

Quelques aspects caractéristiques d'action des microorganismes sur les sulfures

Autor(en): **Maury, R. / Perseil, E.A. / Lafitte, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **65 (1985)**

Heft 2-3

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-50221>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Quelques aspects caractéristiques d'action des microorganismes sur les sulfures

par *R. Maury*¹, *E. A. Perseil*² et *M. Lafitte*¹

Abstract

Microbiological activity in the surroundings of active vents from E.P.R. 21° North and 13° North has been pointed out. These observations allow reconsideration of ancient deposits, such as Itxassou, Pyrénées Atlantiques, France and les Malines, Gard, France. Isotopic analysis, paragenetic assemblages and S. E. M. observations may give evidence of the origin and biological evolution of these sulfides.

Keywords. microorganismes, sulfides

Résumé

L'activité des microorganismes sur les sulfures a été mise en évidence récemment au niveau des sites 21° Nord et 13° Nord de la dorsale Est-Pacifique. Les observations dans ce contexte permettent d'éclaircir des observations faites sur des sites fossiles terrestres (Itxassou, Pyrénées Atlantiques, France); Les Malines (Gard, France). La comparaison entre les analyses isotopiques, les paragenèses minérales et les observations au M. E. B. constituent un faisceau d'éléments permettant de conclure à l'origine et à l'évolution biologique de certains gisements.

INTRODUCTION

L'action des microorganismes sur l'environnement minéral a été mise en évidence très tôt, en particulier sur les sols (WINOGRADSKY, 1888). Depuis, une abondante littérature, dont H. L. EHRLICH, 1981, donne un bon aperçu, a mon-

¹ Laboratoire de Minéralogie Expérimentale et Appliquée de l'Université Pierre et Marie Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cédex 05, France.

² Laboratoire de Minéralogie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 61, rue Buffon, 75005 Paris, France.

tré que ce rôle s'étend à toute une partie de l'évolution minérale, même dans les conditions de la profondeur.

Des observations récentes en submersible habité à l'axe des dorsales océaniques actuelles ont montré l'existence de microorganismes dans les panaches de cheminées actives à sulfures (J. BAROSS et al., 1982, 1983). Ces observations permettent de penser que les microorganismes ont pu jouer dans le passé un rôle important et être à l'origine de concentrations utiles. La mise en évidence de l'action passée des microorganismes est donc un aspect important à étudier.

Nous nous attacherons à présenter ici quelques aspects de cette recherche en partant des phénomènes actuels pour interpréter les observations fossiles.

MÉTHODES D'ÉTUDE

L'identification d'un organisme et de son mode d'action relève des méthodes de la bactériologie. Les manifestations fossiles ne permettent pas l'application de ces méthodes, soit parce que l'organisme n'existe plus, soit parce que sa forme fossile ne permet de déterminer ni l'espèce, ni son mode d'action. Les méthodes que nous utiliserons sont donc des éléments de preuves qui peuvent attirer l'attention sur l'origine biologique possible d'une minéralisation.

1. Etude des associations minérales

La présence simultanée de sulfures et de sulfates peut être un indice de l'action des microorganismes. On peut ainsi expliquer la transformation de minéraux primaires comme les sulfures de zinc en minéraux secondaires: sulfates de zinc et de fer comme la goslarite, la mélantérite ou la bianchite. Les études de ce type sont encore à l'état embryonnaire et nécessitent un contrôle de la diagénèse minérale. Toutefois, la présence de bactéries dans de tels environnements a déjà été évoquée à plusieurs reprises (Abd. EL. MALEK et al., 1958; F.D.AL. SAWAF, 1977).

2. L'analyse isotopique du soufre

Dans le cas de formation des sulfures par réduction des sulfates, l'enrichissement des sulfures en isotope ^{34}S par rapport au produit de départ conduit à un δ ‰ négatif. Comme le montre M. L. JENSEN (1962) la réaction n'est pas forcément complète et le maximum observé correspond selon I. R. KAPLAN (1962) à une valeur de -46 ‰. De toute façon, on peut admettre selon ce schéma une origine biologique des sulfures dès que leur δ (^{34}S) est inférieure à -10 ‰. Les sulfures dont le soufre est d'origine magmatique ont au contraire des δ ‰ de l'ordre de 0 ± 5 ‰.

