

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. 111-127 blz. 111-127	Bruxelles 1986 Brussel 1986
--	----------------	----------------------------	-----------------------------	--------------------------------

SEDIMENTOLOGIE DES FORMATIONS ANHYDRITIKES GIVETIENNES ET DINANTIENNES DU SEGMENT VARISQUE FRANCO-BELGE

par J. M. ROUCHY (*)

RESUME. - Parmi les nombreuses intercalations évaporitiques présentes dans la série dévono-dinantienne du domaine varisque franco-belge, les épisodes givétiens (Tournai, Leuze et Annapes 1) et viséens (Saint-Chislain et Epinoy 1) possèdent une épaisseur relativement importante, de 100 à 350 mètres pour les premiers et de 765 à 900 mètres pour les seconds. L'extension géographique des milieux évaporitiques viséens est attestée, en plus des séries épaisses, par l'abondance des pseudomorphoses de minéraux évaporitiques rencontrés à l'affleurement et par les brèches qui leur sont parfois associées et représentent, en partie du moins, le résultat de phénomènes de dissolution d'évaporites. Une étude sédimentologique détaillée de ces épisodes évaporitiques épais et de leurs équivalents a permis de préciser les environnements de dépôt, de reconstruire les étapes d'une diagenèse polyphasée et de mettre en évidence l'importance de la déformation tectonique et/ou halocinétique.

Les évaporites givétiennes, formées dans des environnements littoraux peu profonds, soumis à des épisodes émergifs, comportent l'alternance de phases de diagenèse précoce subaérienne, de dépôt sous-aquatique et de remaniement. Au Viséen, les dépôts sous-aquatiques ont pu occuper une place plus importante dans des milieux évaporitiques plus étendus et couvrant une grande partie des diverses unités structurales qui forment actuellement le domaine.

La diagenèse comporte de nombreux stades : transformation gypse-anhydrite au cours de l'enfouissement; silicification et développement de la célestite; remplacement anhydritique des carbonates (porphyroblastes, dominos, veinules, etc...); remplacement carbonaté de sulfates (réduction sulfato-bactérienne, dissolution-recristallisation liée à l'enfouissement ou dans les conditions de surface); albite en grande partie au cours de l'enfouissement. La formation de soufre natif et le développement de la fluorine apparaissent plus spécifiquement dans les assises viséennes.

D'intenses déformations tectoniques et/ou halocinétiques affectent les anhydrites viséennes de Saint-Chislain et surtout d'Epinoy 1 et se traduisent par l'acquisition de structures telles que : étirements, laminations (schistosité), faciès ocellés, microplissements, mylonitisation; leur importance est à mettre en relation avec l'implication de ces évaporites dans la tectonique hercynienne et explique, avec le jeu des dissolutions et des variations paléogéographiques initiales, la discontinuité actuelle de ces évaporites.

(*) GRECO 52, Laboratoire de Géologie, Museum National d'Histoire Naturelle, 43, rue Buffon, 75005 Paris.

ABSTRACT. - Among several evaporitic levels present in the Devono-Dinantian series (Givetian, Frasnian, Famennian, Dinantian) of the franco-belgian part of the variscan orogene, the thickest evaporites are in the Givetian (Tournai, Vieux-Leuze and Annapes 1 boreholes) and Visean (Saint-Ghislain and Epinoy 1 boreholes). In addition to this local thick deposits, the large extension of the visean evaporitic environments is proved by abundant relics of evaporites in outcrops of all the structural units (Boulonnais, Namur basin, Dinant nappe, etc...) and by the collapse solution breccias. A detailed sedimentological study of the thick evaporitic bodies and of their equivalents allows to precise the environmental conditions, the successive stages of the diagenesis and the importance of the tectonic and or the halokinetic deformation effects.

The Givetian evaporites, deposited in the littoral and shallow environments with episodic emersions show subaerial early diagenetic nodules of anhydrite, subaquatic crystallisations (probably gypsum) and clastic reworking (clastic sulfates). In the Visean, subaqueous deposits were probably dominant in more widely evaporitic environments.

Different stages of diagenesis can be observed : gypsum - anhydrite replacement during burial; silicifications and celestite development (early diagenesis); anhydritic replacement of carbonates (porphyroblasts, "dominos"-like crystals, veinlets) and voids filling; carbonate replacement after sulfates (gypsum, anhydrite or celestite) : bacterial sulfate reduction in presence of organic-rich sediments; sulfate dissolution and recrystallisation of carbonates during the burial or in the surface conditions; albite growth during the burial. The formation of native sulphur and fluorine appears as a specific aspect of the Visean evaporites,

Tectonic and associated halokinetic deformations are very important in the Visean anhydritic formation of Saint-Ghislain and Epinoy 1, and are characterized by different structures as tectonic lamination (schistosity); microfolding, augen structure, mylonitization, etc... . Morphologically, some of them are like metamorphic structures; their importance shows the implication of the Visean evaporites in the hercynian tangential movements (ROUCHY *et al.*, this volume).

INTRODUCTION.

Bien que la présence d'évaporites ait été observée à de nombreux niveaux stratigraphiques dans le Paléozoïque du domaine varisque d'Europe nord-occidentale, des formations anhydritiques épaisses sont connues seulement dans le Givétien et le Dinantien (fig. 1). Les premières ont été traversées sur une hauteur comprise entre 100 et 350 mètres dans trois sondages (Tournai, Vieux-Leuze, Annapes 1) exécutés sur la bordure septentrionale du bassin de Namur, en avant du

front hercynien. Découvertes plus récemment, les séries dinantiennes à anhydrite possèdent une épaisseur plus importante, de l'ordre de 765 m dans le sondage de Saint-Ghislain situé dans le Hainaut belge, en avant du front hercynien et de 900 m dans celui d'Epinoy 1 où les anhydrites ont été rencontrées dans un dispositif structural

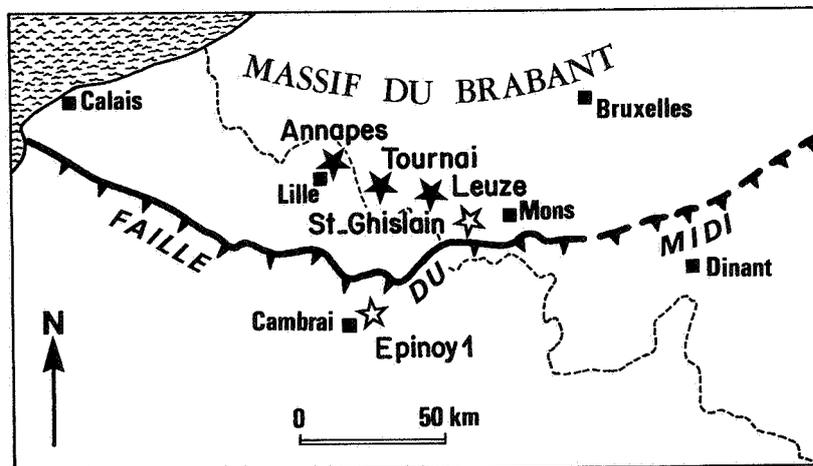


Fig. 1 - Localisation des sondages et des affleurements mentionnés dans le texte.

Localization of the boreholes and outcrops mentioned in the text.

complexe, sous l'accident chevauchant principal de la "Faille du Midi". Malgré le caractère ponctuel de ces découvertes, l'extension géographique importante des dépôts évaporitiques est suggérée par l'abondance des pseudomorphoses d'évaporites ou des brèches de dissolution observées à l'affleurement (ROUCHY *et al.*, 1986).

L'évaluation de leur importance paléogéographique et de leur rôle dans la mise en place du dispositif structural exigeait donc une étude sédimentologique complète des séries évaporitiques épaisses et de certains de leurs équivalents latéraux. Cet article fournit donc un exposé général et synthétique des résultats de cette étude dont les données partielles ou préliminaires ont déjà fait l'objet de plusieurs publications (ROUCHY *et al.*, 1984a; LAUMONDAIS *et al.*, 1984) et de rapports d'études effectuées dans le cadre du Programme Géologie Profonde de la France (ROUCHY *et al.*, 1984b, 1985). Les résultats de l'étude pétrographique sont complétés par les apports d'une étude isotopique des sulfates et des carbonates (PIERRE *et al.*, 1984; PIERRE et ROUCHY, 1986; PIERRE, 1986). Par ailleurs, les anhydrites et les carbonates associés du Givétien font l'objet d'une étude coordonnée et plus complète (PREAT et ROUCHY, 1986); les résultats de ce travail permettent de dégager les caractères des milieux de dépôt, de reconstituer les mécanismes d'une diagenèse polyphasée et d'évaluer les effets de la tectonique hercynienne et ceux des déformations halocinétiques associées.

I. LES EVAPORITES GIVETIENNES.

Les formations anhydritiques épaisses ne sont connues que dans la partie septentrionale du bassin de Namur dans les sondages de Tournai, Vieux-Leuze et Annapes 1 (fig. 1). A Annapes et à Tournai, elles sont intercalées dans les formations d'Alvaux et de Mazy et dans celle d'Alvaux seulement à Vieux-Leuze (COEN-AUBERT *et al.*, 1980). Ces formations sont de nature principalement schisteuse, schisto-gréseuse et carbonatée et la formation d'Alvaux recouvre directement les niveaux détritiques de base qui reposent sur le socle calédonien (fig. 2). La discontinuité régionale des intercalations anhydritiques est attestée par le fait que, malgré la proximité des sondages considérés, les corrélations diagraphiques ne peuvent être réalisées qu'entre des sondages pris deux à deux (CFP, *in* COEN-AUBERT *et al.*, 1980). Des passées anhydritiques d'importance plus limitée rencontrées dans le sondage de Focant (GRAULICH *et al.*, 1967) ont fait l'objet, avec leur encaissant carbonaté, d'une description plus détaillée (PREAT et ROUCHY, 1986).

