

INCLUSIONS FLUIDES DANS LA DOLOMITE
DU GISEMENT STRATIFORME DE KAMOTO
(KATANGA OCCIDENTAL) (*)

par J. PIRMOLIN (**)

(4 figures dans le texte)

ABSTRACT

In the dolostones and shales of the « Mines Serie » at Kamoto, two strata-bound orebodies are found. Between them, there is a thick bed of unmineralized cherty dolostone, with locally large dolomite crystals. In these crystals, fluid inclusions have been observed which contain a bubble and three daughter crystals.

RÉSUMÉ

Dans les dolomies et shales de la « Série des Mines » à Kamoto, on trouve deux corps minéralisés liés aux strates. Ils sont séparés par une épaisse couche stérile de dolomie silicieuse à gros cristaux de dolomite. Dans ces cristaux, on observe des inclusions fluides qui contiennent une bulle et trois « daughter-crystals ».

1. GÉOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

Au Katanga, il existe des couches sédimentaires qui contiennent de grandes quantités de cuivre et de cobalt sous forme de sulfures. L'abondance et la distribution des métaux y sont en relation étroite avec la stratigraphie. Ces couches sédimentaires appartiennent à une unité lithostratigraphique que l'on appelle la *Série des Mines* et dont l'âge est Précambrien selon Cahen (1954).

La *Série des Mines* est située à la base du *Groupe du Katanga*, succession puissante de couches sédimentaires qui repose en discordance sur un socle et est surmonté par un manteau de sédiments plus jeunes.

Selon Demesmaecker, François et Oosterbosch (1964) le socle est constitué par un ensemble sédimentaire plissé et métamorphisé, envahi par des granites et coupé par des dykes.

Les sédiments du *Groupe du Katanga* présentent dans leur ensemble des caractères d'eau peu profonde. Ce sont des grès parfois grossiers, à stratification croisée, avec des dolomies et des shales.

Les assises les plus anciennes du *Groupe* sont des grès dolomitiques à hématite; ces grès sont à grains parfois grossiers et contiennent localement des lits poudingui-formes.

La *Série des Mines* comprend une succession caractéristique de couches et

(*) Communication présentée durant la séance du 3 février 1970. Manuscrit déposé le 12 mai 1970.

(**) Mission des Nations Unies à Ouagadougou, Haute Volta.

constitue une séquence : grès chloriteux — dolomies en partie algaires — schistes — dolomies — grès chloriteux. Au sein de cet ensemble peuvent apparaître des cycles mineurs, soulignés par la recurrence des barres de grès. Dans les dolomies et les shales, se trouvent les deux corps minéralisés. Ceux-ci sont séparés par un chert dolomitique stérile que l'on appelle communément les « R.S.C. ». Cet ensemble minéralisé est surmonté de roches détritiques à grains fins contenant de la pyrite. Vient ensuite le *Système du Kundelungu* constitué de shales et de shales gréseux plus ou moins carbonatés.

Les plissements et l'orogénèse qui ont fait pénétrer le Katanga dans le domaine continental sont d'âge *Kundelungu*. Des mouvements précurseurs de peu d'ampleur se signalent localement par des coulées basiques, des lacunes stratigraphiques de faible discordance ou des poudingues contenant des éléments arrachés aux terrains plus anciens.

2. ÉTUDES PÉTROGRAPHIQUES

Les « roches siliceuses cellulaires » ou « R.S.C. » sont constituées d'une pâte blanche aphanitique dans laquelle sont irrégulièrement répartis de gros cristaux de dolomite. Ces cristaux peuvent atteindre des dimensions de plusieurs centimètres et sont partiellement idiomorphes; en bordure, le minéral perd sa couleur foncée et devient transparent. Des fractures, dont certaines sont minéralisées, traversent la roche en tous sens.

Les tests à l'Alizarine rouge (Friedman, 1959) ont permis d'y mettre la calcite en évidence; elle se présente en petites plages ou en veinules noyées dans la masse.

