

Bulletin de la Société belge de Géologie Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	T. 95 V. 95	fasc. 2 & 3 delen 2 & 3	pp. 203-212 blz. 203-212	Bruxelles 1986 Brussel 1986
--	----------------	----------------------------	-----------------------------	--------------------------------

LIAISON DE LA MINÉRALISATION Ba, (Zn, Pb) D'ÂGE FRASNIEN DE CHAUDFONTAINE (PROVINCE DE LIEGE, BELGIQUE) AUX ÉVAPORITES SULFATÉES

Par L. Dejonghe (*)

Mots clés. Chaudfontaine, Belgique, barite, calcite, microquartz, mégaquartz, pseudomorphoses de gypse et d'anhydrite, gisement sédimentaire, milieu évaporitique, Frasnien, haut-fond.

Résumé. La présence d'anhydrite dans le sondage de Soumagne au même niveau stratigraphique que celui de la minéralisation de Chaudfontaine a conduit Dejonghe (1979) à émettre l'hypothèse d'une liaison entre cette minéralisation et les évaporites sulfatées. Cette hypothèse est étayée par des observations pétrographiques sur des niveaux de calcite spathique blanche interstratifiés entre les niveaux baryteux du sondage 134 E 396 de Chaudfontaine. Elles indiquent que la calcite pseudomorphe du gypse et de l'anhydrite. Par ailleurs, le cogénéisme de la calcite et de la barite est suggéré par la similitude de leurs compositions isotopiques du Sr. Enfin, les caractéristiques de milieux évaporitiques sont également présentes à travers certaines formes cristallines de la silice et par un degré de salinité appréciable des inclusions fluides de la barite. Au terme d'une caractérisation du site de dépôt de la minéralisation de Chaudfontaine, l'auteur conclut sur les perspectives d'occurrence de minéralisations similaires en Belgique.

Abstract. The presence of anhydrite in the Soumagne drillhole at the same stratigraphic level as that of the Chaudfontaine mineralization has brought Dejonghe (1979) round to express the assumption of the connection between this mineralization and sulphated evaporites. This hypothesis is supported by petrographic observations on layers of white sparry calcite interbedded between barite layers in the 134 E 396 Chaudfontaine drillhole. They indicate pseudomorphs of calcite after gypsum and anhydrite. On the other side, the cogenitism of calcite and barite is suggested by the similitude of their Sr isotopic compositions. At least, features of evaporitic environments are also expressed by certain varieties of crystalline silica as well as by substantial salinities of the fluid inclusions of the barites. After the characterization of the site of deposition of the Chaudfontaine mineralization, the author concludes on the perspectives of occurrences of similar mineralizations in Belgium.

I. Brève description de la minéralisation de Chaudfontaine et de son environnement géologique

Des précisions relatives à la minéralisation de Chaudfontaine et à son environnement géologique ont été données par Graulich (1967), Dejonghe in Graulich & Vandeven (1978), Dejonghe (1979), Dejonghe & Graulich (1984) et Dejonghe

(1985). En bref, il s'agit d'une minéralisation de type sédimentaire mise en place au Frasnien supérieur dans un environnement argilo-carbonaté péri-récifal. Plus précisément, en utilisant la terminologie de Coen-Aubert & Lacroix (1979), cette minéralisation se situe au sommet et au-dessus du deuxième biostrome à *Phillipsaera*

(*) Service géologique de Belgique - Rue Jenner 13 - B-1040 Bruxelles et
Université libre de Bruxelles - Faculté des Sciences - Avenue F.D. Roosevelt 50 - B-1050 Bruxelles.

de la formation d'Aisemont. Son contrôle stratigraphique est net : elle a été repérée au même niveau dans 3 sondages distants de plusieurs centaines de mètres. En outre, la surface - temps correspondant à l'horizon porteur de la minéralisation possède une valeur métallotectique régionale : dans 4 autres sondages (Soumagne, Bolland, Heibaart et Booischot) et en affleurement (Chaufontaine : Les Thermes et Kinkempois), des indices de minéralisation ont également été repérés au sommet du Frasnien. Sachant que Chaufontaine et Heibaart sont distants de plus de 100 km, on mesure l'importance métallogénique au niveau régional des dépôts du Frasnien supérieur.

Le gisement est formé d'une alternance de bancs très fortement minéralisés, de bancs stériles et de bancs présentant tous les stades intermédiaires entre les deux extrêmes. La minéralisation consiste principalement en barite et accessoirement en pyrite, sphalérite et galène. De la chalcopryrite et de la bravoïte ont aussi été observées au microscope (Dejonghe, 1978 ; Dejonghe *et al.*, 1985). La barite apparaît sous différents faciès et notamment sous la forme de cristaux lamellaires ou tabulaires (fig. 1). Parmi ceux-ci, on peut distinguer deux populations : celle des cristaux atteignant jusqu'à 1 cm de long et celle de cristaux dont la longueur est voisine de 10 cm (certains individus atteignent 20 cm).

Le processus sédimentaire de dépôt de la minéralisation de Chaufontaine est attesté par l'existence de nombreuses structures sédimentaires décrites et interprétées par Dejonghe (1985). Parmi les plus importantes, dont certaines montrées à la figure 1, citons :

- les dépôts rythmiques de couches de barite, de sphalérite et de sédiments stériles ;
- les planchers de cristaux centimétriques à décimétriques de barite ;
- le recouvrement d'agrégats de cristaux décimétriques de barite par des sédiments minéralisés ;
- le nivellement des irrégularités topographiques de l'interface eau-sédiment par des sédiments minéralisés ;
- les slumpings associés à des brèches intraformationnelles ;
- les cristaux lamellaires de barites resédimentés.

L'étude des inclusions fluides de la barite de Chaufontaine (Dejonghe *et al.*, 1982a) a montré que ce minéral a précipité à très basse température. Toutes les inclusions primaires sont monophasées et à remplissage liquide, ce qui implique une température de cristallisation inférieure à 50°C.