A. DESCRIPTION SEDIMENTOLOGIQUE.

Outre la calcite, la dolomite et les composants de la fraction terrigène, l'association minérale comporte de l'anhydrite, du quartz authigène et des variétés fibreuses de silice, de la célestite, de l'albite, de la pyrite; la présence de blende figure à plusieurs niveaux dans les descriptions lithologiques

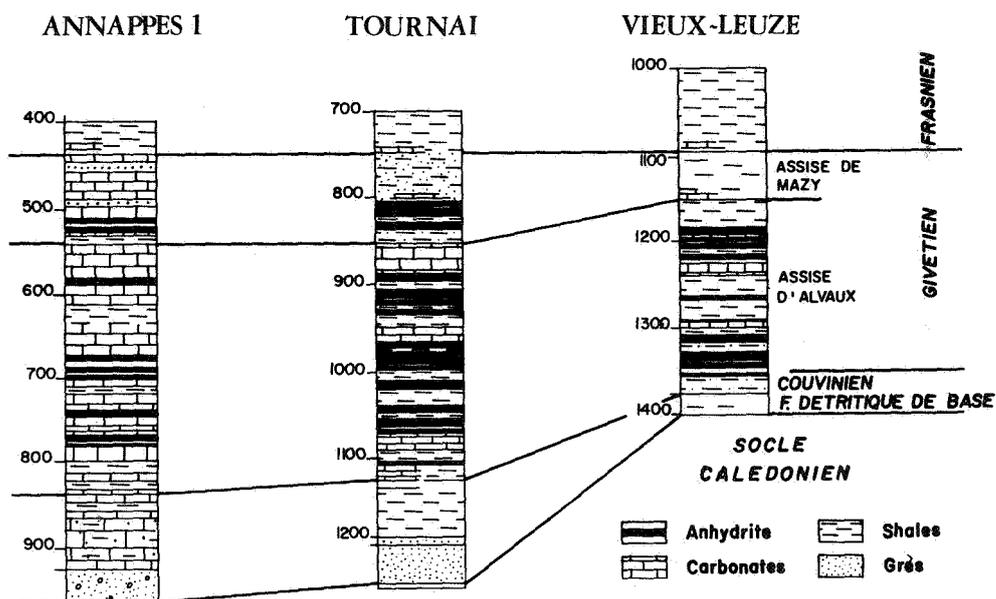


Fig. 2 - Comparaison des formations givétiennes à évaporites des sondages de Tournai, Vieux-Leuze et Annapes (d'après COEN-AUBERT *et al.*, 1980, modifié).

Comparison between Givetian evaporitic formation in Tournai, Vieux-Leuze and Annapes boreholes (modified after COEN-AUBERT *et al.*, 1980).

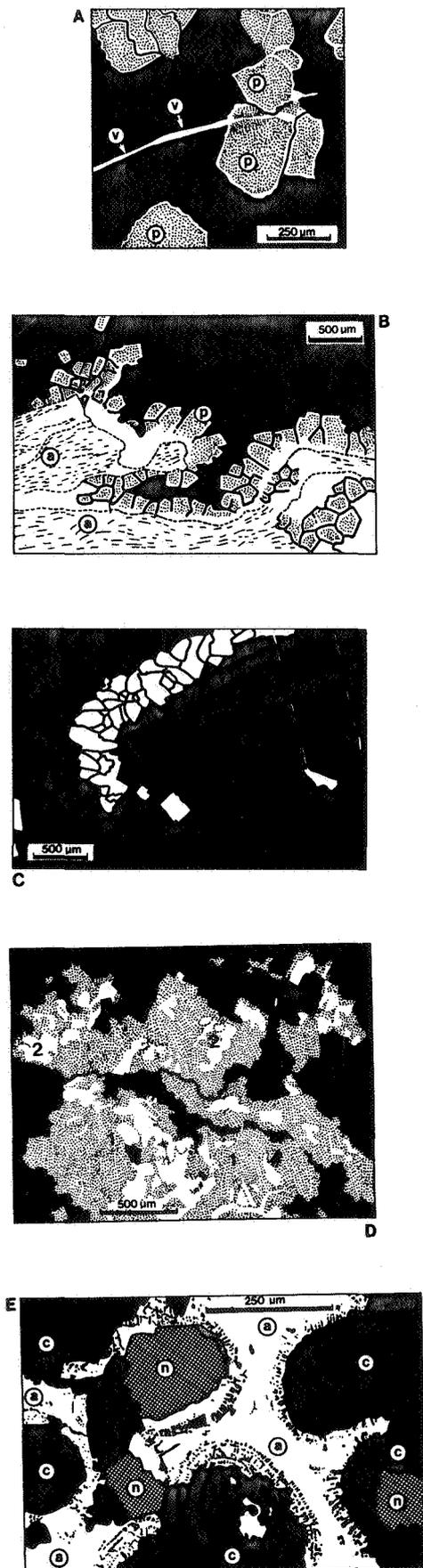


Fig. 3 - L'anhydrite de remplacement de carbonates (dessins d'après micrographies).

- A. Porphyroblastes (p) et veinules associées (v); noter l'abondance de reliques micritiques au sein des porphyroblastes hormis un liseré périphérique limpide et la communauté d'origine des veinules et des porphyroblastes. Viséen; Saint-Ghislain, 2036,90 m.
- B. Développement des porphyroblastes (p) de remplacement de carbonates à partir du bord de "pseudo-nodules" anhydritiques; ces porphyroblastes enveloppent des plages d'anhydrite (a) qui ont subi une réorientation cristalline et sont sécants par rapport à la direction dominante des cristaux attestant ainsi leur postériorité. Viséen; Saint-Ghislain, 2049,55 m.
- C. Amas de porphyroblastes anhydritiques dans la charnière d'un micropli; les veinules associées recoupent le plan axial et les flancs de ce micropli. Viséen; Saint-Ghislain, 2036,90 m.
- D. Anhydrite monocristalline en "domino" recoupant les structures du carbonate-hôte qui apparaissent sous forme de reliques à l'intérieur de l'anhydrite; les chiffres 1 et 2 indiquent qu'il s'agit de deux cristaux d'anhydrite. Givétien; Tournai, 1065 m.
- E. Remplacement partiel d'oolïdes (c) par de l'anhydrite monocristalline (a); des alignements d'impuretés à l'intérieur de l'anhydrite permettent de retracer la structure concentrique et radiaire des oolïthes en voie de remplacement (n - nucleus quartzeux des oolïthes). Givétien; Tournai, 1022 m.

Fig. 3 - The anhydritic replacement of carbonates (drawings from photomicrographs).

- A. Porphyroblastic anhydrite (p) and associated veinlets (v); note the abundance of micritic relics in the crystals excepted in a clear and narrow border and the common origin of the porphyroblasts and of the veinlets. Viséan; Saint-Ghislain borehole, 2,036.90 m.
- B. Growth of porphyroblastic anhydrite from the edge of anhydritic pseudo-nodules (a); these porphyroblasts wrap the reoriented anhydrite masses and cut the main direction of the crystals; the replacement post-dates the deformation of the anhydrite. Viséan; Saint-Ghislain borehole, 2,049.55 m.
- C. Aggregate of porphyroblasts in a microfold bend; the associated veinlets cut the axial plane and the limbs of this microfold. Viséan; Saint-Ghislain borehole, 2,036.90 m.
- D. Large crystals of anhydrite (domino-like) replacing carbonates; the limits of the crystals intersect the components of the carbonate host-sediment the structure of which is materialized by micritic relics in the anhydrite. The numbers 1 and 2, indicate two different crystals of anhydrite. Givetian; Tournai, 1,065 m.
- E. Monocrystalline anhydrite (a) partly replacing oolites (c); their radial and concentric structure appears underlined by calcareous relics in the anhydrite (n = quartz nuclei); the replacement postdates the packing of oolite during compaction. Givetian; Tournai, 1,022 m.

des sondages réalisés par LEGRAND et MORTELMANS (1959-1960) et LEGRAND, MORTELMANS et PIERARD (1960-1961). Par ailleurs, les structures observées se rapportent à différentes phases diagenétiques.

1. LES STRUCTURES PRIMAIRES ET DE DIAGENESE PRECOCE.

L'anhydrite présente deux types principaux de structures : les structures nodulaires et les structures typiques de roches détritiques. Les premières correspondent à des nodules infracentimétriques à décimétriques qui sont soit isolés au sein d'un matériel schisteux ou carbonaté dont elles déforment la lamination, soit regroupés en mosaïque; des aplatissements conformes à la stratification sont dus à la compaction. Le deuxième type correspond à des sédiments de teinte sombre, irrégulièrement lités à laminés et dans lesquels l'anhydrite est intimement associée à des éléments terrigènes; ces sédiments présentent fréquemment des structures telles que : granoclassement, microravinements, microdiscordances, ripple-marks, notamment dans la partie supérieure de la formation (Pl. I, A, B). L'anhydrite, toujours associée à des proportions variables d'éléments détritiques (fragments schisteux, carbonatés, quartz, minéraux micacés, etc...) revêt trois types principaux de microfaciès :

- 1) cristaux prismatiques (50-200 μ) disposés irrégulièrement ou subparallèlement à la stratification et associés à des éléments terrigènes; des figures de granoclassement normal sont fréquemment observées (Pl. I, A);
- 2) des nodules et micronodules sont isolés dans les sédiments anhydritiques décrits précédemment ou bien deviennent coalescents en formant alors des passées massives; certains de ces micronodules sont constitués d'agrégats de cristaux en baguettes qui se prolongent à l'intérieur du sédiment encaissant; leurs contours, très anguleux, indiquent qu'il s'agit de pseudomorphoses de gypse ou du remplacement d'anciens fragments clastiques de nature gypseuse (Pl. I, C); l'association avec de nombreux débris non sulfatés renforce cette interprétation;
- 3) des alternances irrégulières de passées de type 1 et de passées plus ou moins discontinues formées d'agrégats de cristaux trapus, subautomorphes à xénomorphes (30 μ m à 150 μ m environ).

2. LES AUTRES PHASES MINERALES ET L'ANHYDRITE DE REMPLACEMENT TARDIF.

Trois variétés d'anhydrite de remplacement de carbonate sont communes dans les intercalations carbonatées :

- 1) des plages anhydritiques aux contours "en domino" développées dans les calcaires à structure hétérogène remplacent indifféremment la matrice et une partie ou la totalité des allochèmes (pellets, oïdes); la structure

originelle des éléments remplacés peut être révélée par des impuretés au sein même des plages anhydritiques (Fig. 3 E) : le remplacement intervient postérieurement à l'imbrication des oïdes résultant de la compaction;

- 2) des porphyroblastes, cristaux trapus et souvent automorphes (100 μ m à 1 mm), se développant plus spécifiquement dans les carbonates micritiques; ils sont caractérisés par un corps opaque, chargé en impuretés micritiques du sédiment-hôte, entouré d'une auréole péripériphérique étroite et limpide (Fig. 3, A, B);
- 3) des plages microcristallines englobant les composants du sédiment hôte-carbonaté (fig. 3, D).

La célestite est un minéral fréquemment observé dans les passées carbonatées (Tournai, 1089 m; Leuze, 1829 m) sous forme de cristaux (atteignant parfois 1 cm) isolés ou associés en gerbes et souvent partiellement ou totalement remplacés par la calcite microsparitique à sparitique (Fig. 4).

