

Bulletin de la Société belge de Géologie Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	T. 91 V. 91	fasc. 2 deel 2	pp. 79-89 blz. 79-89	Bruxelles 1982 Brussel 1982
--	----------------	-------------------	-------------------------	--------------------------------

LES INCLUSIONS FLUIDES DE LA BARITE DU GISEMENT SEDIMENTAIRE DE CHAUDFONTAINE (PROVINCE DE LIEGE, BELGIQUE)

par L. DEJONGHE (*), N. GUILHAUMOU (**) et J. C. TOURAY (***) .

RESUME. - Les inclusions fluides du gisement sédimentaire de Chaudfontaine ont fait l'objet d'une étude microscopique. On a repéré 5 familles de cavités syngénétiques dont 4 relatives à des inclusions primaires et la 5^{ème}, à des inclusions pseudo-secondaires. Toutes ces cavités sont monophasées et à remplissage aqueux, ce qui implique une température de cristallisation inférieure à 50°C. Le fluide de remplissage est caractérisé par une salinité la plus fréquente de 16.5 % équivalent NaCl et une salinité maximale de 23% équivalent NaCl.

SUMMARY. - The fluid inclusions of the barite of the Chaudfontaine deposit have been studied under the microscope. They have been classified into 5 syngenetic families, 4 of which corresponding to primary fluid inclusions and the 5th one to pseudo-secondary inclusions. All these cavities are completely filled with liquid (single phase inclusion). This observation assigns to the barite a temperature of crystallisation certainly lower than 50°C. The liquid of infilling is characterized by an uppermost frequent salinity of 16.5% equivalent NaCl and a maximum salinity of 23% equivalent NaCl.

INTRODUCTION.

Une des préoccupations majeures en métallogénie est de connaître les conditions de précipitation des minéraux d'une paragenèse, c'est-à-dire leur température de cristallisation et la nature de la solution qui les a engendré. On peut y parvenir par l'étude des inclusions fluides primaires et pseudo-secondaires. En effet, la solution génératrice d'un cristal peut être emprisonnée, soit au cours de la croissance de ce cristal, dans des cavités qui accidentent ses faces (inclusions primaires ou syngénétiques), soit peu de temps après qu'il se soit formé, par infiltration dans ses clivages ou des fissures qui le traversent (cavités pseudo-secondaires ou secondaires syngénétiques). Une précaution préalable à toute interprétation est de s'assurer que ces inclusions n'ont pas été altérées après le scellement de la cavité (pas de modification de leur volume, de leur forme et de la nature de leur remplissage). Bref, pour refléter les conditions de dépôt originel, les inclusions ne peuvent pas avoir subi de contraintes thermiques ou mécaniques. Il est bien connu que certains minéraux résistent mieux que d'autres aux sollicitations extérieures (le quartz par exemple) et se prêtent bien aux études d'inclusions fluides.

Par contre, la barite, minéral qui se fracture et recristallise facilement, n'est certes pas un minéral favorable. En outre, les inclusions primaires que ce sulfate renferme sont généralement très petites et tellement nombreuses qu'elles l'opacifient plus ou moins fortement, ce qui entrave très fortement les mesures. Dès lors, il n'est pas étonnant que peu d'études d'inclusions fluides lui ait été consacrées. Néanmoins, pour certains gisements, c'est parfois le seul minéral auquel on puisse avoir recours. C'est le cas du gisement de Chaudfontaine où aucun des autres minéraux transparents de la paragenèse ne se prête à une étude d'inclusions fluides (la fluorite est absente, le quartz et la dolomite sont très finement grenus, la sphalérite est peu abondante et translucide à opaque, et enfin, la calcite est rare et sans liaison évidente avec la minéralisation).

En vue de conforter l'hypothèse de mise en place sédimentaire du gîte de Chaudfontaine (DEJONGHE, 1979), nous avons relevé le défi de l'étude des inclusions fluides de la barite de ce gisement. Néanmoins, les manipulations de cryoscopie n'ont

(*) Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, B-1040 Bruxelles.

(**) Ecole normale supérieure, Laboratoire de Géologie, 46 rue d'Ulm, F-75230 Paris.

(***) Université d'Orléans, Département des Sciences de la Terre, Domaine universitaire, F-45046 Orléans Cedex.