La réaction inverse d'oxydation du sulfure en sulfate est également possible (A. L. KEMP et al., 1967) et correspond à un enrichissement en isotope léger ^{32}S . Les valeurs de δ obtenues varient alors de -18‰ à 0‰ selon les processus (I. R. KAPLAN, 1962).

Les données isotopiques et la présence éventuelle de l'association sulfatesulfures permettent déjà d'envisager la présence de microorganismes dans un objet géologique donné.

3. L'observation au M. E. B.

Une autre méthode consiste à localiser et à préciser le mode d'action des microorganismes sur les phases minérales présentes. Dans ce but, les techniques du microscope électronique à balayage, abondamment utilisées en biologie et en minéralogie se prêtent particulièrement bien à ces observations dont divers auteurs (M. AMOURI et al., 1978; E. A. PERSEIL et al., 1981; J. BOULÈGUE et al., 1983) ont déjà fait état. Les images obtenues donnent deux types de renseignements. L'un porte sur la morphologie des microorganismes qui, nous l'avons vu, n'est souvent pas caractéristique de telle ou telle espèce (D. R. LOWE, 1980, M. R. WALTER et al., 1980), cette observation n'est évidemment pas possible pour des microorganismes qui ont pu être détruits par des circulations de fluides tardives; l'autre porte sur les traces d'altération des faces minérales des sulfures primaires. L'observation de traces fossiles est intéressante, car les figures d'attaque observées sont caractéristiques de l'action de microorganismes et excluent tout processus purement chimique comme nous le verrons plus loin pour le site d'Ixassou.

ÉCOLOGIE DES BACTÉRIES DU CYCLE DU SOUFRE

Les gisements imposent des conditions physico-chimiques particulières qui peuvent jouer un rôle important à un moment ou à un autre sur le développement des microorganismes. Nous allons analyser l'un après l'autre les deux facteurs qui semblent prédominants.

1. La température

On admettait jusqu'à une date récente que les microorganismes pouvaient se développer ou résister à des températures allant jusqu'à 75°C . Cette température était compatible avec celles que nous connaissons pour la dénaturation des chaînes protéiques de la matière vivante. Des études plus récentes portant sur les bactéries des sources chaudes ont montré que des températures voisines de

90 °C étaient compatibles avec la vie (T.D. BROCK et al., 1971, 1976, 1978). Les observations actuelles sur les croissances de populations bactériennes de dorsales océaniques permettent d'envisager des températures encore bien supérieures (J. BAROSS et al., 1983). On voit qu'au moins pour les bactéries thermophiles, des phases métamorphiques dans des conditions voisines de celles des schistes verts ne doivent pas gêner la croissance de certaines souches bactériennes.

2. Les conditions de Eh-pH

Les microorganismes sont de façon générale tolérants aux variations de condition de Eh et de pH (H. L. EHRLICH, 1981) et les domaines de stabilité des sulfates et des sulfures cités par R. H. GARRELS et C. L. CHRIST, 1967, sont compatibles avec ceux de la croissance bactérienne (figure 1).

Certains de ces organismes sont aérobies ou anaérobies, bien que ces deux types de métabolisme ne soient pas toujours exclusifs. Un métabolisme anaérobie d'oxydation des minéraux sulfurés permet de passer de S^{-2} à S^{+6} (H. L. EHRLICH, 1981) d'une manière lente et progressive, alors que le mécanisme aérobie est direct et rapide. La réactivité et la solubilité des stades d'oxydation intermédiaires ne permettent pas de les mettre en évidence dans les milieux naturels de façon