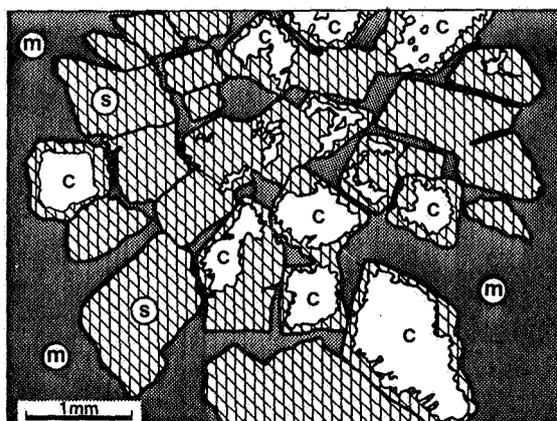


Fig. 4 - Aspect typique des gerbes de cristaux de célestite isolées dans une matrice carbonatée (m); la célestite (c) est presque intégralement remplacée par de la calcite sparitique (s). Givétien; Vieux Leuze, 1089,50 m. Dessin d'après microphotographie.

Typical aspect of the flabellate aggregates of celestite in a calcareous matrix (m); nearly the whole celestite is replaced by microsparite (s); the white areas (e) represent relics of celestite. Givetian; Vieux Leuze borehole, 1,089.50 m. Drawing from photomicrograph.

PLANCHE I

- A. Figures de granoclassement normal dans l'anhydrite laminée; noter l'abondance des apports terrigènes à la base de la microséquence supérieure; Givétien, Tournai 808 m. Microphotographie n° 44.22; L. P. Barre : 500 μ m.

Thin section microphotograph (44.22) of graded bedding in the laminated anhydrite; note the abundant terrigenous components floating in anhydrite at the base of the upper microsequence; Givetian, Tournai borehole, 808 m. Crossed nicols Scale bar is 500 μ m.

- B. Stratifications obliques matérialisées, dans l'anhydrite, par des éléments terrigènes; Givétien, Tournai 808 m. Microphotographie n° 44.3. L. N. Barre : 1 mm.

Thin section photomicrograph (44.23) of oblique laminations underlined by black terrigenous elements disseminated in the anhydrite; Givetian, Tournai borehole, 808 m. Plain light. Scale bar is 1 mm.

- C. Microstructure laminée comportant des lamines anhydritiques pures et des passées grossières à éléments détritiques abondants (2); noter la présence de pseudonodules qui pourraient correspondre à d'anciens cristaux de gypse ou plus vraisemblablement à des clastes gypseux (flèches); Givétien, Tournai 808 m. Microphotographie n° 44.30. Barre : 1 mm.

Thin section microphotograph (44.30) of laminated microstructure made up of anhydritic laminae (1) and coarse layers (2) composed of abundant clastic elements (2). Note the pseudonodules should be former gypsum crystals or gypsum clasts (arrows). Givetian, Tournai, 808 m, Plain light. Scale bar is 1 mm.

- D. Pseudomorphoses de cristaux de célestite en gerbe actuellement composés d'un mélange de calcite, de quartz et d'albite, Tournaisien inférieur, Saint-Ghislain, 4161,10 m; surface polie. Barre : 1 cm.

Flabellate aggregates of celestite crystals pseudomorphosed by calcite, quartz and albite. Lower Tournaisian, Saint-Ghislain borehole, 4,161.10 m; polished section. Scale bar is 1 cm.

- E. Cristaux de fluorine (flèches) disséminés à la périphérie d'un nodule anhydritique. Viséen; Epinoy 1, 3150,62 m. Microphotographie n° 41.21; lumière naturelle. Barre : 250 μ m.

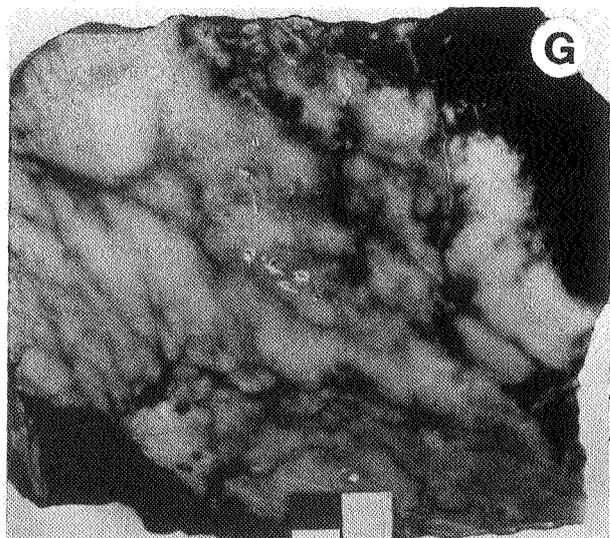
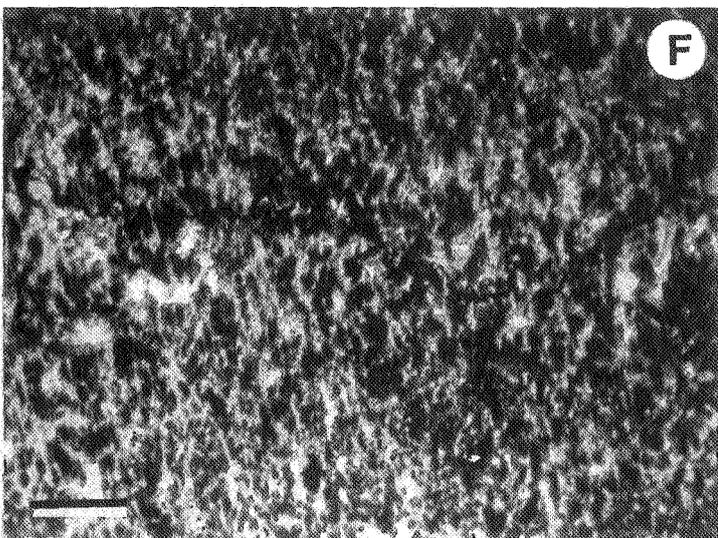
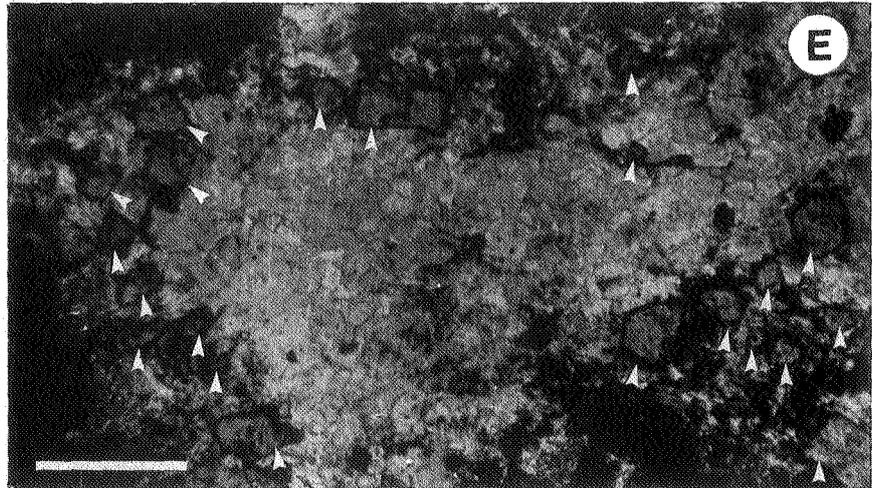
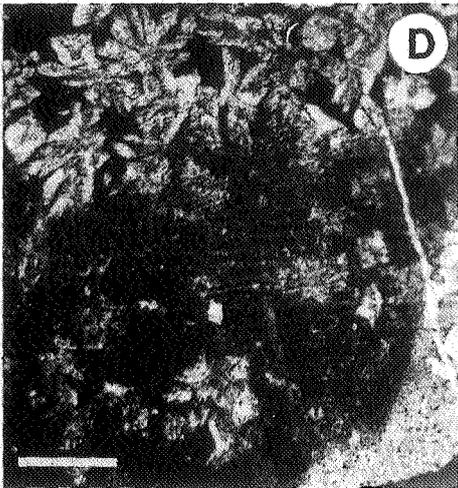
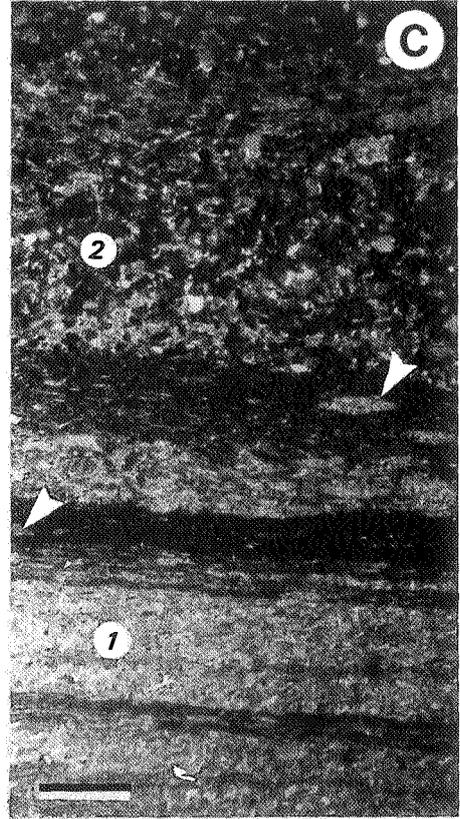
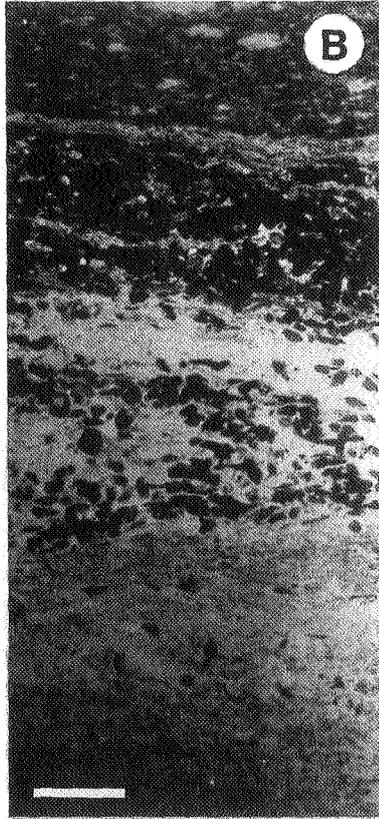
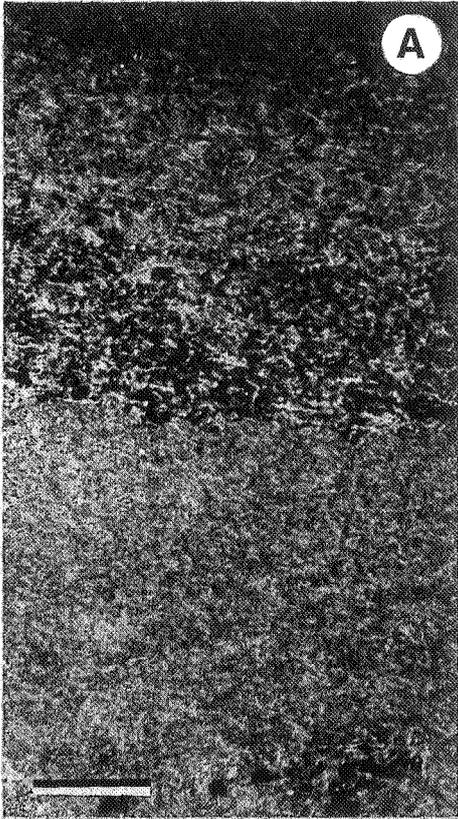
Thin section photomicrograph (41.21) showing fluorine crystals (arrows) disseminated around an anhydritic nodule. Viséan, Epinoy 1 borehole, 3,150.62 m. Plain light. Scale bar is 250 μ m.

