

Témoins structuraux et géochimiques de diapirs synrift dans les Alpes Occidentales

par Pascale HUYGHE*, Georges MASCLE* et Thierry FAUCHER*

RÉSUMÉ. — Les diapirs apparus précocement sur la marge occidentale de la Téthys ligure ont, pour la plupart, été réactivés lors du raccourcissement alpin. En général, les arguments structuraux témoignant d'une mise en place précoce ont été largement détruits, sauf dans le cas de structures de petite dimension. Dans le cas où les arguments structuraux ont été détruits, une caractérisation du diapirisme précoce paraît possible grâce à des traceurs géochimiques tels que le Sr des sédiments situés à proximité du diapir. Ainsi, au Riou d'Entraix, les dépôts contemporains de l'écoulement plastique du diapir au fond du bassin de sédimentation révèlent des teneurs anormales en Sr liées à des circulations de fluides salins.

MOTS CLÉS. — Diapirisme synrift, remobilisation, contamination géochimique, Alpes de Haute Provence.

Geochemical and structural evidence for synrift halokinetic structures in the Western Alps

ABSTRACT. — It is now generally recognised that Jurassic synrift halokinesis occurred in the Western Alps [Mascle *et al.*, 1988 ; Dardeau *et al.*, 1990]. Most synrift halokinetic structures which developed on the European margin of the Ligurian Tethys were strongly reactivated during Alpine shortening. As a consequence, these early halokinetic structures were reworked and strongly deformed, leading in most cases to destruction of structural evidences for synrift Jurassic diapirism.

This study is mainly based on field analysis performed on the diapiric structures of Laragne and Clamensane in the South East Basin (fig. 1). Its aims were :

- to characterise some of the parameters governing reactivation of the synrift halokinetic structures,
- to identify geochemical markers for synrift halokinesis when structural relationships lack because of strong reactivation.

Early preserved halokinetic structure/Early reactivated halokinetic structure

Structural evidences for Jurassic salt extrusion were observed for the Pijarbaud little halokinetic structure (fig. 1. Lat. : 44°19', Long. : 5°51') which has been preserved from reactivation (fig. 2). They are analogous dips between extrusive salt (« namakier » [Jackson, 1986]) and contemporaneous deposits, turned up position of the sediments surrounding the diapiric stem [Dixon, 1975], and detached evaporites blocks incorporated in Jurassic sediments [1986].

* Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines et UMR 5025, Université Joseph Fourier, 15 rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble cedex.

We compiled the estimated size of the diapiric structures recognised in the Western Alps (Emre, 1977 ; Arnaud *et al.*, 1978 ; Desmaison, 1985 ; Graciansky *et al.*, 1986 ; Kerckhove, 1986 ; Delpéch *et al.*, 1988 ; Mascle *et al.*, 1988 ; Huyghe, 1988 ; Dardeau *et al.*, 1990) (Fig. 3). Our results suggest that reactivation of early halokinetic structures during Alpine deformations is strongly controlled by their size. This control relates to the crucial effect of the stress gradient [Jenyon, 1986] and of the feeding of the growing diapiric structure [Jackson, 1986].

Geochemical evidences for synrift diapirism :

When intensive Alpine deformations affected Jurassic halokinetic structures and made it difficult to determine their age from structural observations, we tried to find geochemical evidences for synrift diapirism.

A geochemical study (X fluorescence) was performed on samples from Riou d'Entraix (Lat. : 44°17', Long. : 6°03) (Fig. 1) where Jurassic diapirism of keuper gypsum was recognised [Arnaud *et al.*, 1978]. To characterise briny flow on the basin floor, we used strontium, which is very abundant in sulphates. We found that (fig. 4) :

- Jurassic sediments localised close to the diapiric stem but deposited prior to salt extrusion show a quite common Sr content (350 ppm) [Taylor, 1985] and therefore have not been contaminated by gypsum flow which occurs mainly by intragranular gliding and twinning [Baumann, 1984],

- Jurassic sediments contemporaneous with salt extrusion show a very high Sr content (600-3000 ppm). Therefore they could have been contaminated by briny flow linked to early diapirism. Indeed Sr variations related to sea-level changes [Pomerol & Renard, 1987 ; Emmanuel, 1993], lagunal environment or diagenetic evolution [Renard, 1972 ; 1985] were not taken in account because they are much lower than the observed ones.

