

<b>Zeitschrift:</b>	Eclogae Geologicae Helvetiae
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Geologische Gesellschaft
<b>Band:</b>	81 (1988)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Enseignements généraux de l'extrême constance de la séquence argile-halite du Carnien de bassins distants et isolés d'Europe du Nord-Ouest
<b>Autor:</b>	Busson, Georges / Cornéf, Annie
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-166188">https://doi.org/10.5169/seals-166188</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 19.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Eclogae geol. Helv.	Vol. 81	Nr. 2	Pages 441–455	Bâle, août 1988
---------------------	---------	-------	---------------	-----------------

# Enseignements généraux de l'extrême constance de la séquence argile–halite du Carnien de bassins distants et isolés d'Europe du Nord-Ouest

Par GEORGES BUSSON et ANNIE CORNÉE<sup>1)</sup>

## RÉSUMÉ

Dans des bassins largement distants et séparés les uns des autres par des massifs peut-être émergés (bassins du Jura, de Bresse, de Lorraine, de Champagne et de mer du Nord méridionale), MARCHAL a récemment (1986) démontré, à l'échelle des diagraphies, l'identité presque parfaite des bancs et des faisceaux constituant la série salifère du Carnien. *Elle implique la généralisation dans tous ces bassins des mêmes couches halitiques et argileuses avec une épaisseur pratiquement constante.* Pour les intercalaires argileux, ces caractères semblent exclure un épandage opéré par des mécanismes de fond de bassin. On propose un épandage par écoulement de mi-profondeur (interstratal flow) à un niveau où les eaux turbides, issues des continents, s'écoulent sur des saumures ayant la même densité qu'elles. L'isopacité des couches de sel rend improbables des cristallisations résultant de mécanismes de fond, car les disparités de morphologie des bassins auraient introduit de forts contrastes d'épaisseur. Le dépôt du sel n'a été déterminé que par le temps où l'évaporation a affecté l'interface eau–atmosphère. Dans ces conditions, le dépôt du sel a originellement été généralisé à toute la superficie de ces bassins et l'absence actuelle de la halite dans les aires périphériques résulte principalement de dissolution. Au total, dans cette sédimentation halitico-argileuse, les mécanismes de transport (argiles) ou de saturation-cristallisation (halite) ont été primordialement des phénomènes se déroulant dans la tranche d'eau superficielle ou moyenne. De ce fait, ces alternances constituent de remarquables enregistrements des phases climatiques où les périodes arides ont favorisé l'envahissement des éléments thalassocratiques et les phases humides l'épandage des éléments géocratiques. Le modèle où le dépôt des argiles et de la halite est synchrone est réfuté.

## ABSTRACT

In very distant basins separated by probably emergent ridges (Jura, Bresse, Lorraine, Champagne and southern North Sea Basins), MARCHAL (1986) recently established the nearly perfect similarity of beds and groups of beds constitutive of Carnian salt series. This similarity is established at the logging scale. It implies the *development in all the basins of the same halite and clay beds with a nearly constant thickness.* For the clay interbeds, these features seem incompatible with a spreading by bottom processes. Spreading as interstratal flow is suggested, at a level where turbid waters coming from adjacent lands spread over brines of equivalent density. Because of the isopacidity of salt beds a crystallization resulting from bottom processes is unlikely, as differences in basin bottom morphologies would have resulted in great thickness variations. Salt deposition has been determined only by the time during which evaporation acted upon water/atmosphere interface. Under these conditions, salt deposition was originally extended to the whole basin area and the present lack of halite in peripheral areas mainly results from solution. On the whole, during this halite/clay deposition, transport of clays and saturation/crystallization of halite have been processes primarily occurring in the surface or intermediate water layer. As a result these alternations can be considered as remarkable records of climatic phases during which

<sup>1)</sup> U.A. 1209 (CNRS), Laboratoire de Géologie du Muséum, 43, rue de Buffon, F-75005 Paris.

arid stages enhanced flooding of thalassocratic elements and humid stages enhanced spreading of geocratic elements. An alternative hypothesis to interpret such constant sequences consists in a model with synchronous deposition of clays and halite. This model is disproved.

### ZUSAMMENFASSUNG

In weit entfernten Becken (z.B. Jura, Bresse, Lorraine, Champagne und südliche Nordsee-Becken), die wahrscheinlich durch aufsteigende Gebirge voneinander getrennt wurden, hat MARCHAL (1986) eine fast gänzliche Übereinstimmung der Bänke und der Schichtpakete der salzführenden Karn-Serie festgestellt. Diese Übereinstimmung wurde im Maßstab der Bohrlochmessungen festgestellt. Sie umfasst die *allgemeine Gegenwart derselben Halite und Tonschichten in allen diesen Becken mit einer beständigen Mächtigkeit*. Für die Ton-Zwischenlagen scheint eine Verbreitung («épandage») durch Grundströmungen ausgeschlossen zu sein. Eine Verbreitung durch Einschichtung («interstratal flow») wird vorgeschlagen in einer Tiefe, wo die trüben Gewässer kontinentaler Herkunft über Salzsoleen gleicher Dichte fliessen.

Die Isopachität der Salzschichten schliesst Kristallisierung am Beckenboden aus, da starke Schichtmächtigkeitsunterschiede durch die morphologischen Unterschiede der verschiedenen Becken resultieren würden. Die Ablagerung des Salzes wurde nur während der Zeit der Verdunstung an der Wasser-Atmosphäre-Grenze bestimmt. Unter solchen Bedingungen geschah die Salzablagerung von Anfang an auf der gesamten Fläche jedes dieser Becken; die heutige Abwesenheit der Halite in den Randgebieten stammt hauptsächlich von Lösungsvorgängen. Im ganzen haben sich während der Halit- und Tonablagerung die Transportprozesse (Tone) sowie die Sättigungs- und Kristallisierungsprozesse (Halite) hauptsächlich in oberflächennahen bis mittleren Wassertiefen abgespielt. Deswegen stellen diese Wechsellegerungen eine bemerkenswerte Aufzeichnung der klimatischen Phasen dar: Die ariden Phasen haben das Eindringen thalassokratischer Elemente begünstigt, während die feuchten Phasen die Verbreitung geokratischer Elemente gefördert haben. Das alternative Modell zur Erklärung dieser beständigen Sequenzen – die synchrone Ablagerung der Tone und Halite – wird abgelehnt.