- F. Réorientation des péloïdes dans la partie inférieure du sondage d'Epinoy 1. Viséen; Epinoy 1, 2929,20 m. Microphotographie n° 38.6; lumière naturelle. Barre : 1 mm.

Thin section microphotograph (38.6) showing reoriented peloids in the intensely deformed part of the Epinoy 1 borehole. Viséan; Epinoy 1 borehole, 2,929.20 m. Plain light. Scale bar is 1 mm.

- G. Pseudomorphose calcitique d'anhydrite à structure mosaïque; Viséen. Tranchée de la route de Salet près de Dinant (Ech. E. GROESSENS). Section polie. Barre : 2 cm.

Polished section showing calcitic pseudomorph after mosaic (chicken wire) anhydrite. Viséan; trench of the Salet road, near Dinant (Sample E. GROESSENS). Scale bar is 2 cm.



3. MILIEUX DE DÉPÔTS.

Les organismes décrits à de nombreux niveaux dans les sédiments non évaporitiques permettent de considérer l'origine marine des saumures à partir desquelles ont cristallisé les évaporites. La reconstitution de l'agencement des différents faciès composant la plate-forme carbonatée givétienne du bassin de Dinant (PREAT, 1985) situe les dépôts anhydritiques du sondage de Focant dans la partie distale de la plate-forme carbonatée, soumise à des émerSIONS périodiques (PREAT et ROUCHY, 1986). Dans la partie NE du bassin de Namur qui fait l'objet de cette étude, les caractères sédimentologiques et micropaléontologiques indiquent également des milieux marins peu profonds formés, pour la formation de Mazy en particulier, à la "limite des milieux continentaux et marins ..." (COEN-AUBERT *et al.*, 1980, p. 261).

La formation des faciès nodulaires, micronodulaires ainsi que les passées à structure granulaire qui déforment l'encaissant résultent de phénomènes de croissance cristalline interstitielle à l'intérieur d'un sédiment-hôte de nature carbonatée, pélitique, ou arénitique et parfois sulfatée. On peut admettre, compte tenu du contexte sédimentaire de bordure précédemment mentionné, qu'ils sont liés à des phénomènes d'évaporation capillaire au cours de phases d'émerSION.

Le deuxième groupe de faciès présente des structures et des microstructures caractéristiques d'un sédiment détritique. Le remaniement d'anhydrite étant peu probable, il faut admettre que les éléments sulfatés correspondent à d'anciens clastes gypseux transformés en anhydrite au cours de la diagenèse d'enfouissement comme le suggèrent d'ailleurs les contours anguleux de certains pseudonodules; de tels sédiments gypsarénitiques ou gypsurénitiques sont communs dans certaines séries évaporitiques, comme par exemple le Messinien de Méditerranée (SCHREIBER, 1978; VAI et RICCI-LUCCHI, 1978; ROUCHY, 1982, etc...).

L'observation des sédiments anhydritiques indique donc un milieu marginal de faible profondeur soumis à des épisodes émerSIONS et dans lequel alternent les phases de diagenèse précoce dans la tranche superficielle des sédiments émergés (anhydrite et/ou gypse) et les dépôts sous tranche d'eau de couches gypseuses soumises épisodiquement à des remaniements.

Aux phénomènes de diagenèse précoce, succèdent et se superposent diverses transformations plus tardives :

1. transformation gypse → anhydrite au cours de l'enfouissement attestée, à de nombreux niveaux, par des vestiges plus ou moins bien préservés de cristaux de gypse à section lenticulaire ou losangique.
2. développement d'anhydrite de remplacement de carbonates (plages en domino, porphyroblastes, veinules ...) ou de remplissage; nous avons pu montrer, par l'étude des anhydrites viséennes de Saint-Ghislain (ROUCHY *et al.*, 1984a,b),

que ces variétés d'anhydrite résulteraient de phénomènes tardifs, probablement en relation avec des circulations de fluides intervenant pendant la déformation tardive de la série; dans le cas du Givétien, leur développement est au moins postérieur à la compaction.

3. les remplacements carbonatés de sulfates, gypse et surtout célestite (fig. 4), bien que difficiles à préciser, pourraient également résulter de phénomènes relativement tardifs (voir ci-dessous).

Contrairement aux formations anhydritiques viséennes (§ II), la déformation post-sédimentaire relativement faible, dans ces sondages, est due à leur position dans la partie septentrionale du bassin de Namur, peu affectée par la tectonique hercynienne; les déformations épisodiquement observées résultent du jeu de petits accidents locaux ou simplement de phénomènes de fluage affectant, au cours de l'enfouissement, les passées sulfatées les plus épaisses.

Insistons déjà sur le fait que ces dépôts anhydritiques pourraient ne représenter que l'expression marginale d'une formation dont l'épaisseur augmenterait vers le centre de la dépression du Hainaut, hypothèse dont la vérification constituait l'un des objectifs du sondage de Saint-Ghislain; l'épaississement considérable de la série dévonodinantienne à ce niveau indiquant une zone subsidente renforce cette hypothèse.

II. LES SÉRIES ANHYDRITQUES DINANTIENNES DE SAINT-GHISLAIN ET D'EPINOUY 1.

Dans ces deux sondages, la formation anhydritique se distingue de celle du Givétien par une épaisseur supérieure (765 m et 904 m) et le caractère massif de certaines intercalations anhydritiques (fig. 5); l'association minérale observée comporte : calcite, dolomite, anhydrite (traces de gypse), quartz et variétés fibreuses de silice, célestite, albite, fluorine, soufre natif ... Une diagenèse polyphasée conduit, comme dans le Givétien, à des remplacements sulfates-carbonates mais le trait dominant de ces séries réside dans l'importance de la déformation tectonique et/ou halocinétique des anhydrites.

SAINT-GHISLAIN

EPINOY 1

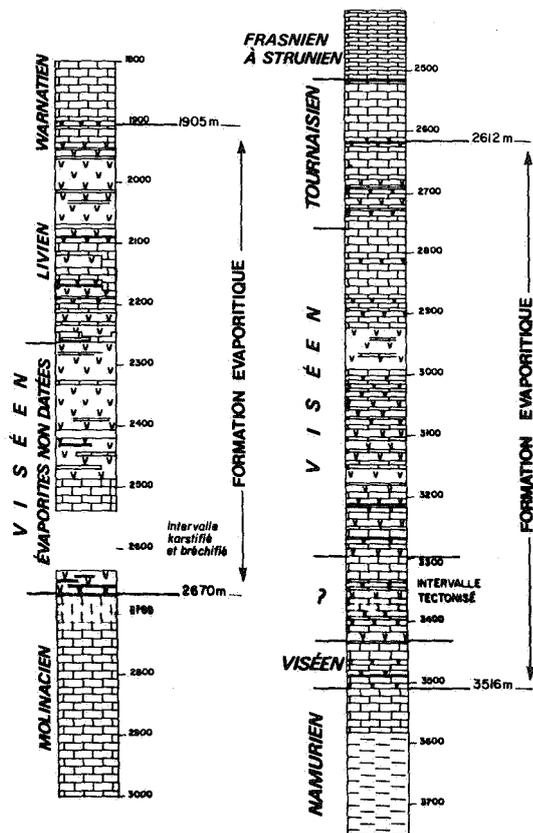


Fig. 5 - Les formations évaporitiques viséennes de Saint-Ghislain et d'Epinoy 1; rappelons que la formation d'Epinoy 1 est disposée en série inverse et comporte, entre 3300 et 3430 m, une zone fortement déformée correspondant à l'intersection de plans d'écaillages locaux.

Visean evaporitic formations of Saint-Ghislain and Epinoy 1 boreholes; note the reversed position of the Epinoy 1 serie and the association with an intensely deformed interval, corresponding to the intersection of thrust slices between 3,300 m and 3,400 m.

A. SIGNIFICATION DES STRUCTURES DU GYPSE ET DE L'ANHYDRITE.

Comme dans toutes les formations profondément enfouies, l'anhydrite est le composant dominant et présente, dans les niveaux indemnes de déformation tectonique, les variétés nodulaire et mosaïque (GROESSENS *et al.*, 1979; ROUCHY *et al.*, 1984a). La déformation du sédiment carbonaté encaissant semblerait indiquer une croissance diagénétique précoce de nodules anhydritiques; toutefois, de nombreux nodules présentent encore des contours anguleux (Saint-Ghislain, 1932 m, ...; Epinoy 1, 3135,10 m) suggérant que le gypse a pu être un composant originel important avant sa transformation en anhydrite au cours de l'enfouissement;

on sait en effet que lorsque la transformation affecte d'épaisses masses cristallines de gypse, les contours cristallins originels sont oblitérés et disparaissent au profit de formes nodulaires (ROUCHY, 1976; LOUCKS et LONGMAN, 1982). Généralement les morphologies cristallines originelles ne sont préservées que dans le cas de cristaux isolés dans une matrice carbonatée ou autre et, de ce fait, protégées à l'état de moules; dans les deux sondages, on peut observer, à de nombreux niveaux, des gypses lenticulaires parfois abondants (Saint-Ghislain, 1932 m) ou des lits de cristaux de gypse orientés verticalement (Saint-Ghislain, 2108 m; Epinoy 1, 3135,10 m); l'ensemble de ces observations prouve que le gypse a été un composant majeur de ces séries. L'identification de traces de gypse (par diffraction X) à des profondeurs inhabituelles pour ce minéral dans le sondage d'Epinoy 1 (BOUQUILLON, 1984; COUILLOU *in* ROUCHY *et al.*, 1984a) est encore d'interprétation malaisée; elle pourrait être liée au fait qu'une faible proportion des eaux de déshydratation ne serait pas expulsée (SCHREIBER, comm. orale).