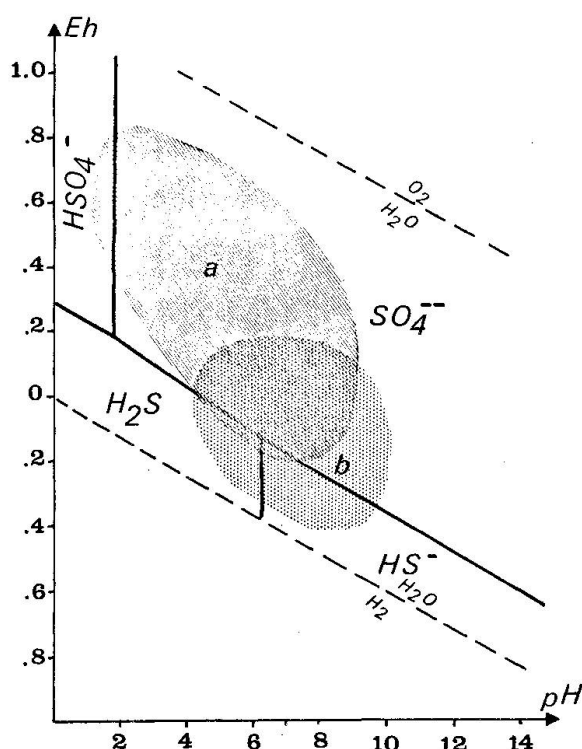


Fig. 1 Domaines d'existence dans le diagramme Eh;pH des espèces D^{-} et SO_4^{-2} à 25 °C et 1 Bar (d'après R. M. GARRELS et al.). On a représenté en (a) le domaine limite d'existence des thermobactéries et en (b) celui des bactéries responsables de la réduction des sulfates (d'après B. BECKING et al., 1960 et repris de H. L. EHRLICH, 1981).

simple. Une distinction basée sur cette caractéristique est donc à peu près à exclure dans les gîtes minéraux.

Enfin, il faut également tenir compte des ions inhibiteurs comme As ou des ions lourds qui pourraient, au moins localement, être mis en solution et ainsi rendre un gisement impropre à toute activité biologique.

QUELQUES MANIFESTATIONS D'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE LE LONG DES DORSALES

Les échantillons étudiés proviennent de cheminées prélevées en submersible habité à l'axe de la dorsale Est-Pacifique 13° Nord, au cours de deux missions océanographiques *Clipperton* et *Geocyatherm*.

Ces échantillons n'ayant pas été prélevés dans le but d'une étude bactériologique, le problème de leur contamination durant leur remontée sur le navire reste posé. Il faut cependant remarquer que des échantillons terrestres manipulés dans les mêmes conditions ne présentent aucune trace d'attaque. De plus, les observations effectuées au M.E.B. sont toujours réalisées sur des cassures fraîches de roches.

1. Attaque de la pyrite

Deux échantillons présentent des faces caractéristiques.

Le premier prélevé au cours de la campagne *Geocyatherm* montre (figure 2 a.b.c.) clairement à la fois des formes bactériennes nettes et des figures d'attaque sur les faces (100) de la pyrite. Ces figures d'attaque biologique se différencient de l'attaque chimique (dissolution) ou de l'attaque mécanique (fracture) par l'absence de corrélation entre leurs formes et la symétrie du cristal. Il ne faut cependant pas exclure que l'attaque biologique qui n'est qu'une forme d'attaque chimique particulière, puisse obéir dans certains cas aux règles de symétrie des figures de corrosion.

Le second prélevé lors de la campagne *Clipperton*, montre (figure 3 a.b.c.) des figures d'attaque sur les faces (111) de la pyrite tout à fait comparables à celles de l'échantillon précédent et les bactéries observées semblent correspondre à la même morphologie que dans le cas précédent. Cet échantillon provient d'un dragage sur la dorsale Est-Pacifique par 2600 mètres de fond. Des précautions particulières ont été prises lors du prélèvement de cet échantillon pour empêcher toute contamination. Une tentative d'identification du carbone à la microsonde ionique a fourni des résultats permettant de supposer la présence de microorganismes (J. BOULÈGUE et al., 1983).