Des études isotopiques (S, Sr, O, C, Pb) ont également conforté les interprétations précédentes. En particulier, les isotopes du S des barites de Chaufontaine (Dejonghe *et al.*, 1982b) indiquent que le S est d'origine marine et les valeurs $\delta^{34}\text{S}$ (de 26.1 à 20.1 ‰) correspon-

dent à celles de sulfates marins d'âge Dévonien supérieur.

II. Hypothèse de la liaison du gisement de Chaufontaine aux évaporites

La liaison des gisements stratiformes aux évaporites a été invoquée par beaucoup d'auteurs (par exemple, Davidson, 1966 ; Fuchs, 1978, 1980 ; Macquar, 1978 ; Lagny, 1980 ; Samama *et al.*, 1978, etc....). Dans le cas de Chaufontaine, la possibilité d'une telle filiation a été suggérée par Dejonghe (1979, p. 17). En effet, dans le sondage de Soumagne, situé à environ 8 km à l'E des sondages minéralisés de Chaufontaine, de l'anhydrite envahit les biostromes à *Phyllipsastraea* (surtout le premier et le troisième). Celle-ci persiste dans les shales et les dolomies du Famennien. Pyrite, galène et chalcopryrite sont également présentes (Graulich, 1977). Cette anhydrite remplace fréquemment la calcite des Crinoïdes et des Coraux et parfois celle du ciment. Cnudde *et al.* (1986, p. 4) lient ce phénomène à une sursaturation temporaire et ponctuelle de l'eau de mer. Des conditions pré-évaporitiques à évaporitiques existaient donc à peu de distance de Chaufontaine, dans des petits bassins confinés.

III. Observations attestant que le dépôt de la minéralisation de Chaufontaine s'est effectué sous des conditions évaporitiques

Dans le sondage 134 E 396 de Chaufontaine, à deux endroits (entre 195.50 m et 196.45 m ainsi qu'entre 202.70 m et 202.90 m), de la calcite très blanche et très largement cristallisée (cristaux pluricentimétriques) s'ajoute à la barite et constitue d'ailleurs l'essentiel de la roche. Ces couches de calcite sont parfaitement concordantes avec les couches de barite.

Les compositions isotopiques du Sr ont été mesurées sur 2 calcites spathiques blanches et sur 9 barites (analyses effectuées par D. Demaiffe à l'Université libre de Bruxelles). Les deux minéraux possèdent des compositions isotopiques en Sr très voisines. En effet, les valeurs moyennes du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se chiffrent à 0.71119+0.00018 pour les 9 barites et à 0.71137+0.00018 pour les 2 calcites. Cette similitude milite donc en faveur du cogénéisme de la barite et de la calcite spathique blanche (ou des minéraux dont ils dérivent).

Là où la calcite spathique blanche constitue l'essentiel de la roche, elle se présente sous forme de mosaïques de cristaux parfaitement engrenés. Par contre, au sommet d'une des deux couches (entre 195.50 m et 195.70 m), la calcite se présente sous un habitus lamellaire ou tabulaire identique à celui de la barite. Cette caractéristique est l'apanage aussi bien de cristaux pluricentimétriques que de cristaux inframillimétriques. Les lamelles de calcite sont cimentées par une silicite de couleur gris-sombre.