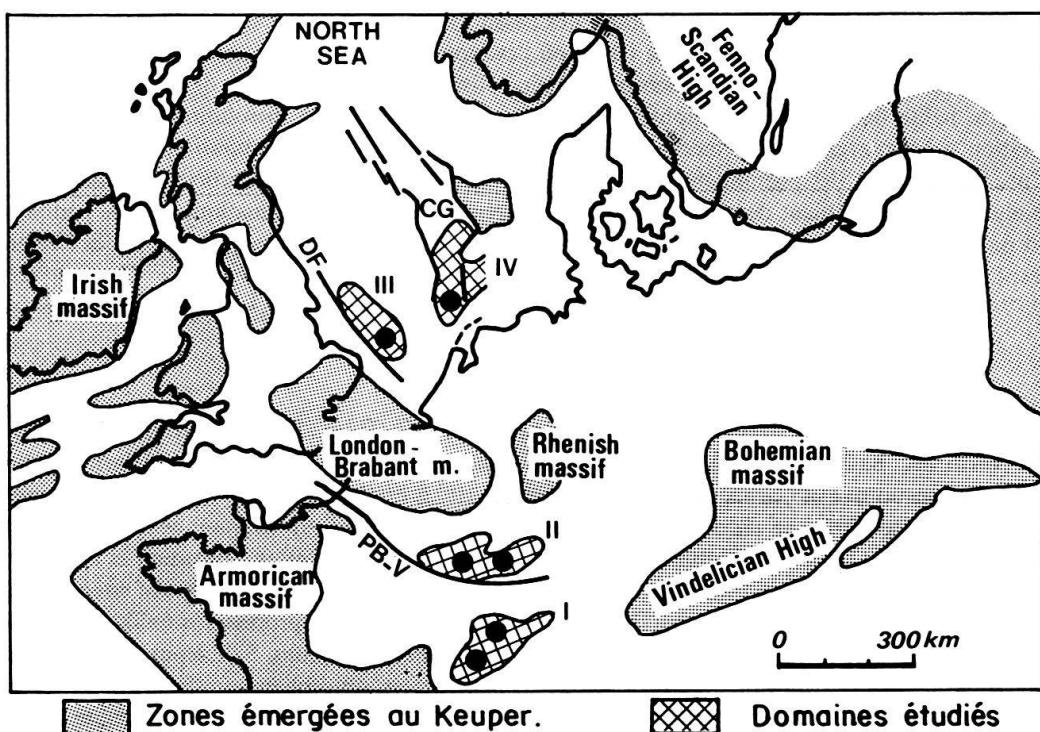


Fig. 1. Situation des bassins présentant une succession halitico-argileuse carnienne remarquablement constante en Europe occidentale, ainsi que des massifs dépourvus de sédiments du même âge (d'après MARCHAL 1986, fig. 1).

I: Bresse-Jura; II: Lorraine-Champagne; III: Sole Pit; IV: Graben central; D. F.: Faille de Dowsing; P. B.-V: Faille du Pays de Bray-Vittel.

## 1. Introduction

Au Keuper inférieur, les aires de dépôts évaporitiques du Jura, de Bresse, de Lorraine, de Champagne et de mer du Nord méridionale étaient des bassins s'étalant au total sur une distance supérieure à 1000 kilomètres et séparés par des seuils ou même par de véritables massifs (massif de Londres-Brabant, massif rhénan, etc.) (fig. 1). Or, MARCHAL (1986) vient d'établir l'extraordinaire similitude de la série salifère carnienne qui se développe sur près d'une centaine de mètres d'épaisseur dans ces bassins. Les couches halitiques et argileuses – ces dernières admettant toujours une phase anhydrique et/ou carbonatée – qui s'y succèdent en alternance ont pu être regroupées en faisceaux (J à T) et ces faisceaux et leurs couches constitutives se retrouvent avec une ressemblance frappante dans les différents bassins (fig. 2). L'analogie est telle que l'on ne saurait admettre un diachronisme de ces successions.

L'analogie et le synchronisme des couches de sel et des couches d'argiles dans ces bassins distants et séparés ont incité à les considérer comme des témoins de périodes climatiques alternativement favorables à ces deux types de dépôt (MARCHAL 1986). Restent à examiner les implications de cette constance de la succession halitico-argileuse sur les mécanismes de dépôt. Notons au préalable que cette série à succession halitique et argileuse, très homogène et très constante sur d'immenses superficies, n'est pas représentative de nombreuses accumulations salines; en particulier de celles qui se développent en contexte carbonaté ou de celles dont les couches argileuses restent cantonnées aux bordures.

## 2. Le déterminisme climatique

Précisons ce point, bien qu'il ait déjà été évoqué antérieurement (MARCHAL 1986). Certes, comme pour la plupart des autres grands bassins évaporitiques d'origine océanique, les *facteurs morphologiques* ont joué un rôle fondamental dans le déterminisme et la localisation des roches salines: 1. ajustement par rapport au niveau océanique de la zone de raccord entre le bassin évaporitique et la mer ouverte; 2. forme et extension de cette zone de raccord facilitant l'entrée d'eau de mer fraîche, mais entravant les reflux; 3. latitude et extension du bassin jouant en plate-forme de saturation; 4. creusement relatif – par subsidence différentielle – de certaines parties hébergeant les successions halitiques les plus riches; etc. . . . Mais nous considérons que ce ne sont pas des modifications de ces facteurs morphologiques – en particulier la subsidence différentielle (MARCHAL 1986) – qui peuvent expliquer l'interruption périodique des dépôts salifères par des intercalations argileuses. Une observation devrait suffire à l'établir. L'alternance halite-insolubles (ces derniers étant surtout des argiles) se fait jusqu'à une échelle beaucoup plus petite que celle des couches et des faisceaux appréhendés par les diagraphies; en gros jusqu'à une échelle décimétrique. Il est exclu que des soubresauts morphologiques soient responsables de telles alternances. Il faut faire jouer des facteurs à succession plus rapide. Les facteurs eustatiques, si souvent invoqués dans la sédimentation évaporitique (cf. par exemple ROUCHY 1982), ne nous semblent pas pouvoir, dans le cas présent, rendre compte des rythmes fins, décimétriques. Nous retenons donc la responsabilité des facteurs climatiques.

De nombreux arguments ont fait admettre à tous les auteurs que les intercalations d'argiles à illite dominante, sont principalement d'origine continentale. Qu'il suffise de