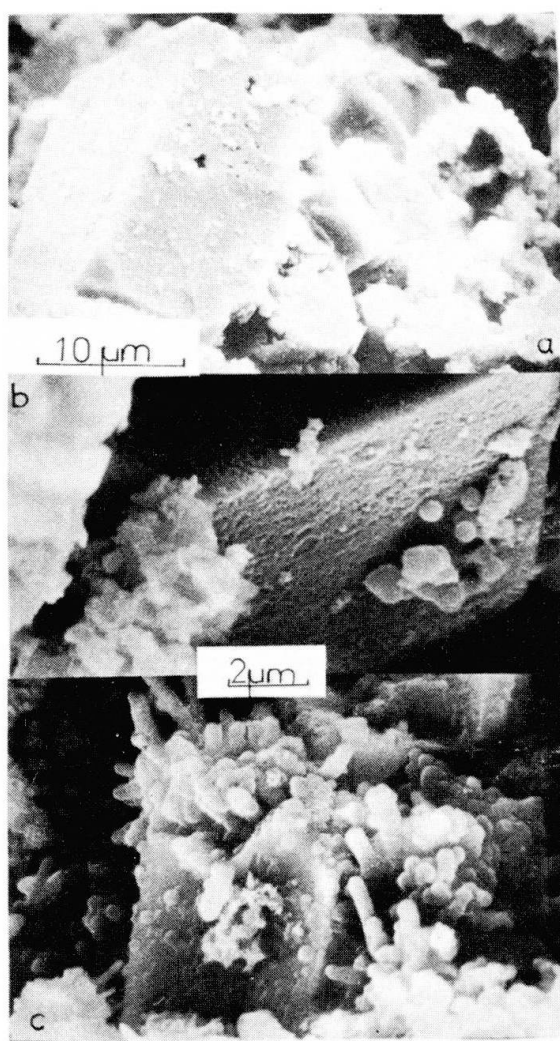


Fig. 2 Faciès perforé de la pyrite (C. 82.27.03).
 a) Cristaux de pyrite présentant des traces de dissolution.
 b) et c) Les traces de dissolution semblent être en rapport direct avec la présence d'une formation de globules de type bactérien.

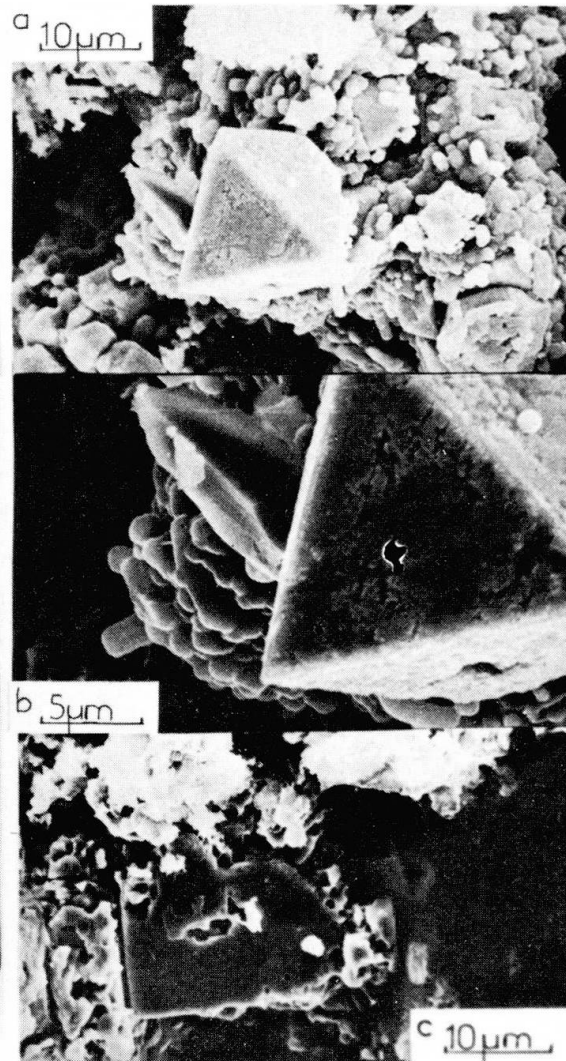


Fig. 3 Faciès perforé de la pyrite (DRO4-S1).
 a) et b) Les traces de dissolution sur les faces (111) des cristaux sont en rapport direct avec la présence de globule de type bactérien.
 c) Structure résiduelle de pyrite perforé.

2. Attaque de la wurtzite

L'échantillon étudié, qui provient également de la mission *Geocyatherm*, fait apparaître des formes bactériennes différentes de celles observées sur la pyrite. L'organisme y est plus fin, plus allongé (figure 4 a.d.c.). La finesse des figures d'attaque sur la wurtzite peut laisser penser que cette attaque est plus juvénile ou plus difficile que pour la pyrite, l'histoire des différents échantillons décrits dans ce paragraphe étant très comparable.