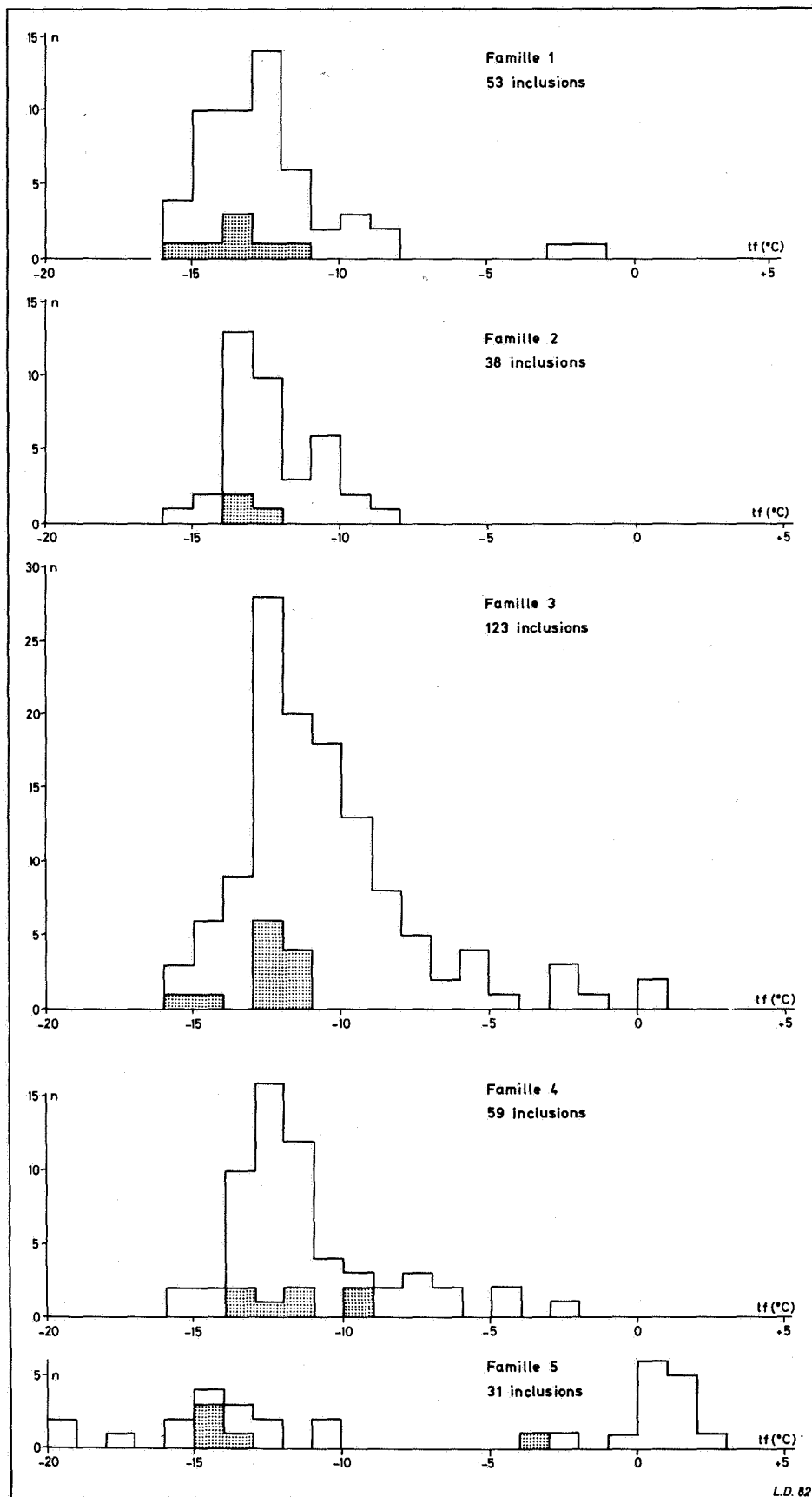


Figure 1 Histogramme des températures de fin de fusion (tf) de chacune des 5 familles d'inclusions syngénétiques de la barite de Chaudfontaine. Famille 1 à 4, inclusions primaires. Famille 5, inclusions pseudo-secondaires.

pu être réalisées que sur les inclusions fluides des cristaux transparents à faiblement translucides, de taille supérieure au cm. La phase de sélection de ces cristaux à faciès favorable a donc été déterminante.

MATERIEL UTILISE,

Les échantillons étudiés ont été prélevés dans la zone minéralisée d'un des sondages de Chaudfontaine, repéré au Service géologique sous le n° 134E396. Cette zone a fait l'objet d'une description détaillée par DEJONGHE, in GRAULICH et VANDENVEN (1979).

Rappelons que la barite de Chaudfontaine est comprise dans une roche sédimentaire de type silicite (mélange complexe de trois composants : siliceux, argileux et carbonaté).

Cette barite est blanche ou légèrement teintée de gris ou de rose et apparaît sous des formes diverses.

1. En cristaux isolés et dispersés, lamellaires ou tabulaires. Parfois les faces terminales "en pointe" sont présentes (cristaux automorphes).
2. En agrégats de cristaux subautomorphes, plus ou moins jointifs (souvent, selon des angles de 120°). Deux structures peuvent être distinguées : d'une part, une structure cloisonnée compacte (l'espace compris entre les cloisons de barite est rempli par une matrice siliciteuse) et d'autre part, une structure cloisonnée poreuse (carcasse de cristaux sans remplissage). Les vides de cette dernière structure ne semblent pas être originaux. L'absence de remplissage est probablement dû à des dissolutions sélectives. La structure en rosette, c'est-à-dire en agrégats radiaires de cristaux à croissance centrifuge, est très rare.
3. En agrégats massifs, souvent composés de larges cristaux subautomorphes.
4. En cristaux xénomorphes, mm à cm (mouchetures), groupés en agrégats de dimensions et formes très variables.

En ce qui concerne la taille des cristaux tabulaires de barite, on peut distinguer deux populations : d'une part, celle des cristaux atteignant jusqu'à 1 cm de long, et, d'autre part, celle des cristaux dont la longueur est voisine de 10 cm (certains individus atteignent 20 cm). En général, ces deux groupes ne sont pas mélangés.

Toutes les observations ont été réalisées sur des esquilles de barite séparées au scalpel. Dans certains cas, le plan de coupe correspondait à un plan de clivage. Les esquilles ont été examinées au microscope avant de subir un traitement thermique. Répétons que seules les esquilles provenant de cristaux transparents à translucides, de plusieurs cm de long, ont fourni un matériel favorable à l'étude des inclusions fluides. En outre, les cristaux étudiés semblent bien tous liés à une paragenèse primaire.