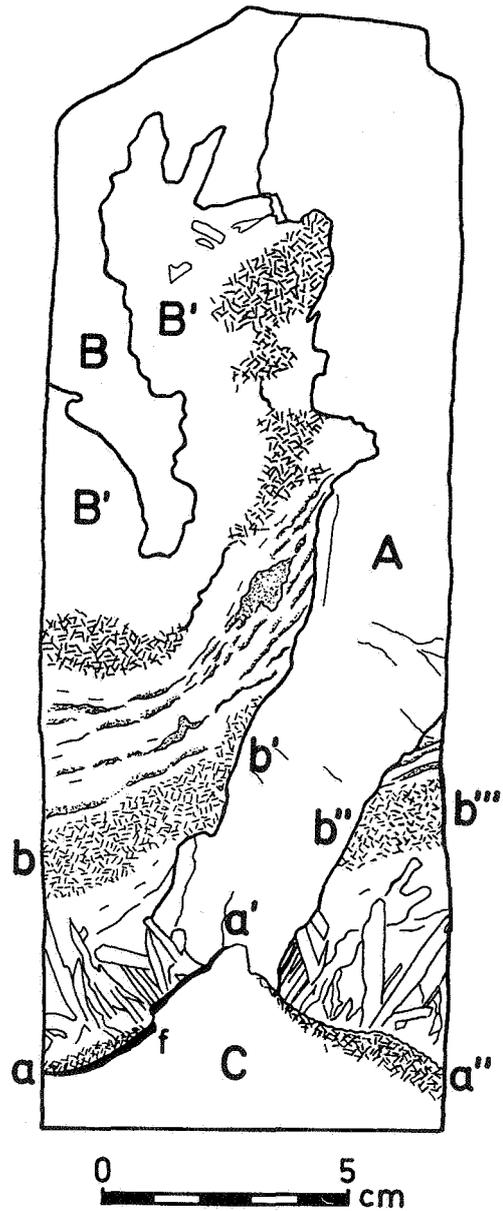
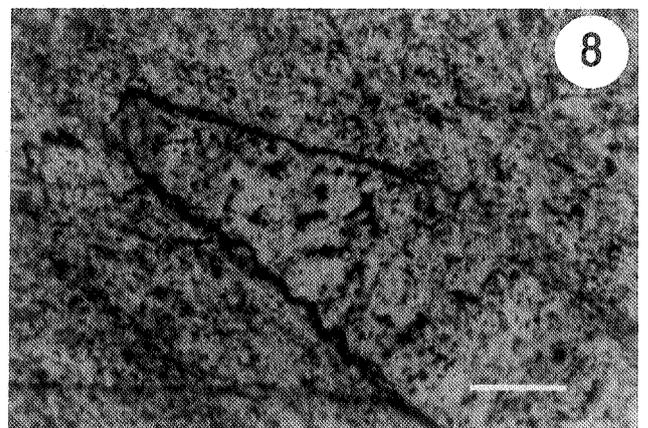
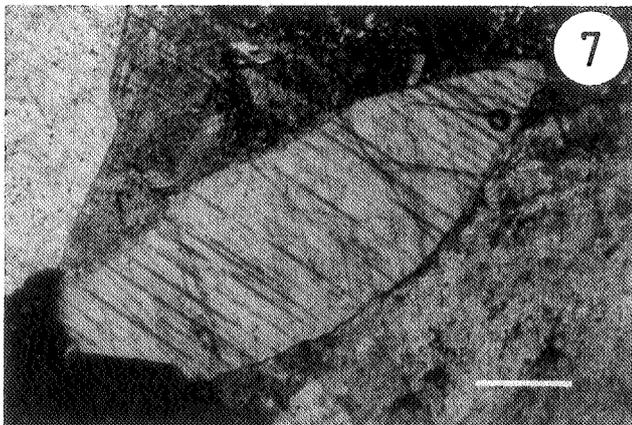
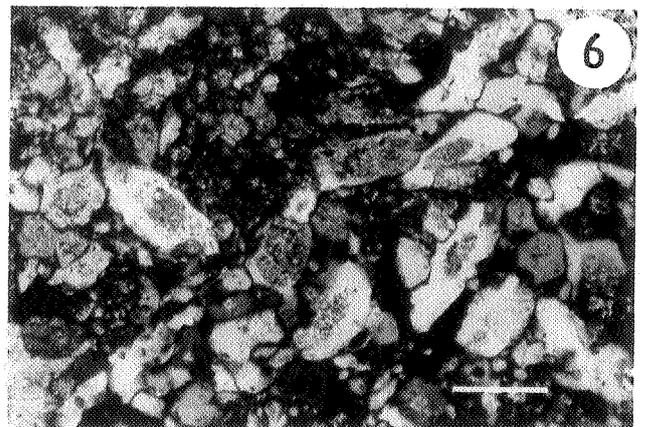
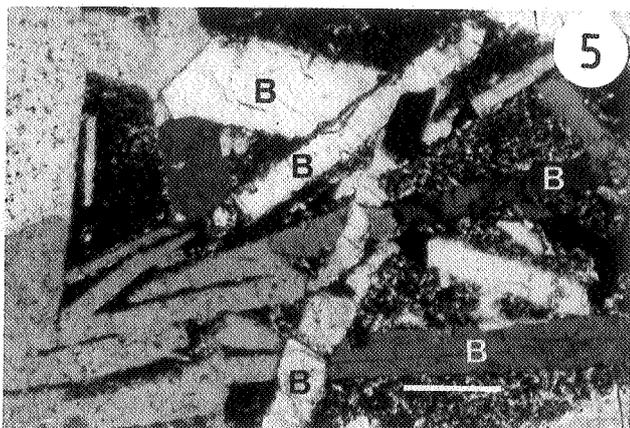
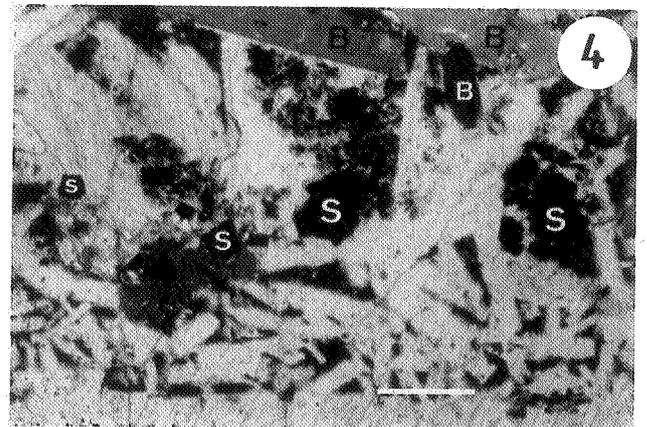
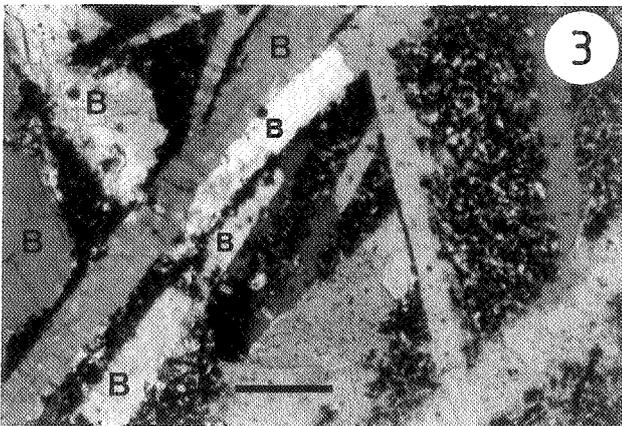
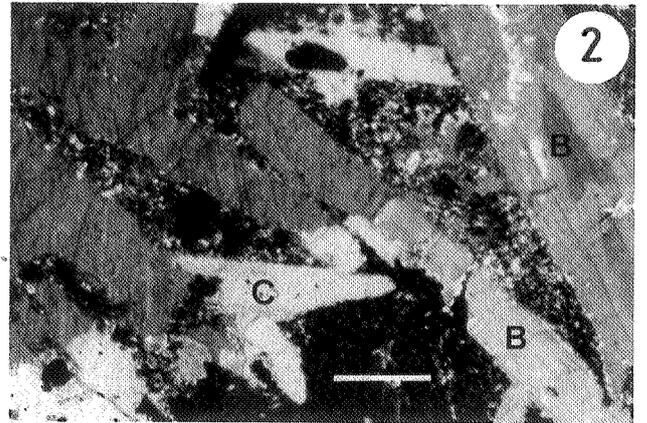
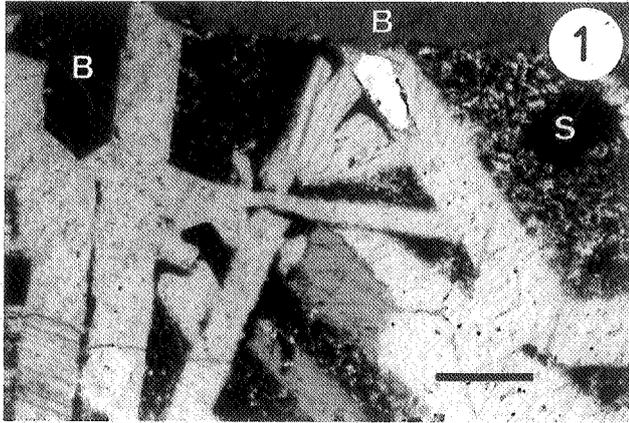