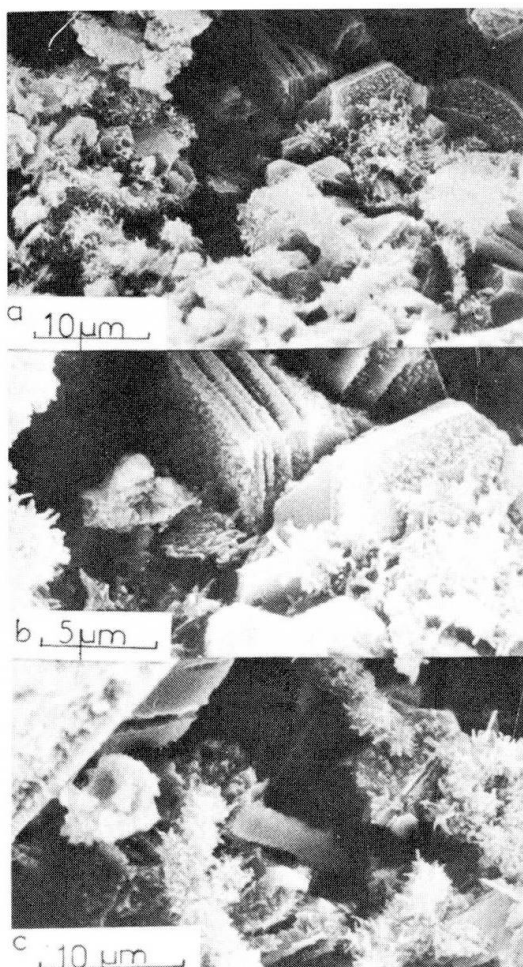
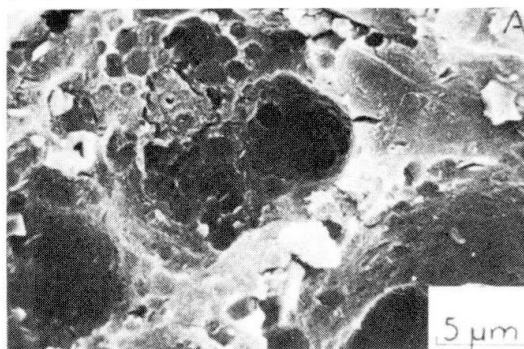


Fig. 4 Faciès perforé de la wurtzite (Cy 82.27.03). Dans des concrétions de sulfures entre des lisérés de sulfates.

- a) Empilements de lamelles de wurtzite envahies par des formations de type bactérien. Les effets de dissolution sont visibles surtout entre les lamelles.
- b) Effets de dissolution entre lamelles de wurtzite.
- c) Dissolution plus avancée des empilements de wurtzite.

Fig. 5 «Galleries» de dissolution à l'intérieur d'une couche de birnessite désordonnée dans des nodules polymétalliques du pacifique.



3. Attaque des nodules polymétalliques

Une trace d'attaque «en galerie» a pu être observée sur un nodule polymétallique du pacifique. Ce processus déjà signalé sur les nodules du bassin indien central (E. A. PERSEIL et al., 1981) est à rapprocher des observations que nous signalons dans la suite.

EXEMPLES DE MANIFESTATIONS FOSSILES

1. Le gisement de pyrite d'Itxassou (Pyrénées Atlantiques, France)

La pyrite d'Itxassou se présente en filon, en remplissage de faille et en amas dans des quartzites dolomitiques qui doivent leur origine à des sédiments dévoniens (P. LAGNY 1963, G. GAPILLOU 1981).

1.1. La composition isotopique de la pyrite

Les analyses isotopiques nous ont permis d'évaluer le rapport $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ en fonction de l'étalon international de troïlite de la météorite de Canon Diablo. Ce rapport est exprimé suivant une relation classique donnant $\zeta\%$.

La pyrite d'Itxassou présente un $\zeta\%$ de $-16,62$ qui la place nettement parmi les pyrites sédimentaires (J. L. DUBUT, 1981). Cette observation est en bon accord avec l'environnement géologique. On peut donc penser que sa formation est contemporaine des dépôts sédimentaires encaissants. Si l'on suit les travaux de M. L. JENSEN (1962) et D. T. RICKARD (1973), ce ζ est le témoignage d'une transformation par réduction bactérienne des sulfates présents dans les sédiments en milieu marin.

1.2. Les figures d'attaque de la pyrite

Ce minéral présente (figures 6 a. b. c. et 7 a. b. c.) des figures d'attaque «en galerie» caractéristiques. Ces galeries présentent une forme circulaire qui rappelle celle de la figure 5. Sur ces échantillons, on observe de plus la formation de lamelles de sulfate de fer (probablement de la bianchite) à l'extrémité des galeries. Cette formation est compatible avec une activité bactérienne d'oxydation directe des sulfures en sulfates suivant un mécanisme direct aérobie. (H. L. EHR- LICH, 1981). Ces galeries se différencient nettement «d'attaques» par fracture de la figure 7 d qui présente des aspects linéaires et géométriques liés à la symétrie. On peut encore observer (figure 7 b et c) des formes plus ou moins arrondies que l'on pourrait attribuer à des bactéries fossiles ou en spores, mais sans qu'il soit possible d'être tout à fait affirmatif.