MORPHOLOGIE DES INCLUSIONS.

L'observation au microscope des esquilles de barite a permis de classer les inclusions qu'elles renferment. Dans les cas favorables, on a pu distinguer les inclusions épigénétiques des syngénétiques. Ces dernières ont fait l'objet d'une description détaillée qui a conduit à les subdiviser en cinq familles dont quatre correspondent à des inclusions primaires et la cinquième, à des inclusions pseudo-secondaires.

A. Inclusions syngénétiques.

- famille 1.

Inclusions équantes ou peu allongées, souvent à contours plus ou moins arrondis, non symétriques. Parfois prolongées par des canaux étroits (ph. 1) qui établissent éventuellement une connexion entre deux inclusions (ph. 2). Longueur la plus fréquente : 20 - 60 μ m.

- famille 2.

Cavités à contours automorphes (cristaux négatifs), en général caractérisées par une tendance à l'élongation plus marquée que pour les cavités de la famille 1. Longueur la plus fréquente : 20 - 100 μ m.

- famille 3.

Inclusions allongées, à contour irrégulier, éventuellement localement festonné, avec indentations parfois très longues et très pointues (ph. 3). Dans certains cas, les excroissances cristallines ainsi formées sont limitées par des contours automorphes. Longueur la plus fréquente : 75 - 200 μ m.

- famille 4.

Inclusions très allongées et effilées aux extrémités (ph. 4). Souvent, morphologie en lame de couteau ou en coin très pointu. Des contours automorphes limitent parfois l'extrémité la plus large de l'inclusion.

En réalité, ces 4 familles constituent les termes extrêmes les plus caractéristiques d'une série de formes évoluant de façon progressive.

Toutes les inclusions de ces 4 familles sont en outre caractérisées par une notion d'épaisseur, de relief, de développement dans les 3 dimensions. Les contours sont délimités par des lignes épaisses et sombres, doublées d'un liseré brillant (frange de Becke). Certaines inclusions (en particulier, celles des familles 3 et 4) renferment des octaèdres de pyrite (ph. 5). Ils sont souvent localisés aux extrémités des inclusions allongées dont ils conditionnent parfois la forme (hétérogénéité en face de croissance responsable de l'apparition de défauts de cristallisation).

Sauf en ce qui concerne la famille 4, la liaison à des faces de croissance n'est pas souvent évidente. Des critères ontogéniques tels que la présence de clous ou de baguettes crénelées de pyrite, légèrement obliques et systématiquement transverses aux faces de croissance, ou encore, de