Figure 1. Structures sédimentaires de la minéralisation de Chaudfontaine. Sondage 134 E 396. Section longitudinale entre 206.32 m et 206.55 m. En C, mélange de cristaux mm Ba, lamellaires et xénomorphes, et de silicite. aa'a'' correspond à une interface sédimentaire en forme de ride, qui a été affectée par une petite faille synsédimentaire f, le tout ayant été plus ou moins nivelé par un sédiment riche en cristaux mm Ba. Au-dessus, s'est développé un plancher de cristaux cm Ba, dont un des individus (A) a atteint une taille gigantesque (longueur dépassant 20 cm). bb'b''b''' est une strate riche en cristaux mm Ba lamellaires, surmontée par une silicite à clastes carbonatés effilochés, contenant quelques cristaux mm Ba lamellaires parallèles à la stratification. B' est une masse de barite dont le coeur B est siliceux.

Figure 2.

Note : Toutes les photos ont été prises en lumière transmise et nicols croisés. La plupart des lamelles de barite sont repérées par la lettre B. Ce minéral polarisant dans les teintes vives de la seconde moitié du premier ordre se distingue aisément de la calcite qui polarise dans les teintes blanc-grisâtre des ordres supérieurs.

- 2.1. Sondage 134 E 396 - prof. 195.72 m - barre : 500 μ m. Agrégat de cristaux lamellaires de barite (B) et de calcite en pseudomorphose d'anhydrite. En S, sphalérite. Noter l'automorphisme du cristal de barite situé à l'extrême gauche de la photo et ses contacts tranchés avec les lamelles de barite. Matrice : silicite.
- 2.2. Sondage 134 E 396 - prof. 195.72 m - barre : 500 μ m. Agrégat de cristaux lamellaires de barite (B) et de calcite en pseudomorphose d'anhydrite. La forme pointue de certains cristaux de calcite suggère que ceux-ci pseudomorphosent également du gypse (cas du cristal C). Remarquer qu'une lamelle de calcite se prolonge par une lamelle de barite. Matrice : silicite.
- 2.3. Sondage 134 E 396 - prof. 195.72 m - barre : 500 μ m. Photo illustrant le fait que les cristaux lamellaires de barite (B) et les cristaux lamellaires de calcite (partie droite de la photo) forment deux populations non mélangées. Matrice : silicite.
- 2.4. Sondage 134 E 396 - prof. 195.72 m - barre : 500 μ m. Photo prise immédiatement au-dessus d'une épaisse couche de calcite spathique dont on ne voit que le bord disposé parallèlement et à proximité du grand côté inférieur de la photo. Agrégat de calcite lamellaire en pseudomorphose d'anhydrite dont la taille des lamelles augmente de la base au sommet. Au centre de la photo, zone riche en cristaux de sphalérite (S). La barite (B) apparaît au sommet de la photo. Matrice : silicite.
- 2.5. Sondage 134 E 396 - prof. 195.72 m - barre : 500 μ m. Agrégat fibroradié composé, à la base, de lamelles de calcite et, aux extrémités, de lamelles de barite (B). Matrice : silicite.
- 2.6. Sondage 134 E 396 - prof. 199.80 m - barre : 130 μ m. Portion de silicite photographiée pour sa richesse en microquartz de taille appréciable. Noter que les plus grands cristaux affichent une nette tendance à l'allongement. Ces cristaux contiennent d'abondantes inclusions micrométriques de carbonate dont la répartition est fonction de la taille des cristaux hôtes. Dans les quartz de petite dimension, les inclusions sont disposées de façon quelconque. Par contre, dans les cristaux de quartz les plus grands, elles sont souvent concentrées dans la partie centrale.
- 2.7. Sondage 134 E 396 - prof. 195.60 m - barre : 500 μ m. Cristal lenticulaire de calcite en pseudomorphose de gypse.
- 2.8. Sondage 134 E 396 - prof. 195.67 m - barre : 130 μ m. Fantôme de cristal de gypse subsistant au sein d'une mosaïque de cristaux de calcite.



Au microscope, on peut vérifier que calcite et barite voisinent dans des agrégats sous des habitus identiques : ces deux minéraux participent à des structures d'intercroissance de lamelles (fig. 2.1 à 2.5). En général, ils se regroupent au sein de populations distinctes, peu ou pas mélangées (fig. 2.3). Lorsqu'ils se touchent, leurs contacts sont parfaitement tranchés. En outre, les lamelles tant de barite que de calcite sont monominérales (pas d'inclusions réciproques des deux minéraux). Toutefois, certaines lamelles de calcite se prolongent par des lamelles de barite, avec des contacts nets entre les deux minéraux (fig. 2.2 et 2.5). Qui plus est, on peut observer que certaines lamelles disposées en éventail, comme à la figure 2.5, sont de nature barytique à leur base et de nature calcitique à leur sommet. Ceci montre que, tout en participant à l'élaboration du même édifice, deux dépôts de nature différente se sont succédés dans le temps, dans un intervalle extrêmement court. Ces observations confirment le cogénéisme de ces deux minéraux ou de ceux dont ils dérivent.