L'assemblage quartz-dolomite peut se présenter sous différentes formes :

- grandes plages de dolomite bien cristallisée avec inclusions de quartz crypto-cristallin ou inclusions de quartz soit en monocristal, soit en agrégat polycristallin,
- assemblages de cristaux hypidiomorphes de quartz et cristaux de dolomite de même grandeur (50 à 100 microns). Le quartz représente alors 60 à 70 % de l'ensemble,
- assemblages microcristallins de quartz et de dolomite, l'ensemble faisant penser à une désagrégation de la dolomite par injection de quartz.

L'assemblage quartz-dolomite-calcite se présente dans des textures microgrenues comprenant localement des cristaux de quartz et de dolomite idiomorphes. Les fractures et leur remplissage sont intéressants : en effet, dans le quartz, on rencontre des fractures remplies de quartz et de dolomite ou de dolomite seule; parfois avec de la calcite. Dans la dolomite, on observe des fractures remplies de quartz et de dolomite, ou de quartz seul.

Tous ces éléments semblent indiquer un ordre de cristallisation à la fois simple et complexe; complexe en ce sens que la dolomite paraît soit antérieure, soit postérieure au quartz, alors que la calcite paraît toujours postérieure aux deux autres minéraux.

Il semble donc vraisemblable d'admettre une cristallisation du type « cristallisation fractionnée » dolomite, quartz, calcite, avec possibilité de variation dans les conditions de précipitation et retour à un stade antérieur.

Outre ces différents minéraux, on observe également des plages de calcédoine.

3. DESCRIPTION DES CAVITÉS INTRACRISTALLINES

L'étude des inclusions fluides a été faite en utilisant un microscope à lumière transmise. Elle a porté sur une centaine de cavités réparties dans des échantillons de dolomite orientés de différentes manières. Certaines sections provenaient d'un cristal idiomorphe présentant une zone d'accroissement, d'autres étaient orientés parallèlement à deux plans de clivages, d'autres enfin avaient été prises d'une manière quelconque dans la dolomite.

La grandeur des inclusions est très variable et leur section est généralement rectangulaire ou pentagonale. Il est cependant possible de distinguer assez nettement trois grandes familles de cavités en se basant sur la position relative des inclusions, sur leur forme et sur leur composition :

- des inclusions à deux phases (une liquide et une gazeuse), de dimensions généralement réduites, et réparties d'une manière quelconque dans la masse.
- des inclusions minéralisées (une phase liquide, une phase gazeuse, une ou plusieurs phases solides) de dimensions généralement grandes, et réparties d'une manière quelconque dans le cristal.
- des inclusions minéralisées allongées suivant une direction de clivage et parfois alignées suivant cette direction ou une direction perpendiculaire.

Les cristaux de quartz renferment également des inclusions en tout point semblables à celles de la dolomite, tant du point de vue forme que du point de vue cristallisation interne. Il semble donc que le quartz ait cristallisé dans les mêmes conditions que la dolomite. Cependant il n'a pas été possible d'établir les caractéristiques de ces inclusions étant donné leurs dimensions réduites.

Quelle que soit la cristallisation interne, le volume des inclusions varie de 1500 à 25.000 microns cubes avec une concentration plus importante entre 1500 et 10.000 microns cubes. On peut réunir ces valeurs en différentes classes comme pour les analyses granulométriques, on obtient alors l'histogramme de distribution suivant (fig 1).

Ce diagramme montre très clairement que la moitié des inclusions étudiées ont des dimensions moyennes comprises entre 17 et 24 microns, soit des volumes moyens compris entre 5000 et 14.000 microns cubes. Il suggère également, par la distribution unimodale, que tous les cristaux étudiés appartiennent à la même génération.