As contamination seems to be restricted to areas where extrusive salt flowed, this geochemical method based on Sr analysis of the sediments localised around the halokinetic structure should be powerful to identify a salt extrusion and to determine the period of its extrusion on basin floor.

Conclusion

As most of the synrift halokinetic structures of the Western Alps were strongly reactivated during Alpine shortening, structural evidences for early diapirism were destroyed, except for little size structures. This suggests that the size of the structure is one of the parameters governing reactivation. When structural evidences for synrift diapirism are lacking, we showed that Sr geochemistry of sediments surrounding the halokinetic structures could be used to characterise this event.

KEY WORDS. — Synrift diapirism, reactivation, geochemical contamination, South Western Alps

De nombreuses études de terrain [Arnaud *et al.*, 1978 ; Desmaison, 1985 ; de Graciansky *et al.*, 1986 ; Dardeau *et al.*, 1990] ont montré que la marge passive européenne de la Téthys ligure avait été soumise aux effets d'une halocinèse précoce pendant le rifting téthy-sien [Masclé *et al.*, 1988]. Cette activité aurait débuté dès le Trias supérieur [Dardeau *et al.* 1990] ; elle semble avoir eu lieu le plus souvent pendant le Jurassique moyen, voire même le Crétacé [Kerckhove et Lereus, 1986]. Lors des épisodes de déformation alpine, les alignements diapiriques ont été remobilisés à la base de nappes de charriage dans la plupart des cas (fig. 1) [Masclé *et al.*, 1986]. De ce fait, les structures caractéristiques du diapirisme précoce n'ont pas été conservées.

Nos travaux sur le terrain au voisinage des diapirs de Laragne (Hautes Alpes) et de Clamensane (Alpes de Haute-Provence) (fig. 1) ont eu deux objectifs : d'une part, étudier les conditions qui permettent la préserva-

tion des structures associées à un diapirisme précoce malgré la déformation alpine ; d'autre part chercher si des singularités géochimiques dans les sédiments encaissant les diapirs ne pourraient pas montrer leur mobilisation synsédimentaire précoce.

1. - DIAPIR PRÉCOCE PRÉSERVÉ / DIAPIR PRÉCOCE RÉACTIVÉ

Dans le domaine alpin, comme dans toute zone ayant subi une halocinèse précoce, puis une succession de déformations, les deux types de diapirs -précoce préservé ou précoce réactivé- peuvent être rencontrés. Des arguments structuraux permettent de reconnaître les diapirs précoces lorsqu'ils ont été préservés ; c'est le cas du diapir de Pijarbaud (lat. : 44°19, long. : 5°51) aux environs de Laragne (Hautes-Alpes) (fig. 1). Cette structure (fig. 2) montre la disposition typique d'un diapir qui se serait mis en place au cours du Bathonien et aurait percé le fond du bassin de sédimentation : parallélisme entre les pendages des évaporites et ceux des dépôts contemporains dans la zone d'épanchement du diapir, rebroussement des sédiments encaissants sous l'effet de l'intrusion du sel dans la zone pédonculaire du diapir [Dixon, 1975], enfin, présence de blocs évaporitiques isolés, incorporés dans les sédiments à proximité du diapir. La bonne préservation des structures jurassiques indique que ce diapir, de très petite taille (quelques dizaines de mètres) n'a été que faiblement remobilisé pendant le cycle alpin. Pourtant, la masse évaporitique plus vaste de la Platrière située 1 km plus au nord (fig. 1) a été affectée par la tectonique compressive alpine [Bellon et Perthuisot, 1980 ; Gidon *et al.*, 1991], bien que sa mise en place précoce, probablement contemporaine de celle du diapir de Pijarbaud ait été envisagée [Arnaud *et al.*, 1978].