Il est évident que la calcite lamellaire ne développe pas ses formes habituelles. Elle pseudomorphose un autre minéral et il y a toutes raisons de penser qu'il s'agit de gypse ou d'anhydrite. Dans les formations anciennes, la pseudomorphose de ces sulfates par de la calcite est en effet très fréquente. Par contre, celle de barite par de la calcite n'est pas, à ma connaissance, un cas usuel. L'aspect rectangulaire de la plupart des lamelles de calcite et, en particulier, l'absence de terminaisons en pointe, fait pencher, pour une pseudomorphose d'anhydrite. Toutefois, des cas de pseudomorphose de gypse ont aussi été dénombrés (fig. 2.2). En outre, dans certaines mosaïques de calcite spathique, on distingue encore parfaitement les contours caractéristiques de certains habitus du gypse (fig. 2.5 et 2.6). Ces observations autorisent donc à supposer que dans tous les cas, le gypse a été la phase de dépôt initiale. Au cours de la diagenèse, il a été pseudomorphosé par de la calcite ou s'est transformé en anhydrite, elle-même ultérieurement pseudomorphosée par de la calcite.

Il faut aussi rappeler l'extrême fréquence de certaines formes cristallines de la silice (sphérolithes de quartzine, lutécite, quartz bipyramidés) dans les formations évaporitiques. Précisément, au sein de la gangue de la minéralisation de Chaudfontaine, la silice occupe une place importante. Elle est exprimée de deux manières :

- sous la forme d'agrégats de microquartz provenant de la recristallisation d'un gel siliceux. Ce type constitue l'essentiel des dépôts siliceux cimentant les sulfures et les sulfates (roches de type silicite : fig. 2.1 à 2.6) ;

- sous la forme de mégaquartz (plusieurs centaines de μm , voire plusieurs mm), généralement subautomorphes et fort semblables aux quartz bipyramidés. Ce type est rare par rapport aux microquartz des silicites.

Ces deux variétés de quartz renferment d'abondantes inclusions micrométriques de carbonates (fig. 2.6). Leurs différences morphologiques semblent bien dues à des variations du degré de sursaturation en silice. En effet, selon Millot (1960) et Arbey (1980), les mégaquartz apparaissent lorsque les solutions sont à peine sursaturées en silice dissoute et pauvres en impuretés ; les microquartz, lorsque les solutions sont impures et très sursaturées.

C'est d'ailleurs à un processus analogue (variation du degré de sursaturation) que Dejonghe (1985) a fait appel pour expliquer les deux populations de cristaux de barite établies sur base de leur différence de taille. Par ailleurs, soulignons le fait que les mégacristaux de barite de Chaudfontaine possèdent beaucoup d'analogies avec les mégacristaux de gypse sélénite des évaporites marines qui ont poussé librement sur l'interface sédiment-saumure (free-growth des auteurs anglo-saxons). Presque toutes les structures sédimentaires géotropes impliquant des mégacristaux de barite et décrites par Dejonghe (1985) à Chaudfontaine l'ont aussi été à propos du gypse des évaporites messiniennes de la Méditerranée (Hardie & Eugster, 1971 ; Rouchy, 1976, 1982 ; Lo Cicero & Catalano, 1976 ; Shearman & Orti, 1976).

Enfin, précisons que la salinité des inclusions fluides de la barite de Chaudfontaine a également été déterminée. Des mesures cryoscopiques ont été réalisées sur des cristaux échantillonnés dans le sondage 134 E 396 à des niveaux stratigraphiques différents. Les prélèvements ont été effectués en 28 points répartis sur une épaisseur stratigraphique de 11 m. Plusieurs échantillons ont été prélevés au même endroit. Le nombre de mesures significatives s'élève à 304. Les résultats sont synthétisés à la figure 3. Elle montre l'évolution des températures de fin de fusion (moyennes arithmétiques) et de la salinité en fonction de la profondeur en sondage. Les salinités évoluent en dents de scie tout en oscillant autour d'une valeur moyenne de 16.5 équiv. NaCl. Si la salinité de l'eau de mer frasnienne était identique à celle de l'eau de mer actuelle, cela correspondrait à une concentration moyenne par évaporation à environ 1/5 du volume initial (Sabouraud-Rosset, 1976, p. 72). La salinité maximale mesurée dans le sondage 134 E 396 se chiffre à 23 % équiv. NaCl. Ces observations révèlent donc que pendant le dépôt de la minéralisation, la salinité s'est maintenue à un niveau relativement élevé sans toutefois atteindre la saturation en NaCl (pas d'inclusions solides de NaCl).

Bref, dans le cas de la minéralisation de Chaudfontaine, la convergence des conclusions tirées à propos des diverses observations qui viennent d'être mentionnées autorise à prétendre que la précipitation de la barite et des sulfures s'est effectuée sous des conditions évaporitiques.