Le remplissage des cavités est constitué d'une phase liquide, d'une phase gazeuse et, en général, d'une ou plusieurs phases solides. Ces phases solides appartiennent à trois espèces, dont deux donnent naissance à des cristaux presque sphériques et la troisième à des cristaux tabulaires. La distinction a été faite en se servant de la forme et de l'indice de réfraction de ces cristaux par rapport au liquide. En effet l'indice de certains cristaux sphéroïdes est sensiblement plus grand que celui du liquide, l'indice des cristaux parallélépipédique est un peu plus grand que celui du liquide. Les résultats obtenus par la comparaison des indices sont cependant sujet à caution étant donné la forte biréfringence de la dolomite.

Si l'on compare le volume de la bulle gazeuse et le volume de l'inclusion, on s'aperçoit qu'il n'y a pas de corrélation entre le nombre de cristaux inclus et la quantité de gaz : la phase gazeuse est tout simplement proportionnelle au volume de la cavité, elle occupe en moyenne 2 % du volume total. De même, si l'on compare le volume de la phase cristalline à celui de l'inclusion, on ne trouve aucune corrélation avec le nombre de cristaux inclus. Par contre, le nuage de

points est plus diffus; il est donc moins aisé d'établir une relation entre le volume de la phase cristalline et celui de l'inclusion. On peut néanmoins considérer que la phase cristalline occupe en moyenne 5 % du volume de la cavité.

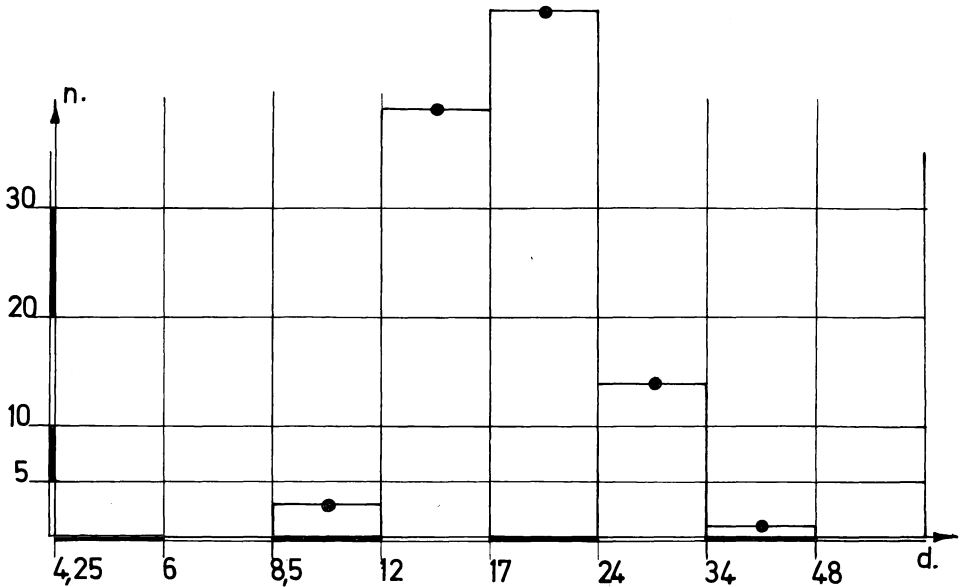


Fig. 1. — Histogramme.

d est le diamètre moyen de l'inclusion c'est-à-dire la racine cubique du volume estimé. n est le nombre d'inclusions observées.

Enfin, si l'on compare le nombre de cristaux inclus et la fréquence de telles inclusions, on voit que 50 % des inclusions possèdent un cristal de chaque forme. Outre ce cristal type, on observe des inclusions avec cristallisation complexe : plusieurs cristaux sphéroïdes et éventuellement un cristal parallélépipédique.

Remarque.