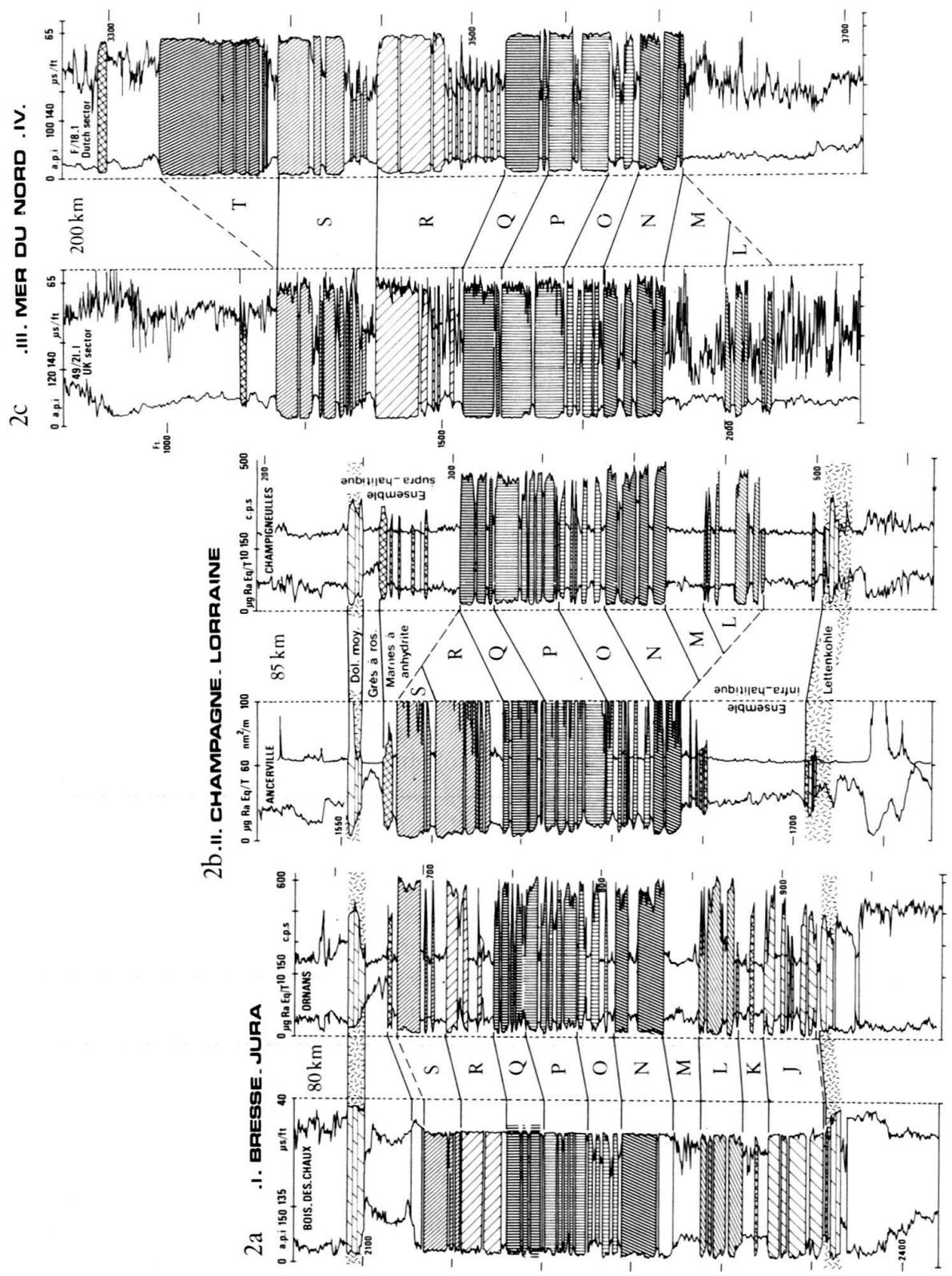


Fig. 2. Logs comportant un Gamma Ray et un Sonic de forages pétroliers profonds, situés en Bresse-Jura, Champagne-Lorraine et mer du Nord méridionale (d'après MARCHAL 1986, fig. 2). La séquence halitico-argileuse d'âge carnien s'organise en faisceaux clairement individualisés par les diagraphies. On notera l'extrême identité de ces faisceaux dans ces bassins distants et séparés.

rappeler qu'à l'approche des continents (massifs de Londres-Brabant, rhénan, armoricain, finno-scandinave, vindélicien, etc). halite, anhydrite et carbonates se biseautent au profit d'une série argileuse, puis argilo-gréseuse, voire conglomératique qui est donc bien là auprès de ses sources. Le transport de ces argiles du continent vers les bassins évaporitiques a donc été principalement le fait d'un ruissellement et l'aspect saccadé des intercalations argileuses entre les couches de sel – métriques ou plurimétriques – évoque un ruissellement à caractère pulsatoire. Les bancs de sel propre (constitués d'unités décimétriques de halite isolées par des lits millimétriques d'insolubles), quant à eux, correspondent à une interruption complète de ce ruissellement. Il s'agit de périodes où la pompe que représentait une évaporation excédentaire, aspirait sur ces bassins germaniques s.l. les saumures d'origine océanique, jusqu'à leur faire déposer leur sulfate de calcium et leur chlorure de sodium. Bref, les alternances climatiques ont favorisé la succession et le jeu antagoniste de phases que l'on peut qualifier, à la suite de HAUG (1907), de thalassocratiques d'une part et, d'autre part, de terrigènes ou géocratiques.

### 3. Le caractère isopaque de ces couches et l'épandage des argiles

A. La phisyonomie très constante de ces faisceaux dans des bassins distants et séparés implique à l'évidence la généralisation de chaque couche successive de sel et d'argiles. *Mais, elle implique aussi une certaine constance d'épaisseur de ces couches.* Car, dès lors que la succession n'est caractérisée que par le contraste entre deux termes, pour que les faisceaux restent identifiables, il faut au moins que l'épaisseur de chaque constituant garde grosso-modo une même valeur. Ce caractère isopaque a deux conséquences.

1. *Le fait que les couches de sel – cantonnées aux parties les plus centrales du bassin – restent, en général, très constantes en épaisseur signifie qu'elles n'y ont pas ou peu subi de dissolution à grande échelle<sup>2</sup>) lors de l'épandage des minéraux argileux en provenance d'un ruissellement continental et donc véhiculés par des eaux plus ou moins dessalées.* Car, de telles dissolutions n'auraient pu être identiques sur tout le bassin – ou plutôt sur tous les bassins – et auraient donc entraîné des variations anarchiques de l'épaisseur des bancs de sel.

2. *L'épaisseur très constante des intercalations argileuses, même au plus loin des continents nourriciers et dans les différents bassins considérés, signifie que leur épandage a été presque infiniment facilité.* Pourtant, l'absence de dissolution des couches de sel sous-jacentes ne s'accorde pas de courants de fond par des eaux plus ou moins dessalées.

3. L'arrivée pulsatoire de ces argiles continentales est à mettre en rapport avec un moteur hydrodynamique, même si l'hypothèse d'une contribution éolienne ne peut être complètement éliminée. Dans ces conditions, leur épandage à partir des hinterlands jusqu' dans les bassins évaporitiques n'a pu se traduire dans ceux-ci que par une cer-

<sup>2)</sup> Les signes de dissolution révélés par les examens pétrographiques les plus fins (écrêtements de certains chevrons, creusement de golfes de corrosion intercristallins, etc. ...) ne doivent donc avoir eu qu'une importance quantitative tout à fait minime.

taine dessalure. Dans la mesure où il n'y a pas eu de dissolution de sel, *il semble probable que ces eaux de provenance continentale et donc dessalées – au moins à l'origine – se sont répandues sur les saumures saturées qui occupaient le bassin*, l'ensemble évoquant la stratification d'un corps d'eau superficiel (épilimnion) flottant sur un corps d'eau profond plus dense (hypolimnion) comme dans un «lac» méromictique.

B. Des observations et reconstitutions de quelques auteurs ont abouti au concept de courants transportant les clastiques les plus fins (argiles, limons) non pas au fond du bassin, mais au niveau de la pycnocline d'un corps d'eau stratifié de façon permanente. SCHMALZ (1971) est le premier que nous citerons, à avoir évoqué cette possibilité “... silt and clay sediments may be carried far from shore by turbidity currents ... and ... in a density-stratified deep basin such currents would not necessarily travel along the basin floor, but rather along isohaline boundaries within the brine column where the brine density equaled that of the sediment suspension. (A sediment suspension containing 350 g of sediment per liter will float on halite-saturated brine!)”

MOTTS (1972) et HARMS (1974), étudiant la sédimentation dans le bassin permien du Delaware, étayent par tout un faisceau d'arguments l'hypothèse d'un épandage des limons au-dessus de la pycnocline, déterminée par la présence d'eau salée en profondeur dans le bassin (cf. BUSSON & CORNÉE, sous presse).

Plus récemment, SONNENFELD (1984) répétant que les argiles et les pélites ne se répandent pas par courants de turbidité, mais se dispersent le long d'une pycnocline sous la forme de coulées intermédiaires, illustre cette affirmation d'expériences spectaculaires dont il a publié plusieurs photos.