1.3. Conclusion

Si on rassemble les observations concernant l'analyse isotopique et les images au M.E.B., on se trouve devant un phénomène de double action, d'abord la formation de sulfures dans une zone réductrice immergée à partir de sulfates sédimentaires, le processus rapide ayant épuisé le stock de sulfates du sédiment. Ensuite, une attaque limitée des pyrites dans la roche envisagée avec la formation locale de sulfates. Il est difficile de dater cette dernière, mais rien n'indique qu'elle soit terminée.

2. Le gisement de sulfures de zinc des Malines

Le gisement des Malines a fait l'objet de plusieurs descriptions métallogéniques (F. FOGLIERINI et A. BERNARD, 1967; G. VERRAES, 1983).

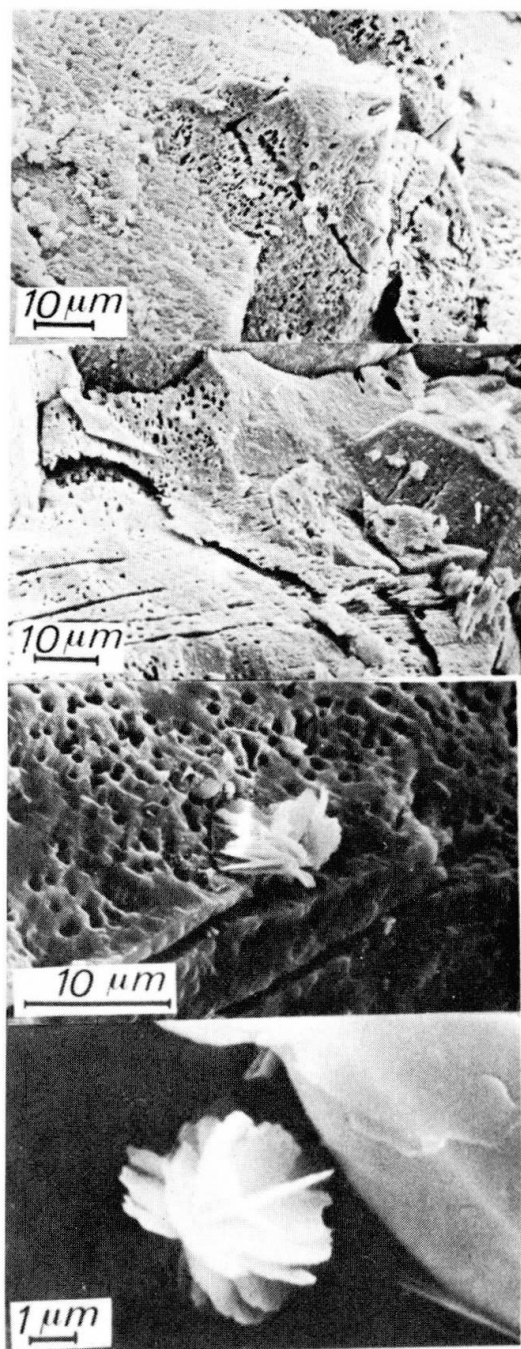


Fig. 6 Attaque des pyrites du site d'Itxassou.
 a) et b) Deux aspects de l'attaque en «galeries» que l'on peut rapprocher de celle de la figure 5.
 c) et d) Formation des cristaux de sulfates mixtes de Zn et de Fe à l'extrémité des galeries.