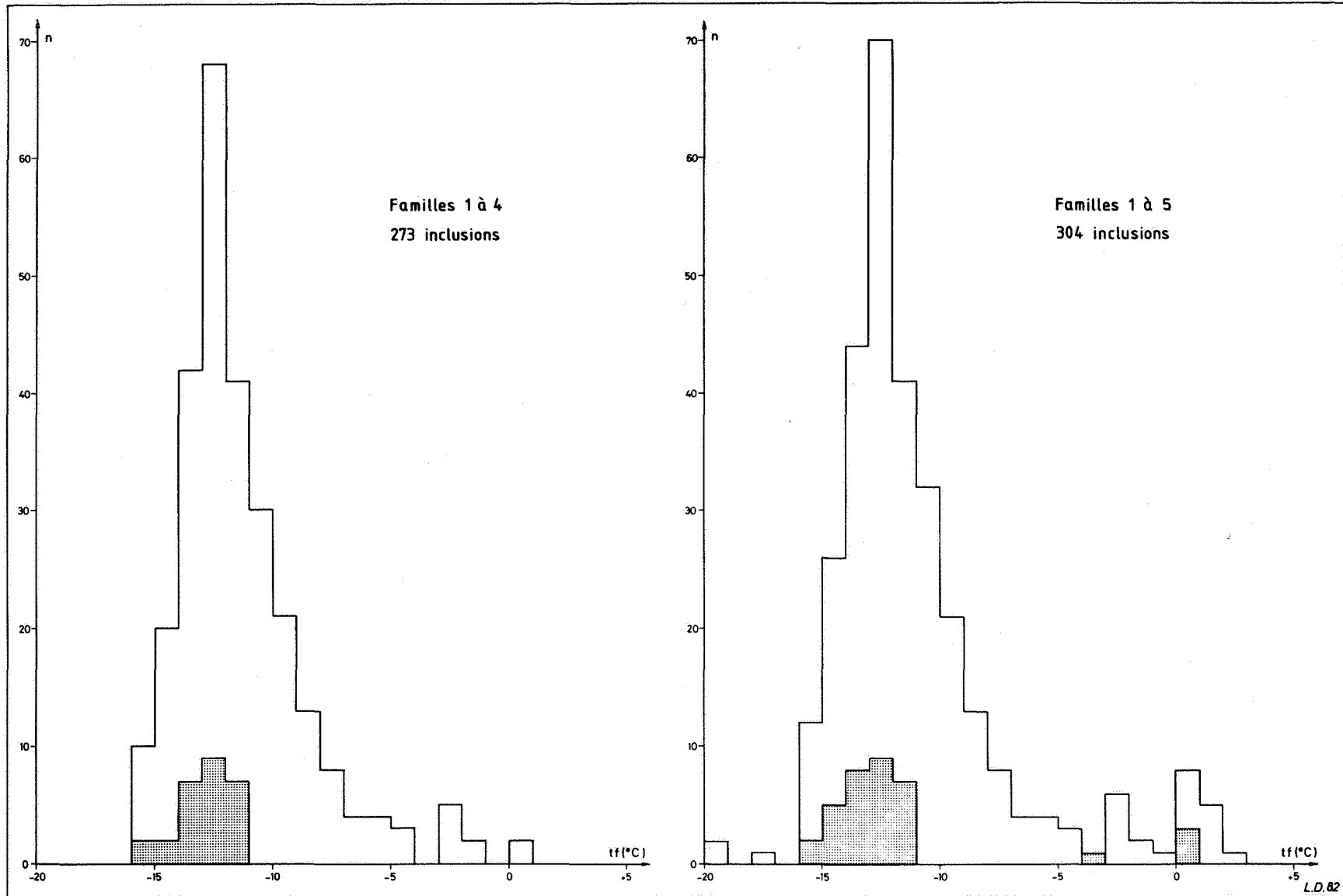


Figure 2 Partie gauche. Histogramme des températures de fin de fusion (tf) de l'ensemble des inclusions primaires (familles 1 à 4).

Partie droite. Histogramme des températures de fin de fusion (tf) de l'ensemble des inclusions syngénétiques (primaires et pseudo-secondaires, familles 1 à 5).

sulfures concentrés dans certaines faces de croissance, nous ont permis de lever le doute dans certains cas.

- famille 5.

Par contraste avec les inclusions primaires, les inclusions pseudo-secondaires sont très plates (pas de notion d'épaisseur). Elles sont limitées par des contours très fins généralement géométriques ou festonnés. Les figures géométriques, souvent plus longues que larges, sont composées dans leur plus grande partie, de trois séries de lignes conjuguées (ph. 6 et 7). Dans certains cas, on y reconnaît les contours typiques de cristaux orthorhombiques. Les indentations des contours festonnés sont parfois très profondes. Des cas de croissance antagonistes sont extrêmement fréquents et des canaux partiellement obturés subsistent alors entre les portions de faces cristallines jointives. On trouve aussi des cristaux de barite automorphes, isolés au sein des plus grandes cavités, et qui constituent en quelque sorte des piliers extrêmement plats qui relient le toit et le mur de la cavité (ph. 8). Des figures de corrosion sont parfois présentes. La taille de ces inclusions est extrêmement variable. Des individus atteignant plusieurs centaines de microns ne sont pas rares. La liaison à des plans de clivage est évidente : dans le cas d'esquilles obtenues par section le long d'un clivage facile, la mise au point optique s'effectue instantanément sur toute la superficie de l'inclusion.

B. Inclusions épigénétiques.

Ces inclusions présentent toujours des formes de gouttelettes épaisses, plus ou moins opacifiées. La reconnaissance de leur nature épigénétique n'est aisée que lorsqu'elles sont localisées dans des fissures séchantes aux faces de croissance (ph. 4).

NATURE DU REMPLISSAGE.

Seul le remplissage des inclusions primaires et pseudo-secondaires a été déterminé.

Toutes les mesures microthermométriques ont été réalisées au Laboratoire de Géologie de l'Ecole normale supérieure (Paris) sur une installation de marque Chaix Meca (POTY et al., 1976). La reproductibilité des mesures est de l'ordre de $\pm 0.1^\circ\text{C}$ dans la gamme des températures de cette étude.

Toutes les inclusions considérées sont monophasées à température ambiante. L'absence totale de bulle de retrait implique une température de remplissage très basse, certainement inférieure ou égale à 50°C (SABOURAUD et al., 1980).

Cette conclusion est importante à deux titres :

1. Elle confirme la nature syngénétique sédimentaire du gîte de Chaudfontaine.

2. Elle élimine l'hypothèse d'un réchauffement que d'aucuns pourraient évoquer pour expliquer l'existence de cristaux décimétriques (recristallisation sous effet thermique).

L'absence totale de bulle de retrait et d'inclusion décrépitée exclut l'hypothèse d'un rééquilibre des fluides piégés dans les cavités intra-cristallines de la barite.

Des mesures cryoscopiques ont été réalisées en vue de préciser la salinité de ces inclusions primaires. Les mesures ont été réalisées sur des cristaux prélevés à des niveaux stratigraphiques différents afin de vérifier l'hypothèse d'une évolution continue de la salinité en fonction de la position stratigraphique du dépôt. Les prélèvements ont été effectués en 28 points répartis sur une épaisseur stratigraphique de 11 mètres. Plusieurs échantillons ont parfois été prélevés au même niveau. Le nombre de mesures significatives s'élève à 304.

Sur ces 304 inclusions syngénétiques, 273 étaient des inclusions primaires (89,8%) et parmi celles-ci, 53 appartiennent à la famille 1 (17,4 %), 38 à la famille 2 (12,5 %), 123 à la famille 3 (40,5 %) et 59 à la famille 4 (19,4 %).

La congélation totale des inclusions primaires leur confère un aspect brunâtre, translucide à opaque, caractéristique des inclusions salées. Une partie seulement des inclusions pseudo-secondaires garde un aspect transparent.

Toutes les températures de première fusion se situent entre -45°C et -35°C , ce qui implique une solution riche en sels autres que Na Cl (par exemple riche en K Cl, Ca Cl₂, Mg Cl₂, etc..., CRAWFORD et al., 1979).