Notons que ces mécanismes de sédimentation argileuse ont un avantage supplémentaire. Dans la mesure où les épandages argileux ne sont pas des mécanismes de fond impliquant la dessalure de toute la tranche d'eau, il est plus facile de s'expliquer une reprise de la sédimentation salifère pulsatoire, reprise qui n'exige que de saturer le corps d'eau superficiel temporairement dilué par le ruissellement continental.

#### 4. Les couches de sel

##### 4.1 Le sel interprété comme un dépôt de fond

###### 4.1.1 Les faits d'observation

Dans les bassins carniens étudiés (MARCHAL 1986) établit que le sel se cantonne strictement aux aires où la sédimentation de l'unité stratigraphique correspondante est la plus épaisse. Le fait est particulièrement évident dans ces bassins de Lorraine-Champagne ou de Bresse, où la densité des informations a permis l'établissement de cartes d'isopaques et de faciès (HERRY 1982, MARCHAL 1983). Sur des coupes où le toit de la série salifère est mis à l'horizontale, la base du sel prend systématiquement une allure convexe vers le bas et la somme des intercalaires argileux est parfois approximativement égale à l'épaisseur des argiles dans les aires périphériques où il n'y a plus de sel.

Une autre observation souligne la relation entre ces aires de surépaisseur et la présence de sel. C'est le démarrage précoce de faisceaux (par exemple le faisceau J en Bresse-Jura) ou leur maintien tardif (par exemple T dans le graben central) en relation avec des surépaisseurs locales.

#### 4.1.2 *Les interprétations profondes*

Cette disposition objective a eu des conséquences sur nos concepts sédimentologiques. Elle a en effet conduit la plupart des auteurs à évoquer *le piégeage des saumures denses dans les parties profondes et centrales des bassins* et à admettre même – explicitement ou implicitement – la précipitation du sel *au fond de ces zones centrales et cantonnée à elles*.

#### 4.2 *Le sel initié à l'interface saumure-atmosphère*

En dehors de l'improbabilité – à notre avis – d'une concentration croissante jusqu'au point de cristallisation dans un corps d'eau profond séparé de l'atmosphère, une donnée fondamentale va nous amener à renoncer à cette genèse profonde de la halite. En effet, si la cristallogenèse ne s'était faite que par des mécanismes profonds dans les fosses des différents bassins – chacune ayant sa morphologie plus ou moins complexe –, il est évident que l'épaisseur de la halite aurait varié considérablement en fonction de cette morphologie, de la place disponible pour les saumures en cours de piégeage et de la hauteur que ces fosses offraient ici et là pour les dépôts de halite. Or, la donnée de base apportée par l'identité de la séquence dans les différentes parties de bassin et dans les différents bassins est une grande constance des couches de sel et même de leur épaisseur. Ce fait nous conduit donc à admettre que la halite s'est essentiellement déposée à partir de *phénomènes d'interface saumure-atmosphère, toute la tranche d'eau étant saturée* (fig. 3A). Dans de telles conditions où l'halogenèse est surtout réglée par la durée de la phase climatique aride, nous avons des chances d'avoir des épaisseurs homogènes dans les différentes parties de notre domaine.

Bien entendu, cette halogenèse initiée en surface ne signifie pas que les cristallisations se sont toujours développées à proximité de cette interface. Les formes caractéristiques des cristallisations de surface (trémies, radeaux de trémies, etc.) ne semblent pas spécialement abondantes dans le sel carnien de Lorraine. Mais les phénomènes de surface ont nourri la concentration en ClNa de toute la tranche d'eau, y compris des aires profondes et y favorisaient des cristallisations et des nourrissages à l'interface saumure-sédiment, rendant compte des structures pétrographiques de fond (chevrons, etc.) observées dans ce sel (GEISLER-CUSSEY 1986).

#### 4.3 *La dissolution du sel dans les aires périphériques pendant les phases de dessalure*

Si le sel s'est engendré initialement à l'interface saumure-atmosphère, pourquoi alors manque-t-il de façon aussi systématique au-dessus d'un certain plan? Pourquoi avons-nous cette disposition qui a conduit des auteurs à admettre cette cristallogenèse profonde évoquée ci-dessus au paragraphe 4.1?

Repronons un des caractères évoqués ci-dessus. La surface supérieure du sel, cantonné aux zones profondes, est très plane; au point d'avoir incité les auteurs à imaginer un piégeage de saumures denses dans les zones les plus profondes. Ce caractère même nous met sur la voie d'une autre explication. *En fait, la sédimentation des bancs de sel constitutifs des faisceaux a dû se faire sur tout le bassin à l'origine, sur les marges aussi bien que dans les parties un peu plus profondes. Mais, lors des épisodes de ruissellement*

continental, correspondant à l'épandage des argiles, il y a eu dessalure de la partie superficielle des saumures occupant ces bassins (fig. 3B). Il est compréhensible que ces eaux superficielles dessalées aient alors dissous le sel antérieurement déposé dans les zones périphériques les moins profondes. Au contraire, les parties relativement profondes des bassins ont plus de chances d'avoir conservé une couche de saumure saturée proté-