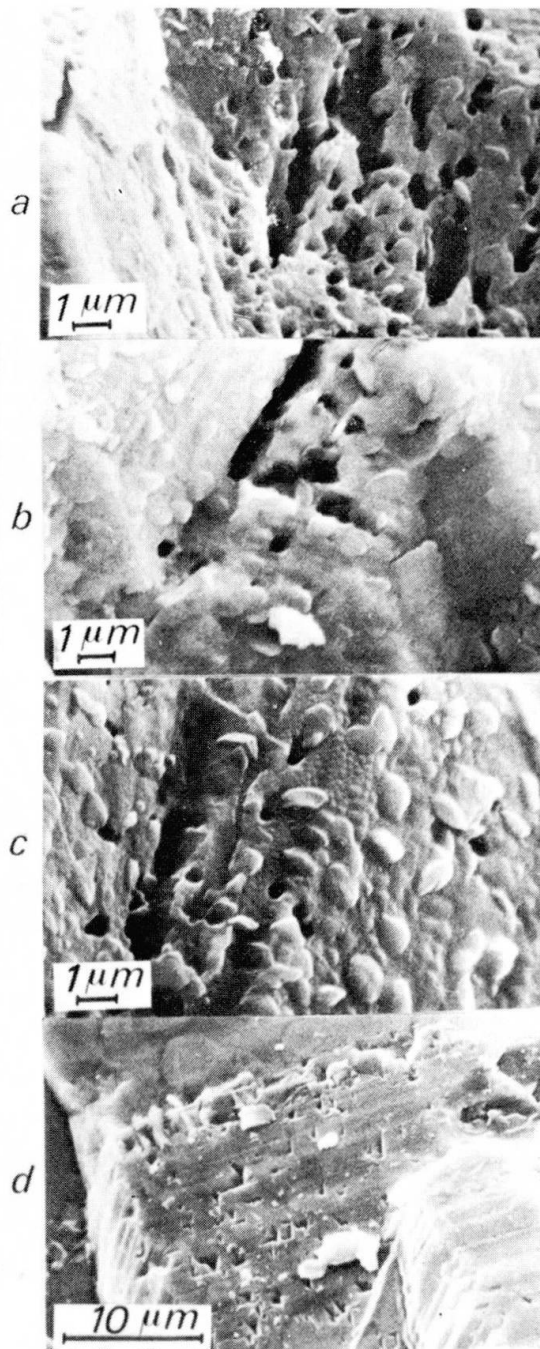


Fig. 7 Attaque des pyrites d'Itxassou.
 a) b) et c) Galeries accompagnées de formes difficiles à interpréter rigoureusement.
 d) Cassure ou dissolution classiques liées à la symétrie du cristal pour lesquelles un processus biologique doit être à exclure.

La minéralisation, essentiellement constituée de sulfures de zinc, se présente en remplissage de paléokarsts triasiques.

2.1. La présence de sulfates

Plusieurs espèces de sulfates se rencontrent dans le gisement:

- La barytine, essentiellement associée aux minéralisations tardives. L'analyse isotopique du soufre montre des valeurs très positives de comprises entre +14,3 et +42,0 (A. CHAREF, 1983).
- La bianchite, que nous avons rencontrée dans le quartier de la vieille Mine, se rencontre sous la forme de cristaux pluricentimétriques. La détermination de ce sulfate a été faite par diffraction des R.X. Très fréquente dans l'ensemble de ce quartier, elle est tardive et liée à une destabilisation des phases sulfurées, dans une zone fracturée, donc perméable à l'eau et à l'oxydation.

2.2. Composition isotopique des sulfures de zinc

Cette étude a été entreprise par A. CHAREF (1983).

Les δ observés selon les types de minéralisations, sont compris entre -10,2‰ et -24,68‰.

Ces valeurs montrent le caractère indéniable d'une activité bactérienne fossile qui a permis la formation de sulfures à partir des sulfates de la mer triasique. Nous remarquerons de plus l'extrême variabilité des valeurs que l'on peut expliquer par le caractère polyphasé du dépôt des minéralisations. Nous savons par ailleurs que l'activité bactérienne n'est pas toujours uniforme et se traduit donc par des enrichissements différents en ^{34}S par rapport au ^{32}S . Rappelons enfin que la présence de paléobactéries dans de tels environnements a été mise en évidence dans plusieurs gisements aux caractéristiques voisines (M. AMOURI et al., 1978).

CONCLUSIONS

Les observations que nous présentons ici viennent confirmer celles d'autres auteurs. Elles montrent que l'activité de microorganismes peut être mise en évidence par des méthodes classiques de la géochimie et de la minéralogie, l'analyse isotopique, le M.E.B. et les associations minérales. Elles montrent également la grande diversité des microorganismes qui présentent une activité sélective.

Il est bien entendu exclu de pouvoir en tirer des enseignements complets de la nature du microorganisme responsable de cette attaque et du mode de réac-

tion. Il faut y voir uniquement soit un test de l'activité biologique parmi d'autres soit un point de départ vers d'autres méthodes plus fines et plus complètes.

Elles témoignent néanmoins de l'importance indiscutable des microorganismes dans la formation de concentrations de minéralisations utiles.