Si l'on considère que la phase solide n'est constituée que de NaCl, on peut facilement calculer le pourcentage total de sel contenu dans les inclusions. En effet, en admettant que la phase liquide saturée occupe 95 % du volume et que la phase solide occupe les 5 % restants, la quantité équivalente de NaCl est de 40 % en poids. Ceci correspond à une salinité 11 fois plus importante que celle de l'eau de mer (Rankama et Sahama, 1949.)

4. COMPORTEMENT DES INCLUSIONS FLUIDES A HAUTE TEMPÉRATURE

Les cristaux inclus se dissolvent au chauffage. La température à laquelle ils disparaissent doit être considérée comme égale ou inférieure à la température régnant lors de la formation de l'inclusion.

On appelle température de remplissage celle où prend place l'homogénéisation des phases gazeuses et liquides. C'est à nouveau une limite inférieure de la tempé-

rature à laquelle s'est formée l'inclusion, à condition que le liquide ne se soit pas alors trouvé en ébullition. L'augmentation de pression induite par le chauffage dans les inclusions fluides provoque la décrépitation du minéral.

Les résultats obtenus lors du chauffage d'inclusions types sont regroupés dans tableau ci-après

	Échantillons											
	1	2	3	4	5	6	7 ++	8	9	10	11	12
Température de remplissage	+	+	150	145	+	+	+	145	+	140	+	135
Dissolution p_1	55	—	55	—	—	—	—	60	—	—	—	60
p_2	120	127	125	125	135	133	—	130	132	127	130	120
p_3	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145
s_1	240	235	240	235	240	220	230	220	220	240	230	200
s_2	—	—	—	125	135	—	—	—	—	—	—	—
Décrépitation	225	170	205	210	190	190	130	190	200	170	205	180

++ cristal plus petit.

+ légère ouverture des clivages vers 130° C.

p cristaux de forme parallélépipédique.

s cristaux de forme sphéroïde.

Si ce tableau ne rend compte que des mesures effectuées sur des inclusions contenant au moins deux cristaux inclus, les mesures effectuées sur des inclusions à trois phases nous donnent des résultats similaires :

— température d'homogénéisation comprise entre 140 et 150° C,

— température de dissolution de la phase solide comprise entre 225 et 240° C.

Il n'a pas été possible d'effectuer des mesures précises sur les inclusions à deux phases. Les dimensions réduites de ces inclusions empêchent d'observer exactement l'homogénéisation. Tout ce que l'on peut dire, c'est que la phase gazeuse est toujours présente à 70° C et qu'à cette température son volume a diminué de 75 %.

L'expérience 12 a été menée d'une manière différente; on a effectué trois chauffages très lents, de la température ambiante jusque 100, 150 et 200° C, avec chaque fois un refroidissement également lent.

1^e chauffage : disparition puis réapparition du cristal p_1 à 60° C,

2^e chauffage : dissolution des cristaux p_1 et p_2 , respectivement à 60 et 121° C et homogénéisation à 135° C. Lors du refroidissement est apparu un cristal de néoformation p au détriment des cristaux p_1 et p_2 ,

3^e chauffage : homogénéisation à 135° C et dissolution du cristal p à 145° C, puis du cristal s_1 à 200° C.

Les résultats de ces essais tendent à montrer :

1° qu'il existe un cristal pouvant se retrouver soit sous une forme sphéroïde, soit sous une forme parallélépipédique (voir expériences 4, 5, 7 et 9). Cette conclusion n'est pas en contradiction avec les résultats obtenus lors de l'examen des indices, étant donné la forte biréfringence de la dolomite et son indice élevé.

2° que la décrépitation s'effectue en deux temps :

- une légère ouverture des fissures vers 130° C. Celle-ci correspond à une légère augmentation du volume de la cavité qui se manifeste par une brusque augmentation du volume de la phase gazeuse sans que la cavité se soit fissurée de manière perceptible,
- une fracturation des parois de l'inclusion vers 195° C.