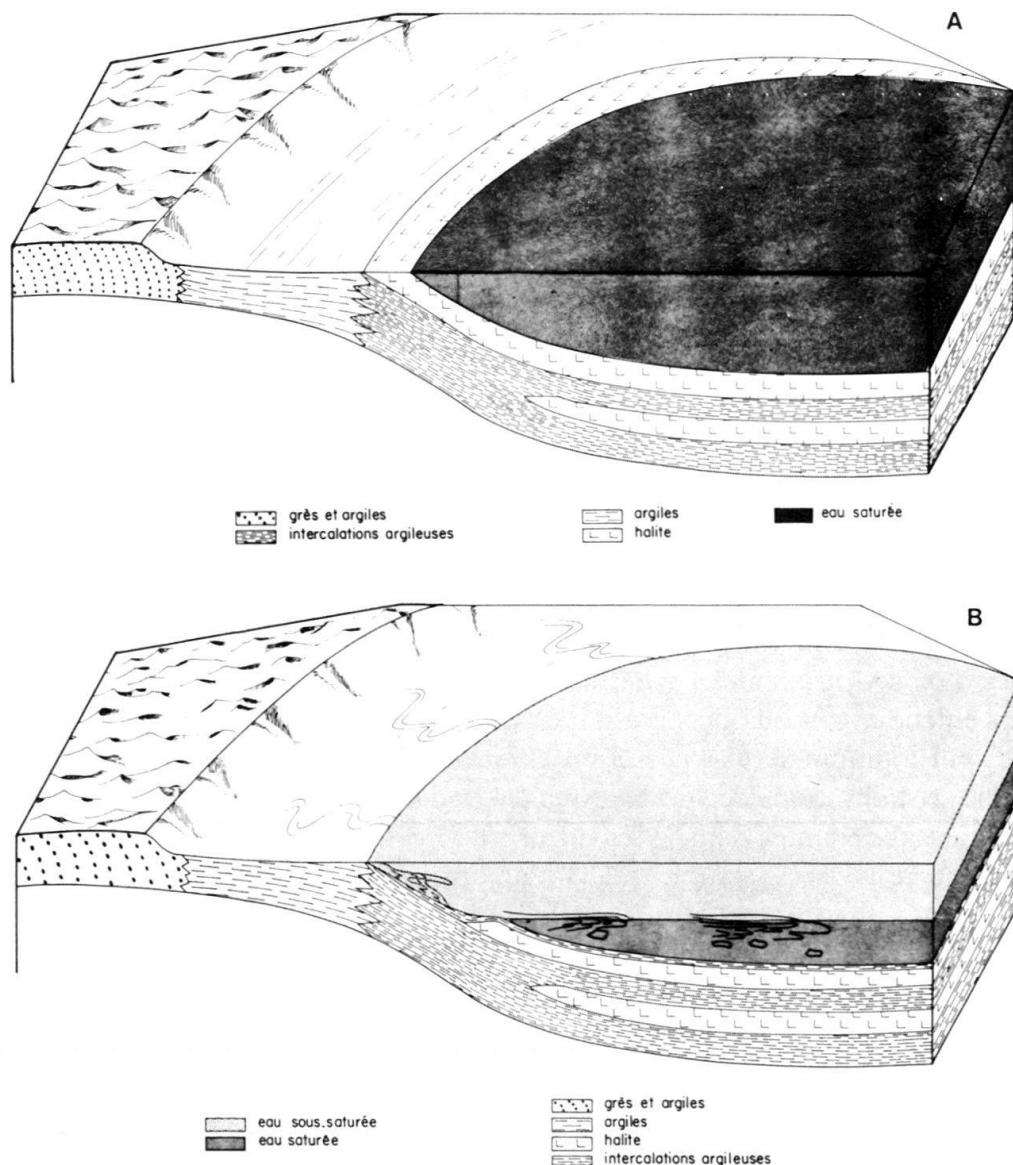


Fig. 3. Blocs-diagrammes illustrant de façon schématique la sédimentation halitico-argileuse carnienne et l'interprétation donnée au biseautage du sel sur les marges de bassin.

La figure 3A correspond aux périodes arides. La saumure occupant de tels bassins est entièrement saturée. La halite se dépose de façon grossièrement isopaque dans les bassins et sur les marges: l'épaisseur de sel est en effet réglée par la durée de la phase aride.

La figure 3B illustre les périodes humides. Une recrudescence du ruissellement continental a dû entraîner à ces époques la sous-saturation d'une tranche superficielle des saumures occupant les bassins. Le sel, antérieurement déposé, a été dissous sur les régions marginales occupées par cette saumure sous-saturée. En même temps, les argiles et limons véhiculés par le ruissellement continental ont pu être épandus avec une extrême facilité sur toute la superficie de ces sous-bassins: les eaux turbides ont en effet pu circuler sur les saumures profondes, denses, encore saturées, à une cote où leur gravité s'annulait.

trice, préservant le sel sous-jacent et lui permettant bientôt un enfouissement progressif sous la pluie des phyllites argileuses. Ainsi, le confinement du sel dans les parties les plus profondes ne résulterait pas primordialement d'un processus de dépôt, *mais d'un mécanisme de conservation du dépôt*. Le sel manquant sur les bordures a été déposé; mais, après son dépôt, il a subi un arasement lors de la dessalure relative accompagnant l'épandage des minéraux argileux.

## 5. Discussion: Passages de faciès ou dissolutions; synchronisme ou diachronisme

A. L'interprétation que nous avons proposée comporte schématiquement *deux phases successives*: d'une part, des couches de sel qui ont dû être généralisées à l'ensemble du domaine, mais n'ont été conservées que dans les aires subsidentes et déprimées; d'autre part, des dépôts argileux généralisés également et conservés aussi bien sur les bordures qu'au centre du bassin. Cette reconstitution est évidemment un peu simplifiée. En particulier, il ne fait pas de doute qu'en équivalence des principaux bancs ou faisceaux de sel peuvent exister de minces couches d'anhydrite sur les régions périphériques, dont rien n'interdit de penser qu'elles sont les résidus de la dissolution du sel beaucoup plus soluble. Mais cette interprétation implique un diachronisme des deux faciès principaux successifs: peu ou pas d'argiles des séries périphériques seraient l'*équivalent* des bancs de sel en position centrale (fig. 4A). Une autre interprétation est possible qu'il convient maintenant de discuter.

B. On peut en effet imaginer que chaque couplet argile + sel de la partie centrale du bassin est *contemporain* d'une certaine épaisseur d'argiles avec passées d'anhydrite, éventuellement de carbonates, en position périphérique (fig. 4B). Un tel modèle a été proposé par MORETTO (1986) pour le sel de Bresse, s'appuyant sur le fait que les analyses palynologiques de la série salifère ne montrent pas de témoin d'extrême aridité et suggèreraient par conséquent *que des faciès humides aient pu se déposer à la périphérie, synchroniquement avec le dépôt du sel en position centrale*. D'après J. HILLY (in litteris, 1986) ce schéma mériterait d'être retenu pour le Keuper de Lorraine. En effet, d'après cet auteur, s'il y avait eu dissolution du sel suivie nécessairement de redépôt au centre du bassin, le sel central redéposé devrait se caractériser par des valeurs de brome basses; ce qui n'est pas le cas d'après les données apportées à ce sujet par GEISLER-CUSSEY (1986).

Dès lors, le modèle génétique proposé par ces auteurs est le suivant (fig. 5). La partie centrale du bassin, éloignée du ruissellement continental, est occupée par une saumure saturée qui, dans la mesure où elle vient au contact avec l'atmosphère, dépose du sel; et ceci sur toute la superficie, centrale, où elle affleure. Au contraire, en position périphérique, des eaux moins salées, issues en particulier du ruissellement continental, assurent le dépôt des argiles et des premiers termes de la séquence évaporitique, anhydrite en particulier. Quand le ruissellement continental devient important, ce coin d'eau douce périphérique gagne en superficie pour finir par recouvrir complètement l'énorme lentille d'eau saturée en sel et s'étale ainsi sur toute la superficie du bassin. Aux périodes d'étiage, au contraire, ce coin d'eau douce se rétracte vers les bordures – à l'instar d'un diaphragme qui s'ouvre. Les apports détritiques argileux et les premiers termes évaporitiques se cantonnent alors tout à fait en périphérie et la sédimentation du sel