Les deux types de gypse précédemment mentionnés résultent de mécanismes de cristallisation différents: les cristaux lenticulaires se forment par croissance diagénétique précoce à l'intérieur d'un sédiment préexistant (probablement stromatolithique dans le niveau 1932 m de Saint-Ghislain) en relation avec une concentration capillaire des saumures au cours de brefs épisodes émergifs ou bien sous contrôle biologique (PERTHUISOT et JAUZEIN, 1978). Au contraire, les gazons sélénitiques sont le produit d'une croissance cristalline libre à l'interface sédiment-saumure.

B. LES AUTRES PHASES MINÉRALES DE DIAGÈNESE PRÉCOCE.

1) Les silicifications.

Les silicifications sous forme de quartz automorphes isolés (quelques centaines de μm à 1 mm) ou d'agrégats polygéniques (plusieurs cms) composés de quartz (pyramidés, pétaloïdes, etc...) et de variétés fibreuses (quartzine, lutécite) se développent principalement dans l'anhydrite et accessoirement, pour ce qui est des quartz automorphes, dans les calcaires associés (aux dépens de tests d'organismes); dans tous les cas, d'abondants vestiges du sédiment-hôte sont préservés à l'intérieur de masses siliceuses. Certaines mosaïques de quartz remplacent des cristaux de gypse (chevrons et fers de lance (Pl. II, A), dont elles préservent les morphologies cristallines originelles (Epinoy 1, 3135,10 m).

Certaines observations permettent de reconstituer l'ordre chronologique des remplacements; ainsi, des quartz isolés dans une matrice anhydritique qui a subi une déformation et une réorientation cristalline (lamination) ont préservé des reliques anhydritiques disposées en feutrage caractéristique d'une structure précoce; leur développement est donc antérieur à la déformation. Dans les anhydrites d'Epinoy 1, les agrégats quartzocalcédonieux sont souvent disloqués, émiettés et entraînés lors du fluage de

l'anhydrite; des sigmoïdes de recristallisation calcitique témoignent de la rotation du cristal au cours du fluage (ROUCHY *et al.*, 1984a, Pl. IV, C). La croissance des minéraux siliceux précède donc la déformation tectonique de l'encaissant anhydritique et probablement même une phase de compaction avancée. Nous ne reviendrons pas sur les nombreuses études consacrées aux silicifications en milieu sulfaté qui vont toutes dans le sens d'une diagenèse relativement précoce et qui ont été exposées dans un précédent article (ROUCHY *et al.*, 1984a).

2) La célestite.

Dans les deux sondages étudiés, la célestite apparaît fréquemment dans les intercalations carbonatées (à péloïdes, lumachelliques, etc...) et quelquefois dans l'anhydrite massive; diverses formes sont observées : cristaux automorphes à subautomorphes (100 μm à plusieurs mm); agrégats étoilés de cristaux lenticulaires; mosaïque de cristaux xénomorphes et agrégats très finement cristallins constituant parfois des passées massives dont il convient de tenir compte pour l'interprétation des valeurs de densité anormalement élevées obtenues parfois sur diagraphies (ROUCHY *et al.*, 1984b; LAUMONDAIS *et al.*, 1984). L'antériorité de la formation de la célestite par rapport aux déformations tectoniques est attestée par la fragmentation des cristaux, le microplissement des passées massives et le développement local de macles polysynthétiques probablement liées à une déformation cristalline.

Plusieurs mécanismes sont généralement avancés pour expliquer la formation de la célestite dans les séries évaporitiques : réutilisation du strontium libéré lors de la conversion aragonite - calcite ou de la transformation gypse - anhydrite (Sr en remplacement diadoque de Ca dans le réseau cristallin du gypse); précipitation directe du sulfate de strontium résultant de la concentration des saumures évaporitiques). La localisation préférentielle de la célestite dans les intercalations calcaires militerait en faveur de la première hypothèse sans que l'on puisse exclure les deux autres, susceptibles de mieux expliquer l'abondance locale de ce minéral.

3) La fluorine.

La fluorine, présente à plusieurs niveaux dans le sondage de Saint-Ghislain (ROUCHY *et al.*, 1984) ainsi que dans les affleurements, devient un minéral relativement commun dans les carottes du sondage d'Épinoy (Pl. I, E); les cristaux (80 à 400 μm en moyenne et exceptionnellement jusqu'à 800 μm), automorphes ou aux contours d'aspect corrodé - attestant leur précocité - apparaissent dans les intercalations carbonatées et dans l'anhydrite massive; dans ce dernier cas, ils sont associés aux agrégats siliceux et entraînés par le fluage de l'anhydrite. Comme la célestite, la fluorine peut être considérée comme un minéral de diagenèse précoce.

La présence de fluorine dans les sédiments évaporitiques subactuels ou anciens (SURDAM et EUGSTER, 1976; SONNENFELD, 1984; ROUCHY *et al.*, 1984;

COOK *et al.*, 1985) a été fréquemment mentionnée, mais son interprétation demeure encore ambiguë; même si, dans certains sites, une contribution d'origine volcanique est admise, on peut considérer, dans le cas du Viséen, que la croissance diagenétique de la fluorine met en jeu uniquement des saumures évaporitiques enrichies en fluor.

C. LES EXPRESSIONS DIAGENÉTIQUES TARDIVES.

1) Le développement de l'albite.

Des baguettes automorphes d'albite (monocristaux, macles polysynthétiques, macle en sablier) dont la longueur n'excède pas 200 μm apparaissent souvent dispersées dans les calcaires au contact des joints stylolithiques (qui limitent souvent la base des cristaux) ou bien à leur proximité, attestant ainsi le caractère tardif de cette authigenèse liée aux conditions d'enfouissement.

2) Les remplacements carbonates \rightleftharpoons sulfates.

Les variétés d'anhydrite de remplacement de carbonates (plages en domino, porphyroblastes, veinules, anhydrite monocristalline, ...), déjà décrites dans un article récent (ROUCHY *et al.*, 1984a) et dans la première partie de cet article concernant le Givétien, sont fréquemment observées dans les formations viséennes; leur abondance semble proportionnelle à l'intensité de la déformation tectonique de l'encaissant anhydritico-carbonaté. L'analyse des relations avec les déformations (ROUCHY *et al.*, 1984a) montre le caractère tardif de la cristallisation de ces anhydrites qui est contemporaine de la déformation tectonique ou immédiatement postérieure (Fig. 3, C).

3) Les remplacements sulfate/ carbonate.

Les remplacements par la calcite et la dolomite affectent le gypse, l'anhydrite et accessoirement la célestite; le plus souvent, le remplacement, assuré par de la calcite sparitique, s'opère aux dépens d'anciens cristaux de gypse ou de célestite isolés dans une matrice carbonatée de teinte sombre; parfois, la calcite renferme des vestiges anhydritiques (Saint-Ghislain, 2057,43 m); leur présence situerait la substitution postérieurement à la phase de transformation gypse - anhydrite. Dans le Tournaisien de Saint-Ghislain (4161,10 m), des agrégats de cristaux automorphes de célestite (Pl. I, D) sont remplacés par un mélange de calcite microsparitique, de dolomite, de plagioclases et de quartz. Rappelons également qu'à la profondeur de 4380 m dans le sondage de Saint-Ghislain, d'anciennes passées d'anhydrite mosaïque d'épaisseur métrique sont remplacées intégralement par la calcite.

Dans l'intervalle 1930-1932 m du sondage de Saint-Ghislain, les remplacements calcitiques de gypse s'opèrent à l'intérieur de sédiments laminés (laminites algaires ou mécaniques), sombres et probablement riches en matière organique;

sur la base des observations sédimentologiques et des données isotopiques, l'hypothèse d'un contrôle par des mécanismes de réduction bactérienne des sulfates peut être retenue pour ce type de remplacement (ROUCHY *et al.*, 1984a; PIERRE *et al.*, 1984). Toutefois, des échantillons prélevés à d'autres niveaux et à l'affleurement ont fait l'objet d'analyses isotopiques du carbone et de l'hydrogène qui montrent la complexité des mécanismes diagénétiques qui contrôlent le remplacement; celui-ci peut être en relation avec une diagénèse précoce ou tardive en aquifère continental ou avec une diagénèse d'enfouissement (PIERRE, 1986); la présence d'albite, généralement de diagénèse tardive dans la phase de remplacement des célestites tournaisiennes de Saint-Ghislain serait en faveur d'une diagénèse d'enfouissement.

4) Le soufre natif.

Episodiquement observé dans le sondage de Saint-Ghislain (ROUCHY *et al.*, 1984a), le soufre natif devient un minéral commun dans les carottes du sondage d'Epinoy 1 (ROUCHY, 1984). Il forme généralement des plages irrégulières, millimétriques à pluricentimétriques, localisées au coeur du remplissage calcitique de diaclases ou de fractures (fractures de tension, boudinage) dans les carbonates; accessoirement, il est rencontré dans l'anhydrite fortement disloquée.

Comme dans de nombreuses autres formations évaporitiques, il semble bien que la formation du soufre natif des sondages de Saint-Ghislain et d'Epinoy 1 puisse être expliquée par des phénomènes de réduction de sulfates en présence de matière organique; la composition isotopique du carbone des calcites associées de certains échantillons de Saint-Ghislain et d'Epinoy (PIERRE, 1986) montre néanmoins l'indépendance génétique probable de la calcite composant le remplissage des fissures et du soufre natif. L'étude isotopique du soufre (PIERRE, 1986) indique qu'il résulte d'une réduction bactérienne des sulfates. L'état de fracturation des niveaux riches en soufre, qui sont souvent localisés dans les intervalles les plus déformés, suggérerait que la réduction des sulfates est en relation avec la migration d'hydrocarbures favorisée par la déformation de la série; cette fracturation expliquerait la dissociation des produits formés et notamment la circulation de l' $H_2 S$ qui s'oxyderait en donnant du soufre natif loin du site où s'est produite la réaction.