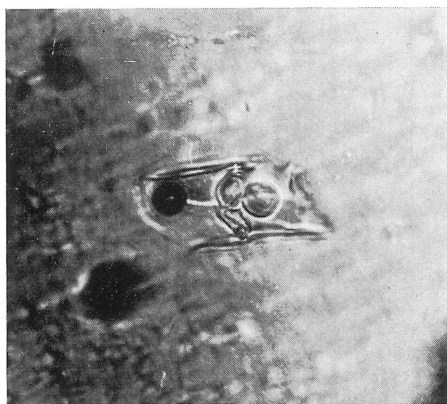


Fig. 2. — Inclusion minéralisée présentant les trois types de cristaux (deux de forme sphéroïde et un de forme parallélépipédique) et une bulle gazeuse. (Gr = 400 ×).

Ce fait a pu être confirmé en utilisant un décrépítőgraphe électronique. En effet, en utilisant une poudre fine, la décrépitation s'est produite à une température de l'ordre de 214° C.

3° qu'il existe trois cristaux différents

- un premier de forme parallélépipédique et dont la température de dissolution est d'au moins 55° C,
- un deuxième, de forme parallélépipédique ou sphéroïde, se dissolvant à une température égale ou supérieure à 120° C,
- un troisième de forme sphéroïde et dont la température de dissolution est au moins de 200° C.

4° que la croissance des cristaux s'est effectuée dans une solution saturée en sel. En effet, la température de disparition des cristaux ne peut être interprétée que si l'on admet soit une forte sursaturation en sel de la solution mère, soit une pression de formation élevée, soit une combinaison de ces deux effets. Dans ce dernier cas, pour obtenir une solution saturée en sel à 235° C, il faut une pression de 1200 bars (Smith F., 1963), pression normale dans la formation des roches.

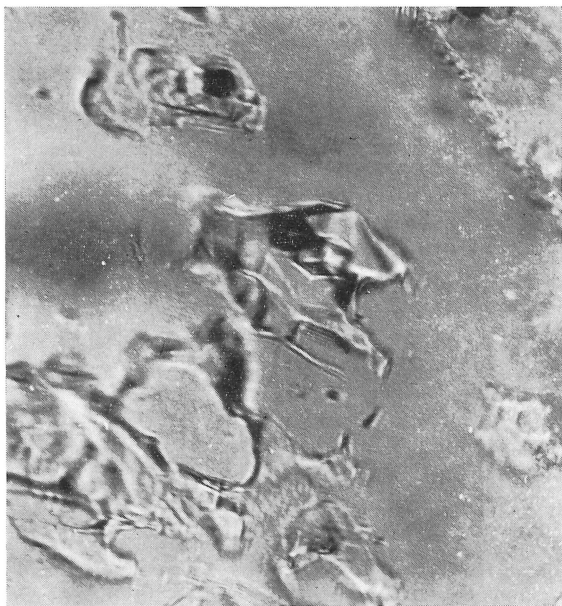


Fig. 3 a et b. — Inclusion minéralisée contenant un cristal cubique.
a. sur pointe. (Gr = 750 ×).
b. sur côté. (Gr = 750 ×).

5° qu'il peut se produire une dissolution partielle des parois du cristal hôte lors d'une augmentation de température. En effet, le cristal de néoformation p se dissout à une température supérieure à la température de dissolution des cristaux qui lui ont donné naissance. Il est donc possible que ce cristal soit formé des éléments constitutifs des cristaux p_1 et p_2 , et d'un élément supplémentaire.

5. COMPORTEMENT DES INCLUSIONS FLUIDES A BASSE TEMPÉRATURE

Le traitement à basse température, effectué à Nancy par M. Poty, a permis de distinguer deux types d'inclusions. Il est apparu, en effet, que les inclusions ne contenant que deux phases avaient une salinité modérée (7 %) et ne contenait pas de CO_2 discernable à -3°C , tandis que les inclusions contenant des cristaux avaient une forte salinité (pas de congélation à -100°C) et montraient, lors du réchauffement à 5°C , la formation de quelques bulles de CO_2 dues à la dissolution du clathrate (Bartholomé, 1966).