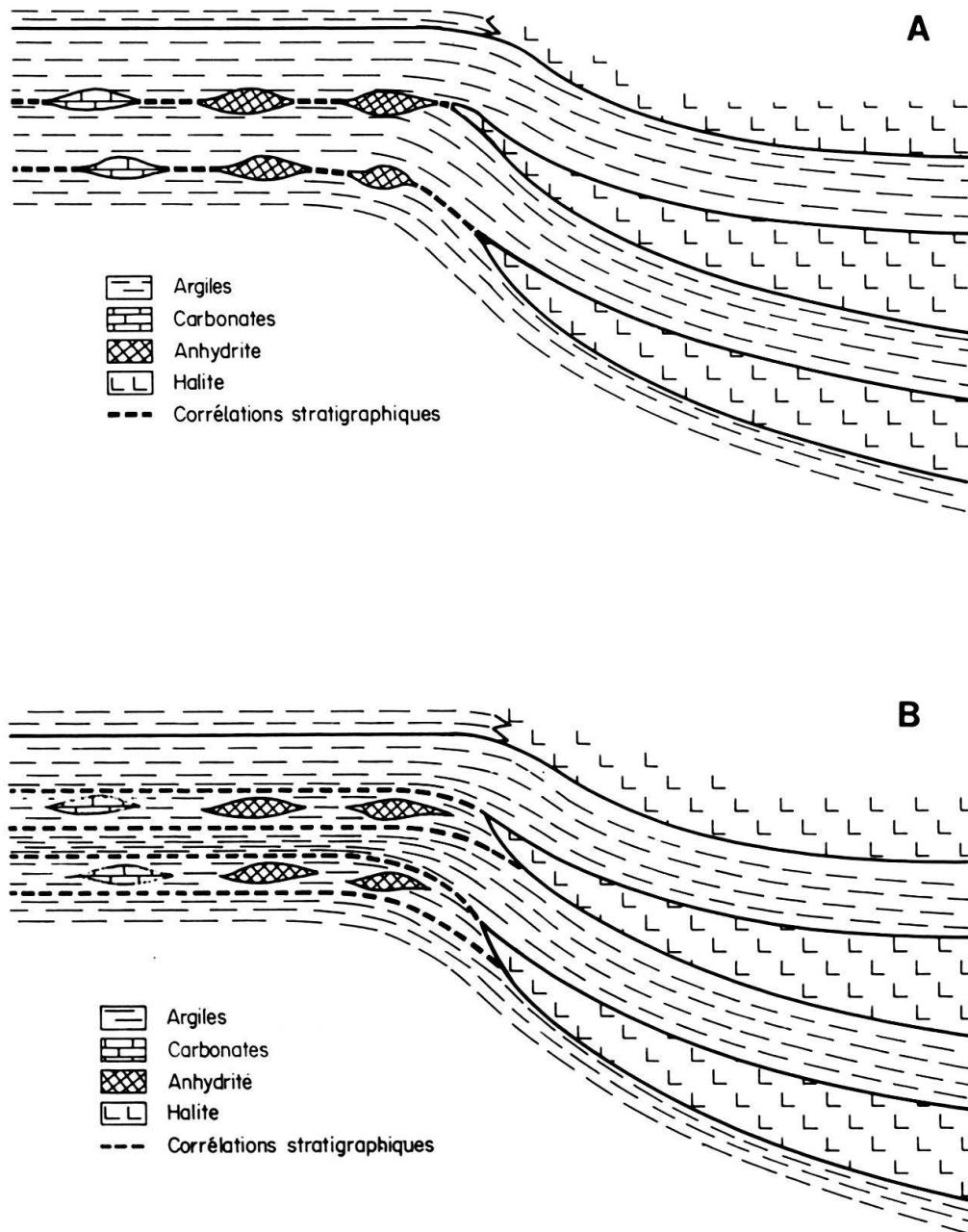


Fig. 4. Schéma du biseautage des bancs de sel à la périphérie des bassins considérés. Le contrôle discontinu fourni par les sondages ne permet pas de trancher facilement entre deux interprétations stratigraphiques différentes et les interprétations génétiques qu'elles impliquent. Objectivement, dans la partie bassin se rencontre une alternance de bancs de sel plus ou moins pur et de bancs d'argiles; sur les marges, une succession d'argiles dont l'épaisseur totale peut être parfois à peu près équivalente à la somme des intercalations argileuses du bassin et qui admet à certains niveaux la présence d'anhydrite et/ou d'un peu de carbonates.

En 4A, l'interprétation stratigraphique (en tiretés) ne met en équivalence du sel gemme que des résidus de dissolution (anhydrite et carbonates) sur la région marginale. Le sel ne s'est pas déposé synchroniquement avec les argiles de ces marges.

Dans le schéma 4B, une équivalence stratigraphique est supposée entre une partie des argiles des marges (avec leurs intercalations anhydritiques et carbonatées) et le sel du bassin. On passe parfois de cette équivalence latérale à une interprétation où il y aurait eu *synchronisme* du dépôt des argiles et du sel et par conséquent coexistence instantanée d'eaux continentales sur les bordures et de saumures saturées au dessus du bassin (cf. fig. 5).

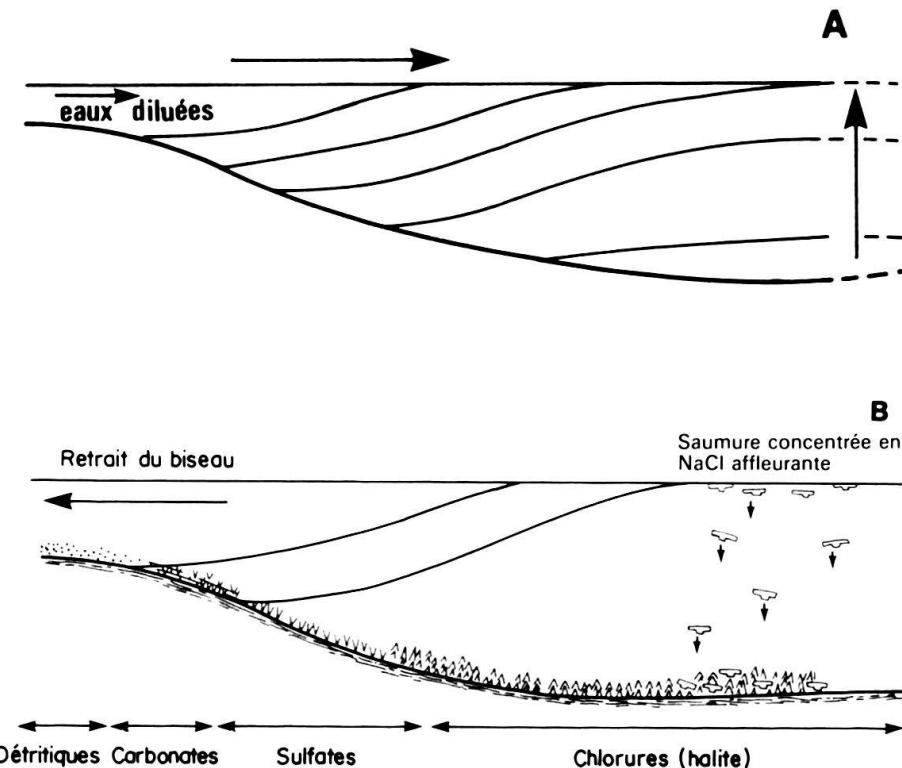


Fig. 5. Interprétations génétiques des alternances de sel et des faciès associés et intercalés dans le bassin paléogène de Bresse (France).

En A: Schéma montrant les gradients de salinité, vertical et latéral, obtenus par pénétration d'eaux diluées sur une saumure saturée.

En B: Schéma montrant le retrait du biseau d'eaux diluées avec la précipitation de halite dans le centre du bassin et sous le biseau lorsque la saumure concentrée en NaCl affleure (d'après MORETTO 1986, fig. 81 et 82).

gagne toute une zone centrale élargie. Dans tous les cas, il y a passage et équivalence latérale entre le sel et les dépôts bordiers et, d'autre part, le confinement du sel à la zone centrale serait d'origine et ne résulterait pas de dissolution.

C. Les corrélations diagraphiques fondées, sur des points de contrôle isolés dans l'espace, ne peuvent suffire à trancher entre ces deux hypothèses stratigraphiques et leurs implications génétiques. Disons qu'à priori il y a très peu de chance pour qu'un seul des deux mécanismes ait joué à l'exclusion complète de l'autre. Les mécanismes que nous avons proposés, impliquant dissolution et diachronisme, nous paraissent néanmoins avoir été de loin les plus importants, pour plusieurs raisons.