D. LA DÉFORMATION DE L'ANHYDRITE ET DES CARBONATES ASSOCIÉS.

Le trait majeur des formations évaporitiques viséennes observées dans ces deux sondages est l'importance de la déformation qui affecte les intercalations anhydritiques et parfois les sédiments carbonatés associés; cette déformation, déjà observée dans la partie inférieure du sondage de Saint-Ghislain (GROESSENS *et al.*, 1979; ROUCHY *et al.*, 1984a, b; LAUMONDAIS *et al.*, 1984) s'est avérée plus intense et plus généralisée dans la série d'Epinoy 1.

Comme nous l'avons déjà souligné (ROUCHY *et al.*, 1984a, b), l'irrégularité du style et de l'intensité de la déformation est inhérente à l'hétérogénéité de comportement mécanique d'une alternance de niveaux compétents (calcaires) et ductiles (anhydrite); elle sera directement fonction de l'importance relative des deux composants et proportionnelle à l'épaisseur des niveaux sulfatés; à l'extrême, les sédiments anhydritiques massifs peuvent acquérir des structures évoquant celles que l'on rencontre habituellement dans les roches métamorphiques. Seule la prise en compte de tous les constituants permettra d'appréhender l'importance de la déformation.

L'analyse des structures qui affectent les anhydrites intensément déformées d'Epinoy 1 permet donc de préciser les étapes de la déformation déjà observées dans le sondage de Saint-Ghislain (Fig. 6); par ordre d'intensité croissante :

1. étirement avec rotation des nodules dont l'axe d'allongement forme avec la stratification des carbonates intercalaires, un angle compris entre 10° et 20°; cette déformation est liée au glissement différentiel banc par banc des intercalations anhydritiques, attesté par le rebroussement des couches de part et d'autre du plan de glissement (ROUCHY *et al.*, 1984a, Pl. VI, A). Ce premier stade n'est observable que dans la partie supérieure peu déformée du sondage de Saint-Ghislain (Pl. II, B).
2. acquisition d'une lamination devenant progressivement parallèle à la stratification des carbonates encaissants; cette lamination qui résulte d'un réarrangement cristallin probablement dû à un glissement intergranulaire est assimilable à une schistosité. A ce stade, le sédiment anhydritique qui a subi une réorganisation microstructurale complète et les intercalations carbonatées sont affectés par une déformation dont l'importance est en partie fonction de leur épaisseur. Les lamines carbonatées subissent un étirement, une fragmentation (boudinage) et/ou un microplissement. La rupture des bancs, l'isolement des charnières de microplis confèrent parfois à la roche un faciès oeilé caractéristique. La fragmentation produit l'alignement de petits éléments éparpillés le long des plans de lamination; les agrégats quartzo-calcédonieux sont disloqués et leurs fragments entraînés dans l'anhydrite laminée (Pl. II, C, D, E).

Les niveaux carbonatés épais présentent un réseau dense de fentes à remplissage calcitique, parallèles ou en échelons, correspondant parfois à plusieurs phases dont certaines peuvent être antérieures au fluage de l'anhydrite qui détermine un réseau de fractures plus larges à remplissage calcitique et anhydritique.

3. Microplissement des niveaux laminés : microplis d'entraînement le long de plans de glissement (Pl. II, G);

P L A N C H E II

- A. Calcaires lités à pellets incluant des lits composés de gypse (g) remplacés par du quartz et de la calcédoine; certains cristaux (flèches) présentent des contours cristallins qui évoquent une macle en fer de lance dont la pointe dirigée vers le haut, indiquerait une position inverse. Viséen; Epinoy 1; carotte C5(3), 3134,85-3135,30 m.

Laminated and peloidal limestones with thin vertically standing gypsum crystals layers now composed of quartz and calcedonite; some crystals present a swallow - tail morphology (arrow) with upward head suggesting an inverted position. Visean, Epinoy 1 borehole, core C5(3), 3,134.85-3,135.30 m.

- B. Etirement des nodules anhydritiques obliquement par rapport au litage des calcaires encaissants; les limites supérieure et inférieure du niveau anhydritique correspondent à des plans de glissement banc par banc marqués par le développement d'anhydrite de remplacement tardif de teinte sombre; en l, les micronodules anhydritiques représentent d'anciens cristaux de gypse remplacés par l'anhydrite, puis déformés. Viséen; Saint-Ghislain, 2194,20 m.

Stretching and oblic reorientation of the anhydrite nodules between two undeformed calcareous beds; the boundaries between anhydrite and limestones correspond to gliding planes. Small micronodules (l) should be pseudomorphosed gypsum crystals; the dark areas in limestone are composed of anhydrite replacing carbonates. Visean; Saint-Ghislain borehole, 2,194.20 m.

- C. Microplissement des intercalations carbonatées et fluage de l'anhydrite. Viséen; Epinoy 1, carotte C4(3), 2928,70-2929,05 m.

Microfolding of the calcareous layers and flowage of the anhydrite. Visean; Epinoy 1 borehole, core C4(3), 2,928.70-2,929.05 m.

- D. Microplissement et boudinage des intercalations carbonatées associées au fluage de l'anhydrite. Viséen; Epinoy 1, carotte C5(4), 3135,80-3136,15 m.

Microfolding and microboudinage of the calcareous layers in flowing anhydrite. Visean; Epinoy 1 borehole, C.5.4., 3,135.80-3,136.15 m.

- E. Lamination tectonique de l'anhydrite. Noter la fragmentation des lamines carbonatées (flèches) et l'isolement de charnières de microplis (m) qui confèrent à la roche un aspect ocellé. Viséen; Epinoy 1, carotte C4(4), 2938,90-2939,25 m.

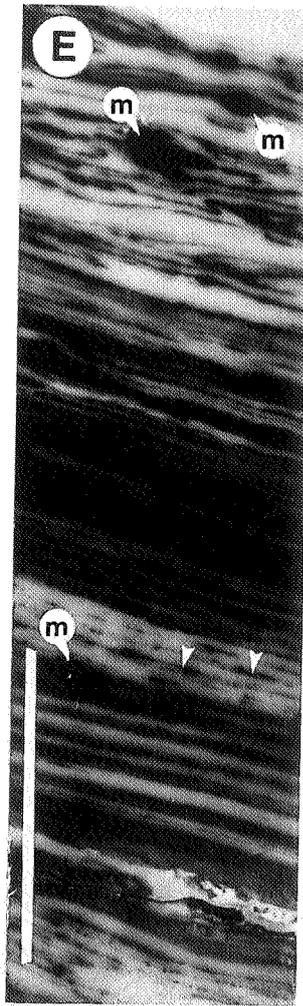
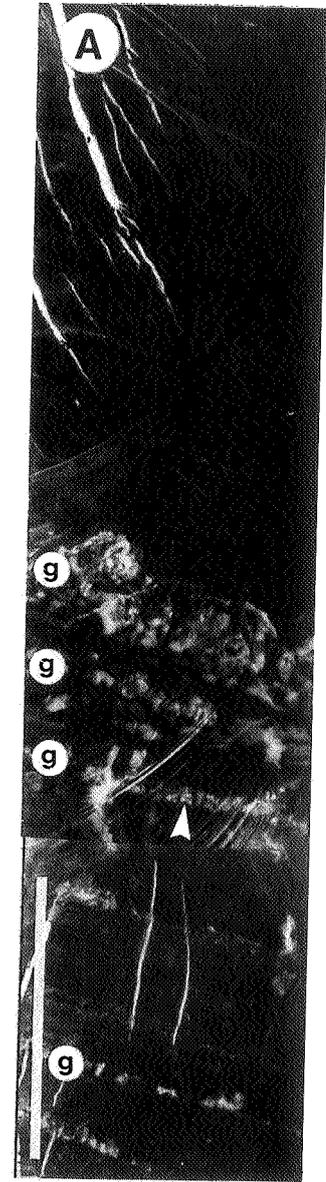
Tectonic lamination of the anhydrite; the fragmented (boudinage) calcareous laminae (arrows) and the isolated bends of microfold (m) give to the sample an augen-like structure. Visean; Epinoy 1 borehole C4(4), 2,938.90-2,939.25 m.

- F. La partie inférieure de la carotte correspond à un fragment carbonaté très fracturé; l'une des fractures possède un remplissage mixte, calcitique et anhydritique qui renferme dans sa partie axiale du soufre natif (s). La partie supérieure est constituée par de l'anhydrite laminée et à faciès ocellé; on notera les figures de bourrage de l'anhydrite dans la partie évidée qui, au sommet des carbonates, correspond à la grande fracture. Certains éléments carbonatés isolés dans l'anhydrite représentent des charnières de microplis (m), d'autres sont de simples fragments résultant du boudinage des passées calcaires fines; ces fragments calcaires contiennent d'abondantes plages d'anhydrite de remplacement. La partie sommitale correspond à des faciès bréchifiés, riches en calcite blanche de recristallisation. Viséen; Epinoy 1, carotte C4(12), 2937,15-2937,42 m.

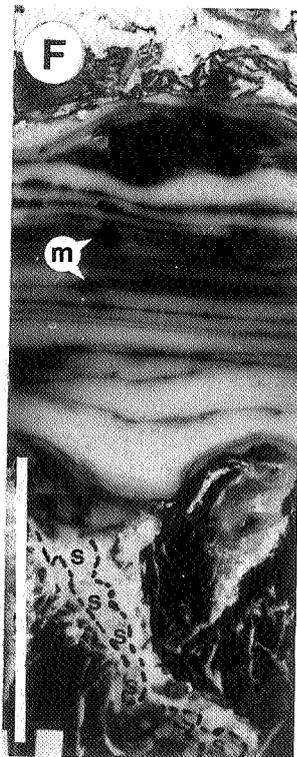
The lower half of the core is an intensely fractured calcareous fragment; the main fracture is filled with calcite and anhydrite and its axial part contains native sulphur (s). In the upper half, the anhydrite presents a tectonic lamination and an augen-like structure; some isolated calcareous fragments represent bends of microfolds (m); others are fragments resulting from the "boudinage" of the intercalated limestones. These fragments contain dark coloured replacement anhydrite. The uppermost part corresponds to a brecciated facies with intense calcitic recrystallisation. Visean; Epinoy 1 borehole, C4(12), 2,937.15-2,937.42 m.

- G. Structure laminée et microplissée : deux types de microplis sont observables : (1) des plis isoclinaux à plan axial parallèle à la lamination dont les charnières sont soulignées par des plages dolomitiques; (2) des plis en chevrons à plan axial faiblement incliné. Viséen; Epinoy 1, carotte C4(5), 2930,70-2931,35 m.