L'étude des températures de fin de fusion n'a pas confirmé l'hypothèse d'une évolution continue de la salinité en fonction de la position stratigraphique : les salinités varient "en dent de scie" au cours du temps, ce qui nous a conduit à regrouper les mesures par familles d'inclusions.

Les histogrammes de fréquence des températures de fin de fusion ont été réalisés pour chacune des familles d'inclusions considérées (fig. 1). Les histogrammes ponctuels correspondent aux inclusions pour lesquelles une bulle est apparue lors de la remontée de température.

Les histogrammes des familles 1 à 4 (inclusions primaires) ont des allures tout à fait comparables, un pic se dégageant nettement. L'allure est encore mieux marquée sur l'histogramme d'ensemble de ce type d'inclusion (fig. 2).

Par contre l'histogramme de la famille 5 (inclusions pseudo-secondaires) montre un étalement des valeurs (fig. 1).

Ces allures différentes peuvent être interprétées de la façon suivante. Les

inclusions primaires semblent relativement étanches et conservent leur salinité originelle. Par contre, les inclusions pseudo-secondaires en plan de clivage sont plus aptes à subir des modifications de leur contenu. Ces dernières ont pu être lessivées par les eaux souterraines récentes d'origine météorique (eaux non salées). Il s'agit d'un fait bien connu qui a été reproduit en laboratoire. En effet, SABOURAUD (1976) a réalisé une expérience de décroissance de la salinité d'une inclusion par pénétration d'eau distillée dans les clivages de cristaux de gypse. Dans certains cas, la salinité a diminué de moitié après quelques années.

Dans le cas de l'histogramme de la famille 5, deux sous-groupes d'inclusions se dégagent : le premier est centré sur -15°C , le second sur 0°C . Il convient aussi de remarquer que sur les 31 inclusions de cette famille, 12 ont révélé des températures de fin de fusion positives (jusqu'à $+3^{\circ}\text{C}$) et que pour le sous-groupe centré sur 0°C , la tendance au groupement des valeurs entre 0 et 2°C est nettement marquée. Ces observations suggèrent que dans cette famille 5, seules les inclusions salées reflètent la nature de la saumure originelle.

Le cas des températures de fusion positives (jusqu'à $+3^{\circ}\text{C}$) est conforme à ce qui est connu dans la littérature (métastabilité de la glace). On sait, en effet, que seule la partie ponctuelle des histogrammes correspond aux cavités dont le remplissage est à l'équilibre. Rappelons que l'erreur entraînée par ce phénomène ne peut conduire qu'à annoncer des points de fusion trop élevés et donc, des salinités inférieures aux salinités réelles (SABOURAUD, 1976, p. 73).

L'intérêt de ces histogrammes se situe donc vers les températures les plus basses : on peut être certain que la salinité des solutions mères a au moins atteint la concentration indiquée par les températures de fin de fusion les plus basses.

L'histogramme général de toutes les inclusions syngénétiques (fig. 2) montre des températures de fusion totale atteignant -20°C et un pic majeur centré sur -12.5°C . Ce pic est dissymétrique, à pente raide vers les basses températures et à retombée beaucoup plus douce vers les températures positives. En outre, de ce côté, apparaissent des petits pics, mineurs par rapport au pic principal.

Ces températures de fusion traduites en salinité indiquent que la saumure la plus concentrée atteignait 22 à 23% (en poids) équivalent NaCl et que la salinité la plus fréquente se situait autour de 16.5% (en poids) équivalent NaCl. Dire, que toutes les salinités intermédiaires jusqu'à l'eau douce étaient représentées dans les solutions mères n'est probablement pas exact étant donné la possibilité de phénomènes de lessivage ultérieur.

Si la solution mère du gîte de Chaudfontaine est bien une solution salée, celle-ci n'a cependant jamais atteint la saturation. La question se posait étant donné la présence d'anhydrite dans le sondage de Soumagne, au même niveau stratigraphique que le gîte sédimentaire de Chaudfontaine (GRAULICH, 1977).

Précisons que si la salinité n'est pas un critère génétique (des barites filoniennes présentent une gamme de salinités extrêmement étendue), elle nous éclaire cependant sur le milieu dans lequel les gîtes sédimentaires s'individualisent. En admettant que le gîte de Chaudfontaine est de nature sédimentaire, l'étude de la salinité des inclusions fluides de la barite qu'il renferme précise qu'il s'est mis en place dans un milieu confiné, ce qui renforce l'hypothèse génétique émise précédemment (gisement de back-reef; DEJONGHE, 1979).

En outre, la présence de pyrite incluse dans la barite, sous forme de clous et de baguettes crénelées, de cristaux concentrés dans certaines faces de croissance et de cristaux piégés dans les inclusions fluides, atteste la cristallisation concomitante d'un sulfure et d'un sulfate.

Lorsque on sait que dans les gisements sédimentaires Pb-Zn-Ba, les corps sulfatés et sulfurés sont généralement distincts, le corps bariteux occupant une position plus éloignée du rivage que le corps sulfuré, il est permis de croire à Chaudfontaine en l'existence d'un corps sulfuré qui n'a pas été reconnu par sondage.

CONCLUSIONS.

L'interprétation génétique du gisement de Chaudfontaine, repose sur des arguments divers : géométrique (corps lenticulaire), stratigraphique (position identique dans 3 sondages), sédimentologique (structures sédimentaires mettant en oeuvre des cristaux de barite et de sphalérite), isotopique (isotopes du soufre de la barite) et géochimique (anomalies lithogéochimiques repérées à 1.5 km à l'ouest et à 6 km à l'est de la zone des sondages). Certaines observations ne permettent pas de trancher (isotopes du plomb de la galène, thermoluminescence de la barite), mais aucune ne s'oppose à une origine sédimentaire.