1. La réfutation des dissolutions du sel marginal par les valeurs de brome ne nous paraît pas convaincante. Certes, les mesures des teneurs en brome du sel carnien des bassins examinés – pour l'instant seulement faites à notre connaissance en Lorraine – ne marquent pas les abaissements qui sont caractéristiques de recyclage de sel par l'intervention d'eau douce. Mais il ne faut pas oublier que le volume de sel marginal recyclé ne pouvait être que minoritaire par rapport aux apports marins qui caractérisent tous les sous-bassins du domaine germanique. En outre, ces saumures, principalement d'origine océanique, restaient piégées dans les aires les plus subsidentes et les apports des dissolutions marginales ne pouvaient que se mélanger à ces saumures anté-

rieures, amenant des teneurs en brome d'origine ambiguë et donc d'interprétation incertaine.

2. Les données de la palynologie doivent être exploitées avec prudence. Elles proviennent d'ailleurs le plus souvent d'intercalations d'insolubles et risquent donc de n'être pas caractéristiques des conditions climatiques qui régnaient lors des phases de dépôt du sel, immédiatement avant ou après leur propre dépôt. Dans la nature actuelle, il n'y a pas un site au monde où le sel se dépose régulièrement et se conserve, qui ne soit pas localisé dans un climat aride à bilan évaporatoire fortement positif. Ceci n'empêche pas que ce site puisse recevoir des pollens de flore relativement humide, originaires de régions aux climats différents par l'effet, par exemple, d'une altitude plus élevée.

3. D'après les auteurs cités (J. Hilly, in litteris 1986 en particulier), les coupes de MARCHAL (1983) et HERRY (1982), suggèrent fortement que les dépôts halitiques ne disparaissent pas sur les bordures par dissolution, mais sont en fait relayés par des niveaux anhydritiques carbonatés et argileux. Nous avons déjà souligné le caractère subjectif de cette opinion et le fait que, en tout état de cause – c'est-à-dire même si les dissolutions du sel ont été réelles –, il n'est pas impossible qu'une partie des coupes bordières soit l'équivalent latéral de la série salifère homogène centrale. Mais, dans d'autres bassins la preuve existe que la disparition périphérique de bancs de sel se fait par dissolution. CURIAL (1986, fig. 45) démontre par les corrélations extrêmement fines, permises par le SHDT que le biseautage du sel de l'ensemble intermédiaire E4 dans le Paléogène de Bresse se fait par dissolution ayant précédé la couche argileuse immédiatement postérieure (banc 21, *ibid.*).

4. De toute façon, il n'est pas légitime de passer sans preuve d'une équivalence latérale – très partielle ou même éventuellement complète – à un synchronisme du dépôt, allant jusqu'à impliquer la coexistence et le synchronisme d'eaux de salinité très différente. Nous rappelons que dans le cas des évaporites de cuvette (BUSSON 1978; BUSSON et al. 1986) où cette équivalence latérale est prouvée, toutes les observations et les arguments conduisent à admettre un diachronisme intégral des grands groupes de faciès (carbonates, puis sulfates, puis chlorures).

5. Si les eaux continentales ont bien été le véhicule de pollens, de spores et de minéraux détritiques, si elles ont bien été susceptibles de dessaler localement ou non les saumures du bassin, par contre on ne voit pas comment elles auraient pu régénérer le stock de sulfate de calcium dans une saumure marine qui en était à déposer de la halite. Les paragenèses évaporitiques continentales existent, mais elles sont tout autre, plus complexes et comprennent d'autres sels. Dans le modèle suscité, il y a confusion, nous semble-t-il, entre les apports d'eaux continentales véhiculant les éléments terrestres et responsables de dessalure et les apports antagonistes d'eaux marines renouvelant le stock ionique océanique (carbonates, sulfate de calcium, chlorure de sodium, etc.). Les premières correspondent aux phases climatiques humides; les secondes aux phases arides où une évaporation intense a contribué à «appeler» les saumures originaires de l'océan.

6. Le modèle synchronique est censé expliquer les dépôts salifères en position centrale, c'est-à-dire au plus loin des zones d'apports continentaux. Mais il n'explique pas la relation beaucoup plus précise et beaucoup plus intéressante entre les évaporites –

spécialement les accumulations salines – et les zones de surépaisseur. Or, cette relation va jusqu'à limiter strictement l'extension de ces sels à telle ou telle zone de flexure qui sépare avec précision la zone subsidente de zones voisines résistantes. Le fait est particulièrement frappant quand ces aires de surépaisseur sont localisées en position tout à fait excentrée et quand ces zones excentrées – du moment qu'elles ont été laissées affamées par la faiblesse des apports détritiques – sont remplies d'évaporites très pures. Le modèle synchrone ne peut expliquer ces faits.

7. Dans le modèle synchrone avec des eaux périphériques plus ou moins dessalées jouant sur une grosse lentille centrale d'eau saturée en chlorure de sodium à la façon d'un diaphragme, la taille du bassin ne manquerait pas d'avoir un rôle de premier ordre sur l'importance des apports. En effet schématiquement dans ce modèle, en position centrale, les apports argileux devraient être d'autant plus réduits que le bassin est grand: car les apports argileux sont fonction du ruissellement continental périphérique et «s'essouffleront» plus au centre d'un bassin de grande taille, difficile à recouvrir par le diaphragme sous-salé que dans un bassin de petite taille. Pour la raison inverse et symétrique, le sel gemme sera en quantité d'autant plus faible que le bassin sera plus petit. Dans ces conditions, suivant la taille des sous-bassins du Carnien d'Europe occidentale que nous avons considérés, il devrait y avoir des successions disparates, tant pour ce qui est des bancs de sel que des bancs argileux; ce qui devrait avoir pour effet de rendre méconnaissable la physionomie des faisceaux successifs. De ce point de vue, non seulement le modèle n'est pas adapté au trait fondamental de ces successions dans les bassins et sous-bassins différents, mais il est même totalement contradictoire. Par contre, peut-être pourrait-il avoir une validité limitée pour des cas tels que celui de certains sous-bassins du Zechstein où les argiles, abondantes en position périphérique, se biseautent plus ou moins complètement en position centrale.

## 6. Conclusions

Dans les bassins salins étudiés, l'aridité et les circulations entravées ont été – comme à l'accoutumée – des conditions préalables et indispensables à la sédimentation évaporitique. La morphologie des bassins, sorte de somme algébrique des mouvements verticaux (en particulier de la subsidence, épigenèse, etc.) et des apports, n'a été déterminante que pour localiser les principales fosses halitiques. Mais ces conditions, banales dans tous les bassins évaporitiques, ne rendent pas compte de l'observation fondamentale propre à ces bassins carniens du domaine germanique sensu lato (Bresse-Jura, Lorraine-Champagne, mer du Nord méridionale); c'est-à-dire de l'extraordinaire extension de séquences salines et argileuses, à peu près rigoureusement identiques dans de vastes bassins, à la fois distants et disjoints.

Ces successions identiquement reproduites ont donc une indéniable indépendance par rapport aux bassins où on les observe, par rapport à l'allure morphologique de chaque bassin, par rapport à l'éloignement de la mer ouverte, par rapport à la proximité des zones d'apports, etc. ... Cette constance latérale de la séquence dans tous ces bassins et d'un bassin à un autre, suppose à la fois l'extension (à l'échelle des diagraphies) de chaque couche élémentaire de sel et d'argiles dans tous ces bassins et, en outre, le caractère isopaque, grossièrement au moins, de chacune de ces couches sur toute cette

superficie. Nous avons tenté de démontrer que cette similitude de la séquence est imputable au fait que les couches de sel, aussi bien que les intercalations argileuses, ont été produites (soit initiées, soit transportées) dans la tranche d'eau de surface, c'est-à-dire bien au-dessus des irrégularités topographiques du fond.