Laminated and microfolding anhydrite. The lamination is deformed by assymetrical chevron folds with slightly inclined axis; isoclinal folds involve a dolomitic layer with axial plane paralalled to the lamination. This fabric implies a complete restructuration of the sediment. Visean; Epinoy 1 borehole, C4(5), 2,930.70-2,931,35 m.



Barre : 10 cm
(Bar)



plis liés à l'entraînement de fragments carbonatés; plis en chevrons; plis isoclinaux affectant les carbonates et dont la lamination est parallèle au plan axial; plis isoclinaux affectant la lamination.

Les intercalations carbonatées épaisses subissent à leur tour une fragmentation et des éléments décimétriques sont alors isolés dans l'anhydrite (Pl. II, F) qui est parfois injectée dans les fractures ouvertes dans ces carbonates. Les composants microscopiques comme les péloïdes (Pl. I, F), les oïdes ou les tests d'organismes présentent des étirements et des réorientations obliques par rapport au litage tandis que des recristallisations de calcite fibreuses se développent fréquemment dans les zones abritées.

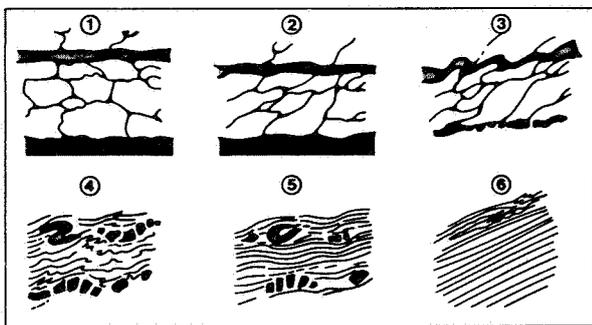


Fig. 6 - Schéma résumant les stades successifs de la déformation des nodules anhydritiques (en grisé : intercalations carbonatées).

1. Etat initial;
2. Étirement rotationnel des nodules;
3. Déformation et boudinage des intercalations carbonatées;
- 4 et 5. Lamination de l'anhydrite, microplissement et boudinage des carbonates conduisant à la formation d'un faciès oillé;
6. Lamination tectonique.

Diagram showing the successive stages of the deformation of the anhydrite nodules (shaded area : intercalated carbonates).

1. Initial state;
2. Rotational stretching of the nodules;
3. Deformation and boudinage of the intercalated carbonates leading to the formation of an augen-structure.
- 4 and 5. Lamination of the anhydrite, microfolding and "boudinage" of the carbonates leading to the augen-like structure.
6. Tectonic lamination.

Notons, à Epinoy 1 notamment, l'importance et le caractère polyphasé de la stylolithisation : stylolithes stratiformes, stylolithes obliques, stylolithes à nics couchés.

Dans la partie inférieure du sondage d'Epinoy 1, la roche acquiert une

structure mylonitique.

Toutes les structures observées dans le sondage d'Epinoy 1 appartiennent aux types 2 et 3.

Rappelons que, considérées isolément, ces structures de signification ubiquiste, peuvent caractériser aussi bien des phénomènes de fluage que des déformations sous contraintes compressives régionales. Plusieurs éléments permettent néanmoins de les rapporter à la tectonique tangentielle hercynienne :

- 1) la régularité du style des déformations qui indiquent toutes des déplacements tangentiels;
- 2) l'augmentation de l'intensité de la déformation vers la base du sondage de Saint-Ghislain;
- 3) l'augmentation de cette déformation parallèlement à la complexité croissante du dispositif structural et de la proximité des grands accidents chevauchants comme à Epinoy 1 où l'ensemble des structures appartient aux types 2 et 3; certaines déformations des carbonates massifs comme l'étirement et la réorientation des composants, la bréchification, ...;
- 4) la position renversée des anhydrites d'Epinoy 1 et leur association dans un système d'écaillage sous l'accident chevauchant principal de la Faille du Midi (LAUMONDAIS *et al.*, 1984).

L'acquisition de ces structures est donc liée aux contraintes compressives hercyniennes qui ont conduit à la mise en place de la nappe de Dinant et des systèmes d'écaillages (lambeaux de poussée) qu'elle a induit à l'avant du chevauchement.

Il est donc impératif, pour l'interprétation géologique, de reconnaître ces structures d'origine tectonique et/ou halocinétique qui miment souvent des structures sédimentaires; c'est notamment le cas des laminations.

D'autre part, la prise en compte de la répartition verticale de la déformation avait déjà conduit à soupçonner l'existence d'une discontinuité mécanique à la base des anhydrites massives de Saint-Ghislain (ROUCHY *et al.*, 1984a; LAUMONDAIS *et al.*, 1984). La découverte des anhydrites d'Epinoy 1 confirme bien l'implication de ces formations dans la genèse du dispositif structural hercynien (ROUCHY *et al.*, 1986).

III. PSEUDOMORPHOSES DE SULFATES DANS LES SEDIMENTS VISEENS A L'AFFLEUREMENT.

Plusieurs types de structures attribuables à du gypse ou de l'anhydrite (ou éventuellement un autre sulfate comme la célestite) remplacés par des carbonates (calcite, dolomite) et/ou des variétés de silice, ont été observés dans toutes les unités structurales du domaine :

Limbourg à l'Est du massif du Brabant (BLESS *et al.*, 1981), dans le bassin de Namur (HANCE et HENNEBERT, 1980; HENNEBERT et HANCE, 1980; POELS et PREAT, 1983; MAMET *et al.*, 1986), dans le bassin de la Vesdre et la nappe de Dinant (BLESS *et al.*, 1980; SWENNEN *et al.*, 1981; JACOBS *et al.*, 1982; SWENNEN et VIAENE, 1986; MAMET *et al.*, 1986; ROUCHY *et al.*, 1986), le Boulonnais (GROESSENS et ROUCHY, observations inédites).

Les plus communes sont les structures nodulaires, mosaïque, voire même entérolithiques, typiques de l'anhydrite diagénétique (Pl. I, G). D'autres vestiges présentent des contours anguleux et des morphologies cristallines qui permettent de les assimiler à d'anciens agrégats de cristaux de gypse (ou éventuellement de célestite). La composition de la phase de remplacement est variable; il s'agit fréquemment de cristaux automorphes à subautomorphes de calcite et de dolomite contenant assez exceptionnellement des vestiges anhydritiques. Dans le cas de remplacements mixtes quartzo-calcitiques ou quartzo-dolomitiques (carières de Walhorn par exemple), le quartz et les variétés fibreuses de silice riches en facules résiduelles d'anhydrite représentent une substitution précoce (voir également sondages de Saint-Ghislain et d'Epinoy 1) tandis que la phase calcitique et/ou dolomitique résulterait d'un remplissage après dissolution de l'anhydrite résiduelle (SWENNEN et VIAENE, 1986; observations personnelles); si l'étude pétrographique seule ne peut permettre de préciser la chronologie de ces remplacements, rencontrés tant à l'affleurement que dans les séries traversées dans les sondages profonds, les compositions isotopiques des carbonates, mesurées sur certains de ces échantillons (PIERRE, 1986) feraient apparaître diverses modalités de remplacement, l'un en aquifère continental peut-être lié à la mise à l'affleurement, et le second, réalisé à température élevée, vraisemblablement au cours de l'enfouissement. Le remplacement affecte également des cristaux de gypse lenticulaires.

D'autres variétés de carbonates paraissent liées à des phénomènes de remplacement de sulfates, il s'agit des agrégats palissadiques ou radiaires dont la morphologie suggérerait le remplacement isomorphe de cristaux de gypse sélénite (SWENNEN *et al.*, 1981). Dans des séries plus récentes, des agrégats calcitiques ou aragonitiques, morphologiquement identiques, sont associés aux produits de la réduction bactérienne de sulfates sans relation nécessaire avec un précurseur sélénitique.

Le dernier type enfin résulte du remplacement tardif par des carbonates de variétés d'anhydrite qui représentent elles-mêmes, à l'origine, des remplacements diagénétiques de carbonates: porphyroblastes anhydritiques, anhydrite en domino, veinules, etc...; les sections carrées de certains de ces porphyroblastes (voir § I: les évaporites givétienues) peuvent entraîner la confusion avec des pseudomorphoses de cubes de halite.

Ces pseudomorphoses sont fréquemment associées aux épisodes bréchiques viséens dont certaines sont interprétées comme résultant de dissolution d'intercalations évaporitiques (voir ROUCHY *et al.*, 1986). L'abondance de ces pseudomorphoses témoigne de l'extension des influences évaporitiques viséennes dans toutes les unités structurales du domaine varisque franco-belge; bien que présentes à d'autres niveaux stratigraphiques (Famennien, Frasnien) ces pseudomorphoses y sont nettement moins nombreuses.

CONCLUSIONS GENERALES.

L'étude sédimentologique des formations anhydritiques épaisses, d'âge givétien et viséen, dégage les différences qui les séparent au niveau des modalités de dépôt et des implications structurales. Au Givétien, dans un domaine littoral, peu profond, soumis à des épisodes émersifs fréquents, les dépôts liés à des processus de diagenèse précoce subaérienne alternent avec des cristallisations sous-aquatiques qui sont l'objet de fréquents remaniements; ces dépôts caractérisent vraisemblablement la bordure d'une dépression à sédimentation évaporitique plus développée centrée sur le Hainaut et dont l'extension vers le sud ne doit pas être écartée *a priori*. Le domaine évaporitique viséen, dont la large extension est attestée par l'existence des séries épaisses, des pseudomorphoses à l'affleurement et des brèches liées pour une grande part à des phénomènes de dissolution, a été le siège de dépôts évaporitiques plus épais et plus continus (au moins dans l'intervalle V_{2b} - V_{3a}); les phases de dépôt sous tranche d'eau y prennent un développement probablement plus important.

La diagenèse présente certains aspects communs comme la transformation gypse/anhydrite au cours de l'enfouissement, le remplacement tardif de carbonates par diverses variétés d'anhydrite (porphyroblastes, agrégats en domino, veinules, etc...), les remplacements carbonatés de gypse, d'anhydrite et de célestite (réduction sulfato-bactérienne, dissolution suivie de remplissage carbonaté au cours de l'enfouissement ou dans des conditions de surface). Néanmoins, les anhydrites viséennes présentent les indices d'une diagenèse intense, qu'il s'agisse de la diagenèse précoce attestée par l'abondance des silicifications, de la célestite ou de certains traits spécifiques comme la richesse en fluorine (diagenèse précoce), en albite (diagenèse d'enfouissement) et en soufre natif.