6. ANALYSE CHIMIQUE

Un échantillon de dolomite, taillé dans un porphyroblaste, a été analysé qualitativement par spectrométrie de fluorescence de rayons X. Cette méthode permet de déceler, sous une épaisseur de 25 à 30 microns, les éléments chimiques dont la concentration est supérieure à 50 ppm. Elle peut donc être utilisée en vue de déterminer les constituants des inclusions fluides, pour autant que leur nombre atomique soit supérieur à 10.

En utilisant une anticathode de Cr, il a été possible de déterminer d'une manière certaine les éléments Ca, K, Si, Cl et Cu, éventuellement Fe et S. D'autre part, avec une anticathode de W, il a été possible de déterminer d'une manière certaine les éléments Pb, Mn, Fe, Sn, Co et Cu, avec éventuellement Ti.

On peut considérer que la dolomite contient, outre Ca et Mg, des éléments métalliques tels que Fe, Mn, Pb, Zn, et Ti. On peut également expliquer la présence de Cu et Co du fait de la minéralisation. La présence de Si semble montrer que les porphyroblastes ne sont en fait que des éléments de roches où la concentration en dolomite est très élevée par rapport à celle du quartz.

Les éléments K, Cl et S, qui généralement ne participent pas à la constitution de la dolomite, tendent à prouver qu'ils font partie des éléments constitutifs des inclusions fluides. On peut donc penser que les cristaux inclus sont en fait NaCl, KCl et CaSO_4 .

7. THÉORIES MÉTALLOGÉNIQUES

D'après Bartholomé (1963), certaines observations permettent de montrer que certains des éléments chimiques qui constituent la minéralisation ont été apportées, après la sédimentation, par des solutions souterraines. Une partie du cuivre ne se trouvait pas dans la roche au moment de la sédimentation, mais a été introduit par des solutions circulant dans les lits perméables, pendant une période postérieure à la cristallisation des porphyroblastes, mais antérieure à la cimentation.

Le rôle des solutions souterraines aurait été d'apporter le cuivre et d'enlever le fer. Les matières organiques contenues dans les sédiments auraient joué le rôle de réducteur.

Des observations de Bartholomé (1962 a et b), il est possible d'obtenir des indi-

cations relatives à la température de formation des minerais; plus exactement, il est possible d'obtenir une température limite que les roches n'ont pas pu dépasser au cours de leur évolution géologique.

Le géothermomètre bornite-digénite indique que la température de 200° C paraît être le maximum auquel les sulfures de Kamoto ont été soumis. Cette température est comparable à la température régnant lors de la formation des inclusions fluides.

Ces considérations nous amène à penser que l'histoire géologique des R.S.C. peut se résumer de la manière suivante : lors de la sédimentation, il y a eu précipitation de dolomite et de quartz en eaux salines, les sédiments contenant également un peu de pyrite (et de chalcopyrite); ces sédiments se sont ensuite trouvés en présence de solutions chaudes et saturées en sel.

Ces solutions originaires des roches sous-jacentes, se sont peut-être échauffées lors de la mise en place des intrusions basiques et ont alors migré vers la surface en s'infiltrant dans les sédiments non consolidés. L'augmentation de la température a permis une certaine mobilisation du quartz et de la dolomite.

Ces solutions se seraient ensuite enrichies en cuivre sous forme de CuCl_2 par infiltration et diffusion (Brown A. C., 1968). Et la précipitation de ce dernier aurait eu lieu dans des roches relativement imperméables où la présence de matières organiques permettait une activité bactérienne intense en conservant un milieu réducteur.

8. CONCLUSION

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que les cristalloblastes de dolomite des R.S.C. soient le résultat d'une remobilisation de sédiments quartzodolomitique par les solutions minéralisatrices.