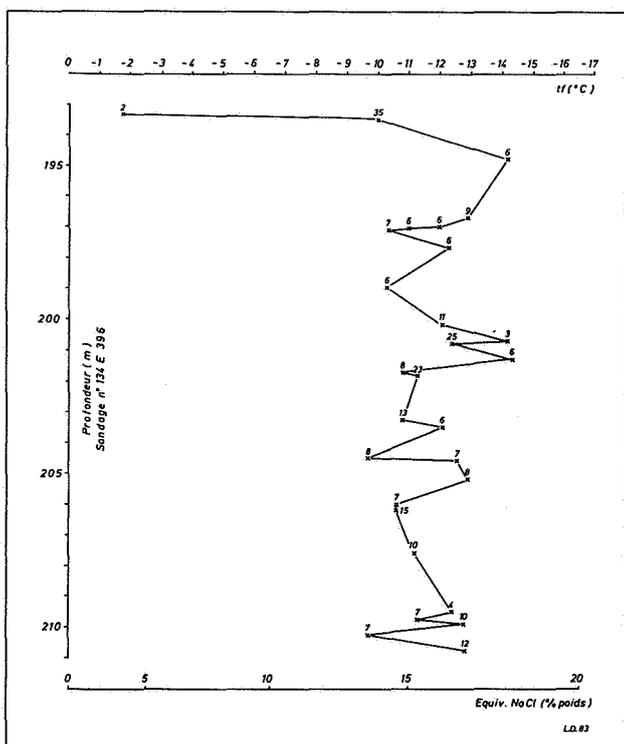


Figure 3. Barite de Chaudfontaine. Sondage 134 E 396. Evolution des températures de fin de fusion (tf) et de la salinité en fonction de la profondeur en sondage. La série étant en position normale, les parties les plus profondes sont les plus anciennes. Le chiffre placé au-dessus de chaque croix correspond au nombre de mesures à partir desquelles la moyenne arithmétique des températures de fin de fusion a été calculée.

IV. Caractérisation du site de dépôt de la minéralisation de Chaudfontaine

La région de Chaudfontaine a joué au Frasnien supérieure le rôle d'un haut-fond mineur situé à proximité d'une île ou d'un haut-fond majeur (ride de Booze-Le Val Dieu) (Dejonghe, 1985 ; Cnudde *et al.*, 1986). Par ailleurs, les différents sondages effectués dans la région de Chaudfontaine ont montré la nature très irrégulière de la topographie du sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea* et la présence de petites cuvettes. Celles-ci ont pu résulter de la croissance différentielle d'organismes récifaux, de leur érosion mécanique ou biologique ou de causes plus complexes (chenaux, tassements, voire effondrements, etc...), comme dans le cas des "blue holes" fréquemment associés aux récifs et dont l'importance métallogénique a été rappelée par Fuchs (1981). Ces cuvettes ont très probablement été amenées temporairement à l'émergence mais sans que cela conduise ni à une lacune de sédimentation appréciable par les stratigraphes, ni à une inconformité, ni à une karstification substantielle.

De toute évidence, on ne peut comparer les cuvettes dont il est question ici aux grandes cuvettes évaporitiques décrites par Busson (1980) : ces dernières apparaissent dans les zones déprimées des plates-formes et non à l'aplomb ou sur le flanc des hauts-fonds. En outre, la pureté des couches de calcite en pseudo-morphose de gypse sélénite est un argument favorable à un dépôt initial correspondant à des évaporites d'eau libre, qui sont généralement d'une rigoureuse propreté, plutôt qu'à des évaporites capillaires, qui sont toujours plus ou moins sales (Perthuisot, 1980, p. 226). Il semblerait donc que, vers la fin du Frasnien, des petites flaques de saumures sulfatées envahissaient les cuvettes qui accidentaient le sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea*. Comme un climat chaud régnait au Frasnien, il n'y avait aucune difficulté à ce que les saumures remplissant ces cuvettes se concentraient par évaporation.

Ces cuvettes constituaient des milieux dans lesquelles les bactéries sulfo-réductrices étaient omniprésentes. En effet, selon Perthuisot (1980, p. 229) : "Les milieux confinés évaporitiques, mais surtout préévaporitiques, sont généralement le siège d'une intense production organique. Celle-ci peut être sporadique quand le milieu est sujet à des variations de salinité importantes et rapides. On assiste à des floraisons spectaculaires, véritables pullulements, souvent monospécifiques, dès que les conditions sont favorables à telle ou telle espèce. La contrepartie en est une mortalité extraordinairement élevée dès que les conditions changent". La production bactérienne d' H_2S dans de tels milieux ne posait donc aucun problème.

L'examen des mécanismes physico-chimiques de précipitation de la minéralisation de Chaudfontaine sort de cette note. Il s'agit d'un thème de recherche ayant fait l'objet de travaux extrêmement poussés notamment, en ce qui concerne les sulfures, de la part de Boulègue *et al.* (1982), Boulègue (1983) et Boulègue & Denis (1983), et en ce qui concerne la barite, de la part de Church & Wogelmuth (1972) et Blount (1977). Ce dernier a d'ailleurs posé le problème de la précipitation de la barite dans les systèmes hydrothermaux sensu lato de la façon suivante : "Barite solubility in H_2O and $NaCl.H_2O$ solutions is quite low. The presence of $MgCl_2$ and $CaCl_2$ (Uchameyshvili *et al.*, 1966) increases barite solubilities, but only to a minor extent. Oxidation and reduction of sulfur species in solution probably have a more important role in the precipitation or dissolution of barite in nature than solubility. Barite solubilities are so low that the transport of large amount of $BaSO_4$ in simple H_2O and $NaCl.H_2O$ solutions seems highly improbable. Therefore, the deposition of barite in nature most likely requires the mixing of two different groundwater solutions. For example a Ba^{2+} solution could encounter a SO_4^{2-} solution or a solution containing both Ba^{2+} and some sulfide ion could encounter oxygen bearing groundwaters than can oxidize sulfide to sulfate" (Blount, 1977, p. 949).