Etant donné des températures de cristallisation inférieures à 50°C et des salinités élevées, cette étude des inclusions fluides de la barite conforte l'interprétation initiale de la mise en place du gisement de Chaudfontaine : Il s'agit bien d'un gisement sédimentaire.

Cette étude soulève aussi la question de l'existence d'un corps sulfuré adjacent au corps bariteux repéré en sondages.

REFERENCES.

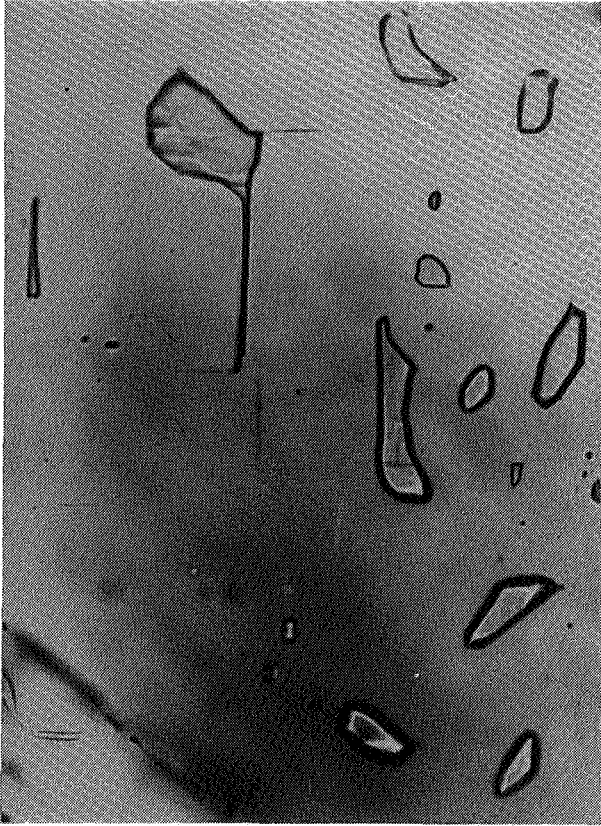
- CRAWFORD, M. L., FILER, J. & WOOD, C. (1979) - Saline fluid inclusions associated with retrograde metamorphism. *Bull. Soc. Fr. Miner. Cristall.*, 102, 562-568.
- DEJONGHE, L. (1979) - Discovery of a Sedimentary Ba (Fe, Zn, Pb) Ore Body of Frasnian Age at Chaudfontaine, Province of Liège, Belgium. *Mineral. Deposita*, 14, 15-20, Berlin.

- DEJONGHE, L., RYE, R. O. & CAVET, S. (1982) - Sulfur isotopes of barite and lead isotopes of galena from the stratiform deposit in Frasnian carbonate and shale host-rocks of Chaudfontaine (Province of Liège, Belgium). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 105, 97-103, Liège.
- GRAULICH, J. M. & VANDENVEN, G. (1979) - Nouveaux sondages pour l'étude hydrologique des eaux chaudes à Chaudfontaine. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique*, 152 (1978/4), 70 pp., Bruxelles.
- * GRAULICH, J. M. (1977) - Le sondage de Soumagne. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique*, 139 (1977/2), 55 pp., Bruxelles.
- POTY, B., LEROY, J.R., JACHIMOWICZ, L. (1976). Un nouvel appareil pour la mesure des températures sous le microscope : l'installation thermométrique Chaix Meca. *Bul. Soc. Fr. Miner.*, 99, 2-3, 182-186.
- SABOURAUD - ROSSET, C. (1976) - Inclusions solides et liquides dans le gypse. *Travaux lab. géol. Ecole normale supérieure*, 10, 119 pp., Paris.
- SABOURAUD, C., MACQUAR, J. Cl. & ROUVIER, H. (1980) Les inclusions fluides, témoins et faux-témoins des conditions de dépôt. Quelques exemples pris dans les minéralisations Pb, Zn, Ba, F du Sud du Massif Central Français. *Mineral. Deposita*, 15, 211-230, Berlin.