Ainsi débarrassée des facteurs et singularités locaux, chaque couche de l'alternance représente le témoignage d'une période climatique dont les effets ont couvert l'ensemble du domaine étudié.

Les périodes arides sont responsables des dépôts chimiques. A ces époques, les continents ne produisent plus rien. La pompe d'une évaporation dominante a attiré dans ces bassins, depuis la mer ouverte, les éléments minéraux véhiculés par les saumures. Initialement alimentés par l'évaporation de surface, les dépôts de sel ont recouvert tous les bassins de couches d'épaisseur identique, puisque conditionnée par le seul facteur-temps. Ces phases peuvent être qualifiées de thalassocratiques.

Au contraire l'intervention pulsatoire de périodes plus humides a entraîné un regain du ruissellement continental: ce furent les périodes géocratiques. Pendant celles-ci, les eaux douces inondent le bassin, recouvrent les saumures résiduelles désormais cantonnées sous une pycnocline, dissolvent les couches de sel des aires périphériques les moins profondes, réalisant un véritable arasement de la halite située au-dessus de la cote de la pycnocline. Pendant ces périodes, les eaux chargées d'argiles ont pu circuler sur de très grandes distances couvrant l'ensemble de ces bassins disjoints, en se répandant à un niveau intermédiaire où la différence de densité entre ces eaux turbides et les saumures sous-jacentes s'annulait. Ainsi ont été produites ces couches d'argiles, d'une homogénéité d'épaisseur tout-à-fait exceptionnelle.

Ainsi, ces séquences, aux similitudes extraordinaires dans des bassins distants et disjoints, démontrent une conclusion inattendue: ces dépôts salifères et argileux, le plus souvent considérés comme des «faciès de fond», ont été produits en surface ou à mi-profondeur entre l'épi- et l'hypolimnion. Et ils sont de ce fait le reflet fidèle de périodes climatiques conduisant à la prédominance alternée des éléments terrigènes puis des éléments d'origine marine. A ce titre, ce type de séquences découvert par C. Marchal mérite de devenir aussi classique que le sont devenues les successions de KLUPFEL (1917) dans le domaine de la sédimentation argilo-carbonatée du milieu marin ouvert.

### Remerciements

Les auteurs remercient bien vivement C. Marchal qui a réalisé de nombreuses observations sur lesquelles ce travail est fondé. En outre, il a critiqué très minutieusement une première version de ce texte et a fourni la matière à de nombreuses améliorations tant sur le fond que sur la forme. J. Hilly qui a suscité de nombreux travaux sur les évaporites et en particulier sur celles du Trias mérite toute notre reconnaissance pour les données qu'il nous a apportées oralement et par écrit et pour la critique minutieuse qu'il a exercé sur une première version de notre texte. Nous exprimons également notre reconnaissance à R. Moretto, A. Curial, D. Noël, J. M. Rouchy, M. M. Valleron-Blanc, D. Cussey-Geisler et D. Dumas dont les observations et les résultats ont contribué à la maturation de nos propres conceptions. Nous remercions E. Cambreleng qui a préparé les dessins de cette note, G. Tortel qui a dactylographié le texte, M. Destarac qui a participé à la mise au point des dessins par des travaux photographiques, N. Day qui a mis en forme la liste des travaux cités et A. Ehrlich qui a traduit notre résumé en allemand. J. Mangin, M. C. Laurent, J. Sorant ont contribué par leurs lectures sur magnétophone à pallier les conséquences de la cécité qui atteint l'un de nous. Ce travail a été mené à bien grâce aux moyens de l'Unité Associée 1209 du Centre National de la Recherche Scientifique.

## BIBLIOGRAPHIE

- BUSSON, G. (1978): Genèse des évaporites: les enseignements des milieux épicontinentaux apparaissent-ils transposables aux évaporites de marge océanique? – *Bull. Soc. géol. France* (7) 20/4, 533–545.
- BUSSON, G., & PERTHUISOT, J.P. (1986): La synthèse des données. Chapitre 8. In: *Les séries à évaporites en exploration pétrolière. T. 1: Méthodes géologiques* (p. 165–217). Chambre syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel, Comité des techniciens et GRECO 52 (CNRS). – Technip, Paris.
- BUSSON, G., & CORNÉE, A.: Le Permien du Delaware (sud des Etats-Unis): exemple de relations entre couches à matière organique de centre de bassin et évaporites de marge. – *Mém. Mus. natl. Hist. nat. (Paris)* (à paraître).
- CURIAL, A. (1986): La sédimentation salifère et supra-salifère du Paléogène Bressan (France): Comparaison entre les données diagrapiques et lithologiques. *Etude diagrapique du champ d'Etrez et synthèse du bassin.* – Doc. Unité Associée 1209 (CNRS), Paris 11.
- GEISLER-CUSSEY, D. (1986): Approche sédimentologique et géochimique des mécanismes générateurs de dépôts évaporitiques. Sur les exemples actuels de salins de Camargue et d'Espagne et fossiles du Messinien méditerranéen et du Trias lorrain. – *Mém. Sci. Terre, Nancy* 48.
- HARMS, J.C. (1974): Brushy Canyon Formation, Texas; a deep-water density current deposit. – *Bull. geol. Soc. Amer.* 85, 1763–1784.
- HAUG, E. (1907): *Traité de Géologie. I. Les phénomènes géologiques.* – Libr. A. Colin, Paris.
- HERRY, M. (1982/83): Etude géométrique par diagrapiques différées du bassin évaporitique keupérien de Bresse-Jura. – *Bull. Sci. Terre, Nancy* 25/2, 107–137.
- KLUPFEL, W. (1917): Über die Sedimente der Flachsee im Lothringer Jura. – *Geol. Rdsch.* 7, 97–109.
- MARCHAL, C. (1983): Le gîte salifère keupérien de Lorraine-Champagne et les formations associées. Etude géométrique. Implications génétiques. – *Mém. Sci. Terre, Nancy* 44.
- (1986): Le sel: marqueur stratigraphique et reflet de l'évolution structurale d'un bassin à partir de corrélations diagrapiques entre des séries keupériennes de l'Europe du N.W. – *C.R. Acad. Sci. (Paris). (II)*, 303, 1135–1140.
- MORETTO, R. (1986): Etude sédimentologique et géochimique des dépôts de la série salifère paléogène du bassin de Bourg-en-Bresse (France). – *Mém. Sci. Terre, Nancy* 50.
- MOTTS, W.S. (1972): Geology and Paleoenvironments of the Northern Segment, Capitan Shelf, New Mexico and West Texas. – *Bull. geol. Soc. Amer.* 83, 701–722.
- ROUCHY, J.M. (1982): La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. – *Mém. Mus. natl. Hist. nat. (Paris)* [n.s.], sér. C. (Sci. Terre) 50.
- SCHMALZ, R.F. (1971): Evaporites and Petroleum. Reply. – *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.* 55/11, 2042–2045.
- SONNENFELD, P. (1984): Brines and Evaporites. – Academic Press Inc., Orlando, Florida.

Mansucrit reçu le 7 septembre 1987

Révision acceptée le 25 avril 1988