Bref, dans le cas de Chaudfontaine, il est vraisemblable que le gisement s'est individualisé à partir de saumures de natures et d'origines différentes, l'une apportant le S, l'autre les métaux. La précipitation se serait effectuée sous des conditions de pression et de températures normales, à la rencontre des deux fluides, aux endroits où les sulfates étaient réduits par les bactéries. Outre des conditions requises de pH-Eh, le paramètre influençant le plus cette précipitation fut la concentration des saumures. Prenons le cas du Ba. Lorsque, suite à une évaporation importante ou un apport de saumures très concentrées, le degré de sursaturation en Ba s'élevait rapidement et fortement, la germination était abondante et de nombreux petits cristallites de barite précipitaient sur le fond marin, constituant une couche d'ailleurs rapidement recouverte par d'autres couches de sédiments minéralisés ou non. Dans le cas d'une faible évaporation ou suite à un apport permanent de saumures faiblement concentrées, tout le Ba disponible se fixait sur des cristaux de barite préexistants. De cette façon, ce furent des planchers de grands cristaux poussant sur l'interface sédimentaire qui se dévelopèrent. Au sein des boues les plus superficielles, des cristaux non orientés purent également croître à partir des germes et cristallites préalablement déposés si les eaux d'imbibition étaient suffisamment riches en Ba. Bref, dans tous les cas, la barite a précipité dans des eaux fortement oxygénées, libres ou imbibant des sédiments très superficiels. Par contre, les sulfures et parmi eux, surtout la galène, se sont déposés plus particulièrement sous forme de mouchetures disséminées entre les organismes constructeurs des biostromes. Dans ce cas, il s'agissait de saumures imprégnant les vides d'une roche à grande porosité et soumises à des conditions nettement plus réductrices. Le fait que le sondage 134 E 303 était essentiellement sulfuré et le sondage 134 E 396, principalement baryteux, suggère, en effet, la coexistence spatiale de corps baryteux et sulfurés dont l'individualisation a été contrôlée par des conditions d'oxydo-réduction spécifiques. Lorsque les saumures étaient complètement épuisées en métaux et que l'évaporation persistait, on pouvait avoir l'apparition de gypse se transformant ultérieurement en anhydrite et plus tard encore, en calcite.

La précipitation du Ba en milieu évaporitique a été discutée par Fuchs (1980). Il signale p. 439 que les barites évaporitiques sensu stricto, c'est à dire celles provenant exclusivement de l'évaporation de l'eau de mer, semblent bien caractérisées par de fortes teneurs en Sr (de l'ordre de 10 à 15 % SrSO_4). Il fait cependant remarquer que la plupart des grands gîtes stratiformes de barite, pourtant spatialement associés aux évaporites, montrent des teneurs nettement plus faibles (Pessens : de 150 à 1200 ppm Sr ; Meggen : de 3000 à 7900 ppm Sr). C'est également le cas de Chaudfontaine (teneurs en Sr de 9 barites comprises entre 2500 et 8100 ppm, ce qui correspond à des teneurs en SrSO_4 comprises entre 0.52 et 1.68 %).

En conclusion, le piège et les conditions de précipitation de la minéralisation de Chaudfontaine ne relèvent pas de circonstances exceptionnelles. Il y a toutes les raisons de penser que les conditions réunies à Chaudfontaine au sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea* l'ont également été, non seulement à d'autres endroits de la plate-forme continentale entourant le massif de Brabant, mais également, à d'autres périodes, par exemple au sommet du premier et troisième biostromes, voire au sein de la formation de Lustin. D'ailleurs, la présence de nombreuses anomalies géochimiques réparties au sein des formations givetiennes et frasniennes (Dejonghe, 1985) traduisent la permanence des apports métallifères tout au long de ces périodes.

REMERCIEMENTS

Les structures sédimentaires de la minéralisation de Chaudfontaine ont fait l'objet de fructueux échanges de vue avec J.M. Rouchy (Muséum National d'Histoire Naturelle - Paris). En outre, il a mis à disposition de l'auteur une importante documentation relative aux formes de croissance du gypse. Qu'il en soit chaleureusement remercié.

BIBLIOGRAPHIE

- ARBEY, F. (1980) - Les formes de la silice et l'identification des évaporites dans les formations silicifiées. *Bull. Centr. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Pau, 4, 1, 309-365.*
- BLOUNT, C.W. (1977) - Barite solubilities and thermodynamic quantities up to 300°C and 1400 bars. *Amer. Mineral., 62, 942-957.*
- BOULEGUE, J. (1983) - Trace metals (Fe, Cu, Zn, Cd) in anoxic environments. In : *Trace metals in sea water. Edit. Wong, Boyle, Burton & Goldberg. Plenum Publishing Corporation, New York, 563-577.*
- BOULEGUE, J., LORD III, C.J. & CHURCH, T.M. (1982) - Sulfur speciation and associated trace metals (Fe, Cu) in the pore waters of Great Marsh, Delaware. *Geochim. Cosmochim. Acta, Pergamon Press, New York, 46, 453-464.*
- BOULEGUE, J. & DENIS, J. (1983) - Sulfide speciation in upwelling areas. In : *Coastal upwelling. Its sediment record. Edit. Suess & Thiede. Plenum Press, New York, 439-454.*
- BUSSON, G. (1980) - Les grandes cuvettes évaporitiques en milieu détritique : comment elles se creusent, comment elles se remplissent. *Bull. Centr. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Pau, 4, 1, 557-588.*
- CHURCH, T.M. & WOGELMUTH, K. (1972) - Marine barite saturation. *Earth and Planetary Science Letters North-Holland Publish. Comp., Amsterdam, 15, 35-44.*
- CNUDE, C., DEJONGHE, L. & MAMET, B. (1986) - Paléogéographie des formations givetiennes et frasniennes du synclinorium de Verviers. *Prof. Paper, Serv. géol. Belgique, Bruxelles, 225, 1986/2, 45 p.*