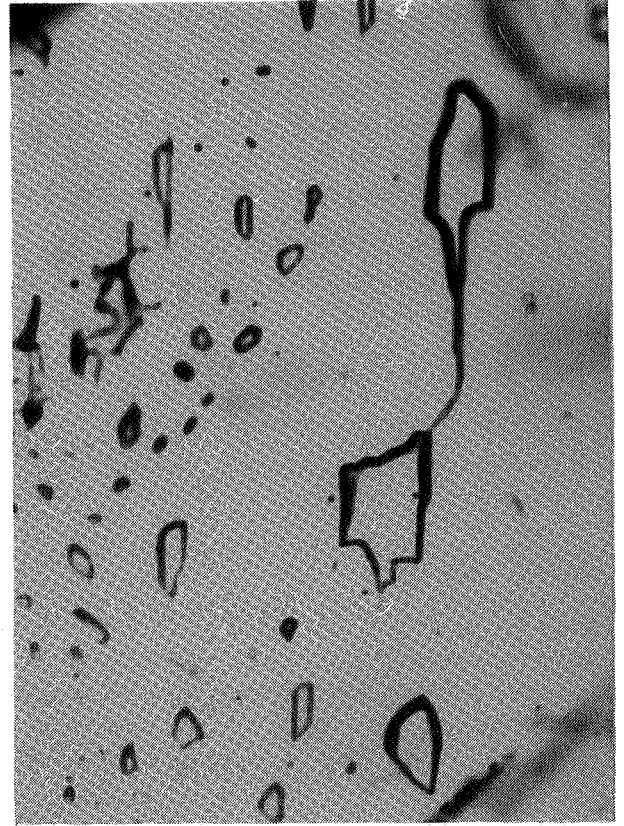
PLANCHE I

- Photo 1 Inclusions de la famille 1
- Photo 2 Inclusions de la famille 1
- Photo 3 Inclusions de la famille 3.
Les contours ont été retouchés à l'encre
de chine.
- Photo 4 Inclusions de la famille 4.
Au centre de la photo, fissure EW à
inclusions fluides épigénétiques.

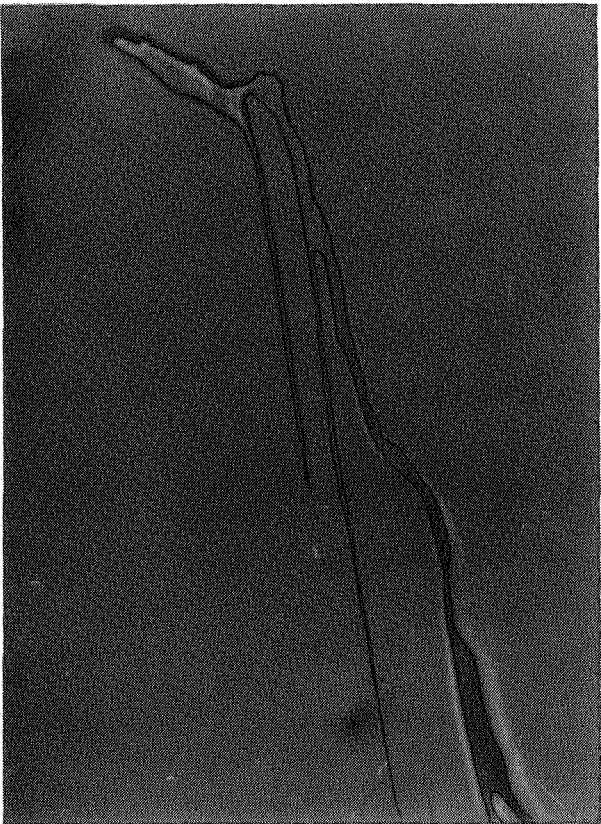
PLANCHE I



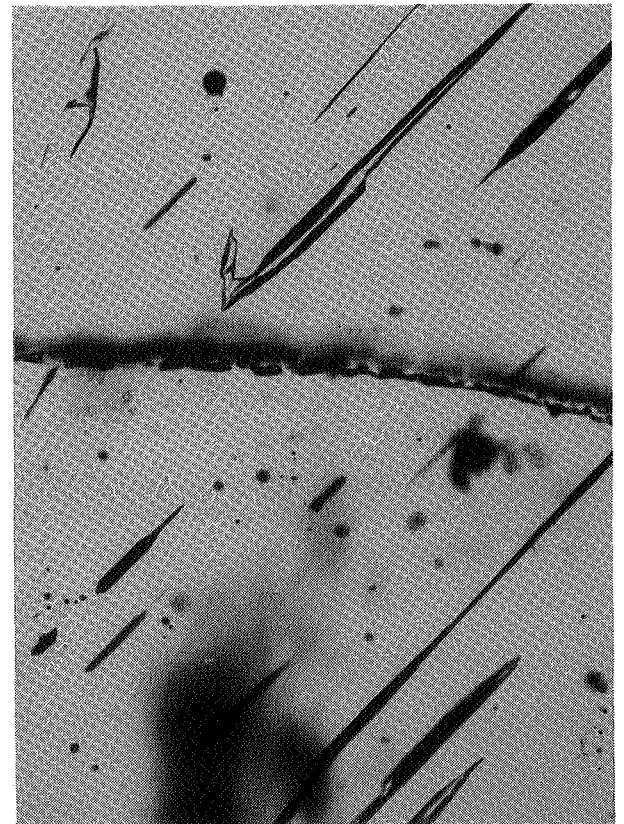
— 40 μ m 1



— 60 μ m 2



— 20 μ m 3



— 100 μ m 4

PLANCHE II

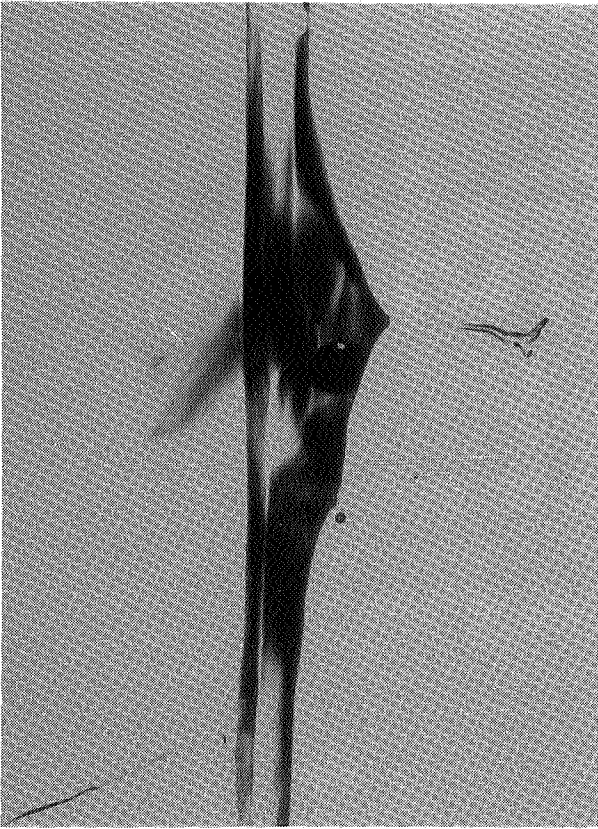
Photo 5 Présence d'un cristal de pyrite (noir)
au sein d'une cavité.