L'importance de la déformation tectonique et/ou halocinétique de l'anhydrite caractérise les anhydrites viséennes de Saint-Ghislain et, plus encore, celles d'Epinoy 1; cette déformation conduit à une oblitération des structures originelles de dépôt et au développement de structures telles que des laminations tectoniques (schistosité), des microplissements, des structures ocellées, des

mylonitisations; l'importance de la déformation traduit leur implication dans l'élaboration du dispositif structural.

La considération de ces traits spécifiques des anhydrites viséennes met en évidence leur importance tant paléogéographique que structurale.

REMERCIEMENTS.

L'auteur remercie les organismes qui ont mis à sa disposition les matériaux étudiés : le Service Géologique de Belgique (Tournai, Leuze, Saint-Ghislain), la Compagnie Française des Pétroles TOTAL (Filiale France-Espagne) agissant pour le compte de l'association C.F.P. S.F.B.P., S.F.D.B.P., A.G.I.P. et S.N.E.A. (P) (Epinoy 1) et S.N.E.A. (P) (Annapes 1).

Les matériaux décrits dans cette note ont fait l'objet d'une étude pluridisciplinaire à laquelle ont participé C. PIERRE, E. GROESSENS, A. LAUMONDAIS, C. MONTY et B. MOINE; leurs résultats parfois évoqués dans cette note ont contribué à la synthèse paléogéographique et structurale présentée dans ce volume.

L'auteur tient à remercier Mme CAMBRELENG, Mme DELETOILLE, Melle DESTARAC et Mr GANON qui ont assuré respectivement, l'illustration graphique, l'illustration photographique, la dactylographie et la fabrication des lames minces.

Les recherches ont été réalisées grâce au soutien financier de la Compagnie Française des Pétroles TOTAL, agissant pour le compte de l'association mentionnée ci-dessus et du Programme National Géologie Profonde de la France (phases 1 et 2).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES.

BLESS, M.J.M., BOONEN, P., BOUCKAERT, J., BRAUCKMANN, C., CONIL, R., DUSAR, M., FELDER, P. J., FELDER, W. M., GOKDAG, H., HOCKEL, F., LALOUX, M., LANGGUTH, H. R., VAN DER MER MOHR, C. G., MEESEN, J. P. M. Th., OP HET VELD, F., PAPROTH, E., PIETZNER, H., PLUM, J., POTY, E., SCHERP, A., SCHULZ, R., STREEL, M., THOREZ, J., VAN ROOIJEN P., VANGUESTAINE, M., VIESLET, J. L., WIERSMA, D. J., WINKLER PRISM, C. F. et WOLF, M., (1981) - Preliminary report on Lower Tertiary. A Upper Cretaceous and Dinantian-Famennian rocks in the boreholes Heugem A and Kastanjelaan 2 (Maastricht, the Netherlands). *Meded. Rijks Geol. Dienst.*, 33-15, p. 333-415.

BLESS, M. J. M., CONIL, R., DEFOURNY, P., GROESSENS, E., HANCE, L. et HENNEBERT, M. (1980) - Stratigraphy and thickness variations of some Struno-Dinantian deposits around the Brabant massif. *Meded. Rijks Geol. Dienst.*, 32-1, p. 56-65.

ROUQUILLON, A. (1984) - Stratigraphie, paléoenvironnement et diagenèse dans le Primaire sédimentaire des forages profonds du Nord de la France. Diplôme Etudes Approfondies, Université de Lille, 51 p.

COEN-AUBERT, M., GROESSENS, E. et LEGRAND, R. (1980) - Les formations paléozoïques des sondages de Tournai et Leuze. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, 89, 4, p. 241-275.

CONIL, R. et GROESSENS, E. (1985) - La place des évaporites dans l'échelle stratigraphiques du Dinantien. Coll. "Evaporites pré-permiennes en Europe" (Bruxelles, 9-10 mai 1985), GRECO 52, Société Belge de Géologie et Groupe de Contact Sédiment., résumé, 2 p.

GRAULICH, J. M., BOUCKAERT, J. et DELMER, A. (1967) - Le sondage n° 27, Neuville (1967 - 1973). P. 185 W n° 407. Notes de débitage. *Rapport Service Géologique de Belgique.*

GROESSENS, E., CONIL, R. et HENNEBERT, M. (1979) - Le Dinantien du sondage de Saint-Ghislain. Stratigraphie et Paléontologie. *Mém. Expl. Cartes Géol. Min. de la Belgique*, 22, 137 p.

HANCE, L. et HENNEBERT, M. (1980) - On some Lower and Middle Visean carbonate deposits of the Namur Basin, Belgium. *Meded. Rijks Geol. Dienst.*, 32-9, p. 66-68.

HENNEBERT, M. et HANCE, L. (1980) - Présence de nodules de sulfate de calcium silicifiés dans le Viséen moyen (cf. V2b β) à Vedrin (Namur, Belgique). *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 103, p. 25-33.

JACOBS, L., SWENNEN, R., VAN ORSMAEL, J., NOTEBAERT, L. et VIAENE, W. (1982) - Occurrences of pseudomorphs after evaporites minerals in the Dinantian carbonate rocks of the Eastern part of Belgium. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, 91, p. 105-123.

LAUMONDAIS, A., ROUCHY, J. M. et GROESSENS, E. (1984) - Importance des formations anhydritiques dinantiennes pour l'interprétation paléogéographique et structurale du domaine varisque d'Europe septentrionale. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 298, sér. II, n° 9, p. 411-414.

LOUCKS, R. G. et LONGMAN, M. W. (1982) - Lower Cretaceous Ferry Lake anhydrite, Fairway Field, East Texas : Product of shallow - subtidal deposition. In R. C. HANDFORD *et al.*, Depositional and Diagenetic spectra of Evaporites. A Core Workshop, S.E.P.M. Core Workshop n° 3, p. 130-173.

MAMET, B., CLAEYS, P., HERBOSCH, A., PREAT, A. et WOLFOWICZ, P. (1986) - La "Grande Brèche" viséenne (V3a) des bassins de Namur et de Dinant (Belgique) est probablement une brèche d'effondrement. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, ce volume.

- PERTHUISOT, J. P. et JAUZEIN, A. (1978) - Le Khour el Aadid, lagune sursalée de l'Emirat de Qatar. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, XX, 4, p. 347-358.
- PIERRE, C. (1986) - Données de géochimie isotopique sur les anhydrites (^{18}O , ^{34}S) et les carbonates diagénétiques (^{18}O , ^{13}C) des séries évaporitiques givéliennes et viséennes du Nord de la France et de la Belgique. *Bull. Soc. Belge de Géolog.*, ce volume.
- PIERRE, C., ROUCHY, J. M., LAUMONDAIS, A. et GROESSENS, E. (1984) - Sédimentologie et géochimie isotopique (^{18}O , ^{34}S) des sulfates évaporitiques givéliens et dinantiens du Nord de la France et de la Belgique; importance pour la stratigraphie et la reconstitution des paléomilieus de dépôt. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 299, Sér. II, 1, p. 21-26.
- PIERRE, C. et ROUCHY, J. M. (1986) - Oxygen and sulfur isotopes in anhydrites from Givetian and Viséan evaporites of Northern France and Belgium. *Isotope Geoscience*, 58, sous presse.
- POELS, J. P. et PREAT, A. (1983) - Mise en évidence d'une série évaporitique dans le Viséen inférieur de Vedrin (Province de Namur). *Bull. Soc. Belge de Géol.*, 92, 4, p. 337-350.
- PREAT, A. (1984) - Etude lithostratigraphique et sédimentologique du Givétien belge (Bassin de Dinant). *Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles*, 466 p.
- PREAT, A. et ROUCHY, J. M. (1986) - Faciès pré-évaporitiques dans le Givétien des bassins de Dinant et de Namur. *Bull. Soc. Belge de Géolog.*, ce volume.
- 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. phys. et Géol. dyn.*, XVIII, 4, p. 347-364.
- ROUCHY, J. M. (1982) - Etude sédimentologique des évaporites du sondage de Saint-Ghislain (Hainaut, Belgique). *Rapport CFP inédit*, 48 p.
- ROUCHY, J. M., GROESSENS, E. et LAUMONDAIS, A. (1984a) - Sédimentologie de la formation anhydritique viséenne du sondage de Saint-Ghislain (Hainaut, Belgique). Implications paléogéographiques et structurales. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, t. 93, fasc. 1-2, p. 105-145, 7 pl. ph., annexe.
- ROUCHY, J. M., PIERRE, C., MOINE, B., COUILLOUD, D., LAUMONDAIS, A. et GROESSENS, E. (1984b) - Sédimentation, diagenèse et déformations tectoniques des évaporites paléozoïques; intérêt pour l'interprétation paléogéographique et structurale. Programme Géologie Profonde de la France, 1ère phase d'investigations 1983-1984; rapports généraux et communications. Thème 1: chevauchements nord-varisques. *Documents B.R.G.M.*, n° 81-1, p. 71-82.
- ROUCHY, J. M., PIERRE, C., MOINE, B., LAUMONDAIS, A. et GROESSENS, E. (1985) - Sédimentation, diagenèse et déformations tectoniques des évaporites paléozoïques; intérêt pour l'interprétation paléogéographique et structurale. Programme Géologie Profonde de la France, 2ème phase d'investigations 1984-1985. *Documents du B.R.G.M.*, 95-1, p. 55-63.
- SCHREIBER, B. C. (1978) - Environments of subaqueous gypsum deposition. In W. E. DEAN and B. C. SCHREIBER, Marine Evaporites, *S.E.P.M. short course*, p. 43-73.
- SONNENFELD, P. (1984) - Brines and Evaporites. *Academic Press Inc., (Orlando)*, 613 p.
- SURDAM, R. C. et EUGSTER, H. P. (1976) - Mineral reactions in the sedimentary deposits of the Lake Magadi region, Kenya. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 87, p. 1739-1752.
- SWENNEN, R., VIAENE, W., JACOBS, L. et VAN ORSMAEI J. (1981) - Occurrence of calcite pseudomorphs after gypsum in the Lower Carboniferous of the Vesder region (Belgium). *Bull. Soc. Belge de Géol.*, 90, 3, p. 231-247.
- SWENNEN, R. et VIAENE, W. (1986) - Occurrence of pseudomorphosed anhydrite nodules in the Lower Viséan (Lower Molinacian) of the Verviers Synclinorium, E. Belgium). *Bull. Soc. Belge de Géol.*, ce volume.
- VAI, G. B. et RICCI-LUCCHI, F. (1977) - Algal crusts, autochthonous and clastic gypsum in a cannibalistic evaporite basin: a case history from the Messinian of Northern Apennines. *Sedimentology*, 24, p. 211-244.