 1 vol. Dunod).

MACQUAR J. C. (1968). — Contribution à l'étude géologique et métallogénique de la bordure méridionale des Cévennes. Le Trias de la région des Malines (Gard). Relations entre les minéralisations Pb-Zn, la lithologie et la structure. Thèse 3e cycle, Paris.

MICHAUD J. G. (1970). — in BERNIER et *al...* : Contribution...

MICHAUD J. G. (1976). — Démarches et étapes dans la reconnaissance du gisement de Trèves, Gard, France méridionale. *Mém. Hors Série. Soc. géol. Fr.*, n° 7, pp. 339-345.

ORGEVAL J. J. (1976). — Les remplissages karstiques minéralisés : exemples de la mine des Malines (Gard). *Mém. Hors Série Soc. géol. Fr.*, n° 7, pp. 77-85.

ORGEVAL J. J., à paraître : Contribution à l'étude des minéralisations plombo-zincifères du socle carbonaté cambrien de la mine des Malines (Gard, France). Les relations de la minéralisation avec des structures paléokarstiques et l'environnement marno-dolomitique bitumineux triasique. Thèse Montpellier.

ORGEVAL J. J. et CAPUS G. (1978). — Existence d'un horizon phosphaté uranifère et thorifère à la base des formations carbonatées cambriennes de la région du Vigan (Gard, France). *C.R. Somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 3, pp. 115-117.

PALOC H. (1961). — Hydrogéologie de la région viganaise. Thèse 3e cycle. Montpellier.

RAGUIN E. (1949). – Géologie des gîtes minéraux. 1 vol., Paris, Masson, 633 p.

PENARROYA S. M. M. – Rapports inédits du service Géologie-Recherches : notamment, F. FOGLIERINI, J. C. MACQUAR, J. G. MICHAUD, J. J. ORGEVAL, J. P. PALPACUER, M. REY, G. VERRAES.

THORAL M. et DEBRABAN M. (1935). – Les formations paléozoïques de la région du Vigan (Gard). 69e Congrès des Soc. Savantes, Montpellier, pp. 118-119.

VERRAES G. (1976). – Contribution à l'étude géologique des minéralisations plombo-zincifères du quartier Pomègues. Mines des Malines, Gard, France. 1 vol., ronéo, D.E.S. Montpellier, 69 p.

VERRAES G. (1978). – Un exemple de minéralisations associées à des karsts : le gisement de La Sanguinède (Gard). Symp. I.H.E.S. Montpellier, sept. 1978, T.I., 3 (sous presse).

VERRAES G. (1979). – Contribution à l'étude de la province métallogénique sous-cévenole. Les gîtes Pb, Zn de Montdardier, La Sanguinède et 102. District des Malines (Gard, France). Thèse Université Montpellier.

Directeur de publication : L. Delbos
Imprimerie Durand - 28600 Luisant
Tél. : (37) 21.14.87