Photo 6 Inclusions de la famille 5.

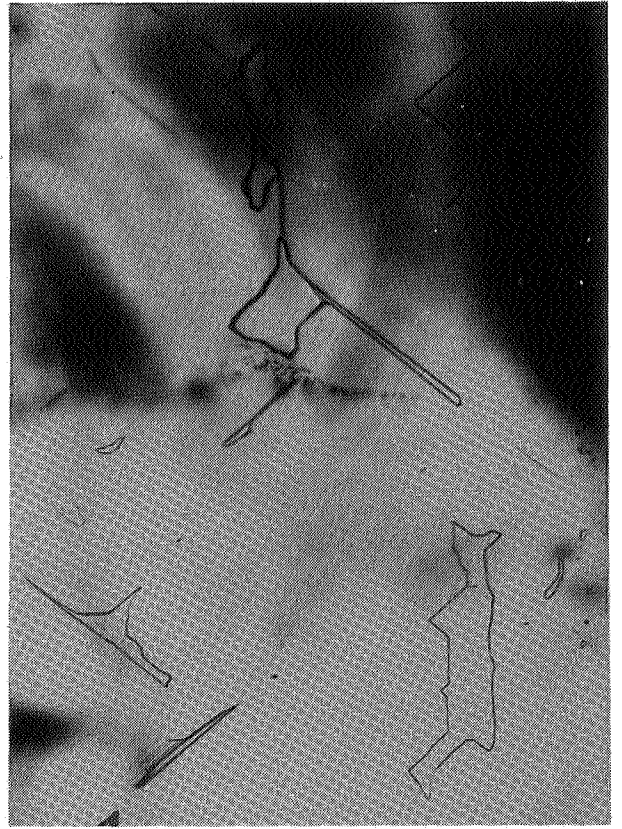
Photo 7 Inclusions de la famille 5.
Les contours ont été retouchés à
l'encre de chine.

Photo 8 Inclusions de la famille 5.

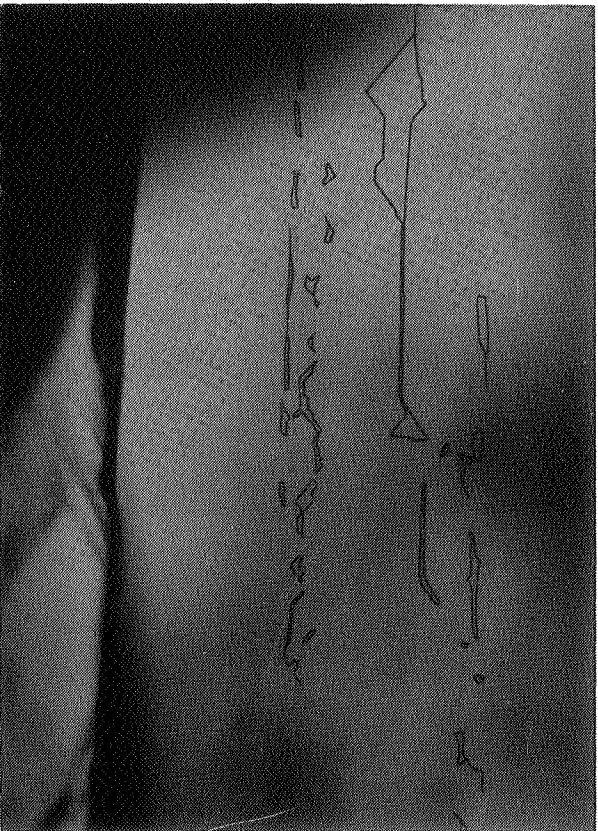
PLANCHE II



— 30 μm 5



— 90 μm 6



— 90 μm 7



— 60 μm 8

le pétrole vert



une réalité pour Solvay

Pendant combien d'années disposerons-nous de pétrole en quantités suffisantes? Cette question est d'actualité. Et pourtant SOLVAY n'a pas attendu la crise de l'énergie. Depuis 15 ans déjà, ses chercheurs ont mis au point un procédé permettant de fabriquer ses matières plastiques au départ de canne à sucre au lieu de dérivés du pétrole. Au Brésil, ELETRO CLORO, filiale de SOLVAY, produit ainsi 11.000 tonnes/an d'éthylène qu'elle transforme en polyéthylène haute densité ELTEX, ou en polychlorure de vinyle (PVC).

Tirer le meilleur parti des ressources que nous offre la nature, les transformer pour les adapter aux besoins d'un monde en évolution constante, n'est-ce pas le rôle de la chimie?

C'est pourquoi les 2.000 chercheurs de SOLVAY consacrent tant d'efforts à la mise au point des produits et procédés nouveaux qui, demain, contribueront à l'amélioration de la qualité de la vie.