Bibliographie

- AMOURI, M. et al. (1978): Paléo-bactéries et Minéralisations plombo Zincifères du Bled Zelfane (Tunisie Centrale). *Minéral. Deposita*, 13, pp. 183-189.
- BAROSS, J.A. et al. (1982): Is the CH₄, H₂ and CO venting from submarine hydrothermal systems produced by thermophilic bacteria? *Nature*, 298, pp. 366-368.
- BAROSS, J.A. et DEMING, J.W. (1983): Growth of «black smoker» bacteria at temperatures of at least 250 °C. *Nature*, 303, pp. 423-426.
- BOULÈGUE, J. et al. (1983): Bacterial oxydation of pyrite on East pacific rise hydrothermal deposit. (Com. personnelle).
- BROCK, T.D. et al. (1971): Microbial life at 90 °C: the sulfur bacteria of boulder spring. *J. Bacteriol.*, 107, pp. 303-314.
- BROCK, T.D. et al. (1976): Biogeochemistry and bacteriology of ferrous iron oxidation in geothermal habitats. *Geochim. Cosmochim. acta*, 40, pp. 493-500.
- BROCK, T.D. (1978): *Thermophilic Microorganism and life at high temperatures*. Springer Verlag, Berlin.
- CHAREF, A. (1983): Les minéralisations cambriennes et karstiques Pb-Zn du district des Malines (Gard, France). *Géochimie isotopique, Pétrographie et phases fluides*. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Nancy, France.
- DUBUT, J.L. (1981): Etude analytique statistique des éléments majeurs dans les pyrites naturelles. Thèse de 3^e cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- EHRlich, H.L. (1981): *Geomicrobiology*, DEKKER, M. Inc., New York.
- FOGLIERINI, F. et BERNARD, B. (1967): L'histoire géologique d'un gisement stratiforme plomb-zincifère: Les Malines. *Economic Geol.*, 3 pp. 294-307.
- GAPILLOU, G. (1981): Vers une approche métallogénique d'une région presque oubliée: Les minéralisations à: Cu-Ag-Pb-Zn et les sidérites du paléozoïque et du Trias du pays Basque Français entre Aïnhoa et Banca. Thèse de 3^e cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- CARRELS, R.M. et CHRIST, C.L. (1967): *Equilibre des minéraux et de leurs phases acqueuses*. Gauthiers-Villars, Paris.
- JENSEN, M.L. (1962): *Biogenic Sulfur and Sulfide Deposits in biochemistry of sulfur isotopes* Proceeding of national Science Fondation. Yale University.
- KAPLAN, I.R. (1962): The microbiological fractionation of sulfur isotopes, in *Biochemistry of sulfur Isotopes*. Proceedings of: National Science Fondation, Yale University.
- KEMP, A.L.W. et THODE, M.G. (1968): The mechanism of the bacterial reduction of sulfate and of sulphite from isotope fractionation studies. *Geoch. et Cosmoch. acta* 32, pp. 71-91.
- LAGNY, P. (1963): Etude géologique et métallogénique de la bordure méridionale du massif du Labourd aux environs d'Ixassou. Thèse de 3^e cycle, Faculté des Sciences, Université de Paris.
- LOWE, D.R. (1980): Stromatolites 3400 Myr old from the Archean of Western Australia *Nature*, 284, pp. 441-443.
- ABD. EL. MALEK, Y. et RIZK, G. (1958): Counting of sulphate reducing bacteria in mixed bacterial population. *Nature*, 182, pp. 285.
- PERSEIL, E.A. et JEHANNO, C. (1981): Sur les caractères minéralogiques et géochimiques des nodules polymétalliques du Bassin Indien Central. *Mineral. Deposita*, 16, pp. 391-407.

- RICKARD, D. T. (1973): Limiting conditions for synsedimentary sulfide ore formation. *Econ. Geol.*, 68, pp. 605-617.
- SAWAF, F. D. AL. (1977): Sulfate reduction and sulfur deposition in the lowers Fars Formation, Northern Iraq. *Economic Geol.*, 72, pp. 608-618.
- VERRAES, G. (1983): Etude monographique du district minier des Malines et de ses environs (Province sous-Cévenole), France. Thèse de doctorat d'Etat, Montpellier (France).
- WALTER, M. R. et al., Stromatolites 3400-3500 Myr old from the North pole area, Western Australia, *Nature* 284, pp. 443-445.

Manuscrit reçu 3 décembre 1983.