Cette explication rend compte de tous les faits d'observation :

- présence de cristalloblastes de dolomite contenant un peu de quartz,
- assemblage quartz-dolomite « syngénétique »,
- salinité différente dans les deux types d'inclusions : inclusions primaires lors de la précipitation et inclusions secondaires lors de la remobilisation,
- température.

Cependant, l'étude d'échantillons prélevés dans l'ensemble de la région permettrait seule de confirmer cette hypothèse génétique.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTHOLOMÉ, P., 1962. — Les minerais cupro-cobaltifères de Kamoto a) Pétrographie, b) Paragenèse. *Studia Universitatis Lovanium*, Faculté des Sciences, n° 14, 16.
- BARTHOLOMÉ, P., 1963. — Sur la zonalité dans les gisements du Copperbelt de l'Afrique Centrale. *Symp. Prague : Problems of postmagmatic ore deposits*, Vol. 1, 317-321.
- BARTHOLOMÉ, P., 1966. — Sur l'abondance de la dolomite et de la sépiolite dans les séries sédimentaires. *Chem. Geol.*, 1966, 1, 33-48.
- BARTHOLOMÉ, P., 1966. — Les inclusions fluides et leurs enseignements en Metallogénie. *R.U.M.*, 1966, 7, 171-178.
- BARTHOLOMÉ, P., 1969. — Kamoto et White Pine (Michigan) deux gisements stratiformes de cuivre. *Acad. Roy. Sci. Outre-Mer*, Bull. des séances, 397-410.

- BROWN, A. C., 1968. — Zoning in the White Pine copper deposit. Ph. D. thesis university of Michigan.
- CAHEN, L., 1954. — Géologie du Congo Belge. Liège, Vaillant-Carmanne.
- CALEMBERT, L., 1966. — Cours d'éléments de Géologie. Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées.
- DEER, HOWIE et ZUSSMAN, 1963. — Rock-forming Minerals. Londres, Longmans.
- DEMESMAECKER, G., Notions de Géologie. U.M.H.K., Département de Géologie.
- DEMESMAECKER, G., FRANÇOIS, A., OOSTERBOSCH, R., 1964. — La tectonique des gisements cuprifères stratiformes du Katanga. U.M.H.K., Département Géologique.
- FRIEDMAN, G., 1959. — Identification of carbonate minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 29, n° 1, 87-97.
- GEOCOMIN, Dép. Géo. — Notion sur la géologie de la concession Géocomin.
- GUILHAUMOU, N. et OGMAR, S., 1962. — Inclusions à CO₂ liquides et dépôts salins dans les cristaux de dolomite de Tunisie. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 268, série D, 241-243.
- HOLLAND, H. D., 1967. — Gangue minerals in hydrothermal deposits. In : *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, H. L. Barnes, editor. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- PIRMOLIN, J., 1969. — Études des conditions de formation des minéralisations Katan-gaises. Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées.
- RANKAMA, K. et SAHAMA, Th., 1949. — *Geochemistry*. Chicago Press.
- ROEDDER, E., 1962. — Studies of fluid inclusions I : Low temperature applications of a dual-purpose freezing and heating stage. *Econ. Geol.*, 57, 1045-1061.
- SMITH, F., 1963. — *Physical geochemistry*. Reading (U.S.A.), Addison-Wesley.
- YAJIMA, J., TOURAY, J. C. et IYAMA, J. T., 1967. — Les inclusions fluides dans la région de Modane. *Bull. Soc. Fr. Min. et Crist.*, 1967, XC, 394-398.
- YERMAKOV, N. P., 1961. — Importance of inclusions in minerals to the theory of ore genesis and study of the minerals forming medium. *Inter. Geol. Review*, 3, 575-585.
- YERMAKOV, N. P., 1965. — *Research on the nature of mineral forming solutions*. London, Pergamon Press.