- COEN-AUBERT, M. & LACROIX, D. (1979) - Le Frasnien dans la partie orientale du bord Sud du synclinorium de Namur. *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 101*, 269-279.
- DAVIDSON, C.F. (1966) - Some genetic relationships between ore deposits and evaporites. *Trans. Inst. Min. Metall., London, B, 75*, 216-225 et 300-304.
- DEJONGHE, L. (1979) - Discovery of a Sedimentary Ba (Fe, Zn, Pb) Ore Body of Frasnian Age at Chaudfontaine, Province of Liège, Belgium. *Mineral. Deposita, Berlin, 14*, 15-20.
- DEJONGHE, L. (1985) - Contribution à l'étude métallogénique du synclinorium de Verviers (Belgique). Thèse de doctorat d'état ès sciences naturelles. Univeristé Pierre et Marie Curie, Paris 6. *Mém. Sc. Terre Univ. Curie, Paris, 85-23*, 389 p.
- DEJONGHE, L. (coll. WAUTIER, J. & MARTIN, H.) (1978) - Occurrence de bravoïte dans la paragenèse Ba, Fe, S, (Zn, Pb) du gîte de Chaudfontaine (Province de Liège). *Bull. Soc. belge Géologie, Bruxelles, 87*, 73-85.
- DEJONGHE, L., GUILHAUMOU, N. & TOURAY, J.C. (1982a) - Les inclusions fluides de la barite du gisement sédimentaire de Chaudfontaine (Province de Liège, Belgique). *Bull. Soc. belge Géol., Bruxelles, 91*, 79-89.
- DEJONGHE, L., RYE, R.O. & CAUET, S. (1982b) - Sulfur Isotopes of Barite and Lead Isotopes of Galena from the Stratiform Deposit in Frasnian Carbonate and Shale Host-Rocks of Chaudfontaine (Province de Liège, Belgium). *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 105*, 97-103.
- DEJONGHE, L. & GRAULICH, J.M. (1982) - Le gîte de barytine de Chaudfontaine. In : *Métallogénie de la Belgique, des Pays-Bas et du Luxembourg. Mémoire explicatif de la carte métallogénique de l'Europe et des pays limitrophes, UNESCO, Sci. Terre, Paris, 17*, 168-169.
- DEJONGHE, L., WAUTIER, J. & LADURON, D. (1985) - Réflectance et composition chimique des bravoïtes du gîte sédimentaire de Chaudfontaine et du gîte filonien de La Rochette (Province de Liège, Belgique). *Bull. Mineral., Paris, 108*, 679-690.
- FUCHS, Y. (1978) - Sur un exemple de relation entre une minéralisation barytique et un milieu à évaporites ; le gîte de Pessens (Aveyron). *Sci. Terre, Nancy, 22, 2*, 127-146.
- FUCHS, Y. (1980) - Sur l'importance des eaux connées pour la formation de certains gisements en milieux évaporitiques. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod., Elf-Aquitaine, Pau, 4, 1*, 433-443.
- FUCHS, Y. (1981) - Les minéralisations des milieux carbonatés de la plateforme épicontinentale. *Mem. Soc. Geol. It., 22*, 35-51.
- GRAULICH, J.M. (1967) - Sondages pour l'étude hydrologique des eaux chaudes à Chaudfontaine. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique, Bruxelles, 1967/11*, 20 p.
- GRAULICH, J.M. (1977) - Le sondage de Soumagne. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique, Bruxelles, 139, 1977/2*, 55 p.
- GRAULICH, J.M., & VANDENVEN, G. (coll. COEN-AUBERT, M., BOUCKAERT, J., DEJONGHE, L. & DUSAR, M.) (1978) - Nouveaux sondages pour l'étude hydrologique des eaux chaudes à Chaudfontaine. *Prof. Paper, Serv. géol. Belgique, Bruxelles, 152, 1978/4*, 70 p.
- GRAULICH, J.M., DEJONGHE, L. & CNUDE, C. (1984) - La définition du synclinorium de Verviers. *Bull. Soc. belge Géol., Bruxelles, 93*, 79-82.
- HARDIE, L.A. & EUGSTER, H.P. (1971) - The depositional environment of marine evaporites : a case for shallow clastic accumulations. *Sedimentology, 16*, 187-220.
- LAGNY, P. (1980) - Les gisements stratiformes associés aux évaporites : position dans le temps et place dans l'espace des bassins sédimentaires évaporitiques. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Pau, 4, 1*, 445-478.
- LO CICERO, G. & CATALANO, R. (1976) - Facies and petrography of some messinian evaporites of the Ciminna basin (Sicily). *Mem. Soc. Geol. It., 16*, 63-81.
- MACQUAR, J.C. (1978) - Les concentrations barytiques stratiformes de l'Hettangien supérieur des Causses. Une minéralisation en milieu margino-littoral dans un environnement évaporitique. *Sci. Terre, Nancy, XXII*, 113-126.
- MILLOT, G. (1960) - Silice, silex, silicifications et croissances des cristaux. *Bull. Serv. Carte géol. Alsace Lorraine, 4, 13*, 129-146.
- PERTHUISOT, J.P. (1980) - Site et processus de la formations d'évaporites dans la nature actuelle. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Pau, 4*, 207-233.
- ROUCHY, J.M. (1976) - Sur la genèse de deux principaux types de gypse (finement lité et en chevrons) du Miocène terminal de Sicile et d'Espagne méridionale. *Rev. Géogr. phy. Géol. dyn., Paris, XVII*, 347-364.
- ROUCHY, J.M. (1982) - La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mém. Mus. nat., Paris, C, L*, 267 p.
- SABOURAUD-ROSSET, C. (1976) - Inclusions solides et liquides dans le gypse. *Trav. lab. géol. Ecole normale supérieure, Paris, 10*, 119 p.
- SAMAMA, J.C., MIGUEL de SA, L. & REY, M. (1978) - Les minéralisations plombo-zincifères du Trias ardéchois en tant que pré-évaporites. *Sci. Terre, Nancy, 22*, 167-175.
- SHEARMAN, D.J. & ORTI CABO, F. (1976) - Upper Miocene gypsum : San Miguel De Salinas, S.E. Spain. *Mem. Soc. Geol. It., 16*, 327-339.