Nous avons comparé la taille des diapirs antérieurs à l'orogénèse alpine, reconnus dans le bassin du SE [Emre, 1977 ; Arnaud *et al.*, 1978 ; Desmaison, 1985 ; Delpech *et al.*, 1988], dans les Alpes Maritimes [Dardeau *et al.*, 1990] et dans la zone subbriançonnaise [Graciansky *et al.*, 1986 ; Kerckhove et Lereus, 1986] (fig. 1), et ainsi pu constater que seules les structures de petites tailles ont été préservées. Pour cela, nous avons effectué une compilation de la taille des diapirs en appréciant leur dimension par une mesure de la surface maximum de leur section d'après les cartes et les coupes disponibles dans la bibliographie ainsi que d'après nos propres données sur les diapirs de Laragne, de la Gineste et du Haut-Soleil [Huyghe, 1988]. Le report de ces données montre clairement deux ensembles de points (fig. 3). L'un d'eux correspond aux petites structures diapiriques précoces non réactivées, l'autre à celles de plus grande taille remobilisées lors du raccourcissement alpin. La signature « anté-alpine » des diapirs est argu-

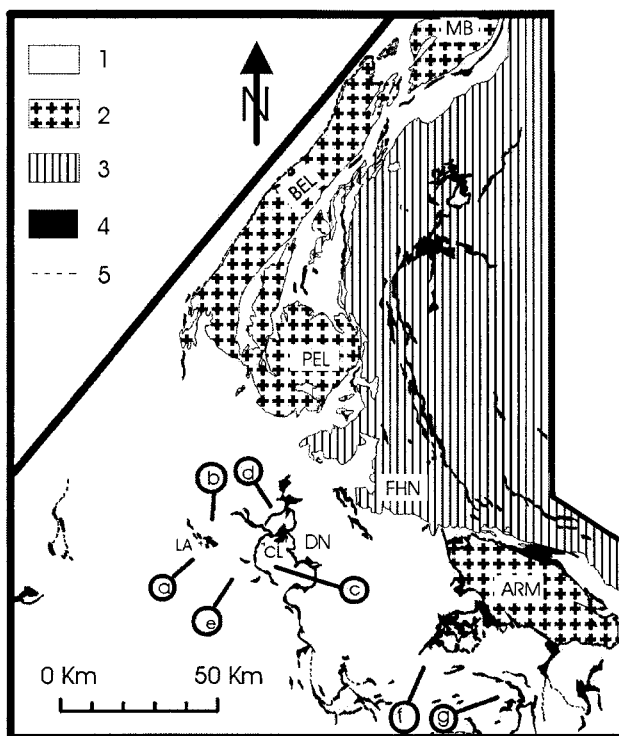


FIG. 1. - Carte schématique des Alpes occidentales franco-italiennes montrant les principaux affleurements de séries évaporitiques. Lors des déformations alpines, de nombreux alignements diapiriques ont été réactivés en base de nappes [d'après Masclé *et al.*, 1988].

Fig. 1. - Schematic map of the French-Italian Western Alps with indication of the main evaporitic outcrops.

1 : Mesozoic-Cainozoic sedimentary cover and Briançonnais ; 2 : external crystalline basement ; 3 : Internal Alps and Helminthoid flysh Nappes ; 4 : main evaporitic outcrops ; 5 : inferred prolongation of evaporitic sutures ; ARM : Argentera-Mercantour massif ; BEL : Belledonne massif ; CL : Clamensane ; DN : Digne Nappe ; FHN : Helminthoid flysh Nappes ; LA : Laragne ; MB : Mont Blanc massif ; PEL : Pelvoux massif - [d'après G. Masclé *et al.*, 1988].

Halokinetic structures of : a. Pijarbaud ; b. : Platrière ; c. : Entraix ; d. : Gineste and Haut-Soleil ; e. : Rochers de Hongrie ; f. : Daluis ; g. : Roquette sur Var.

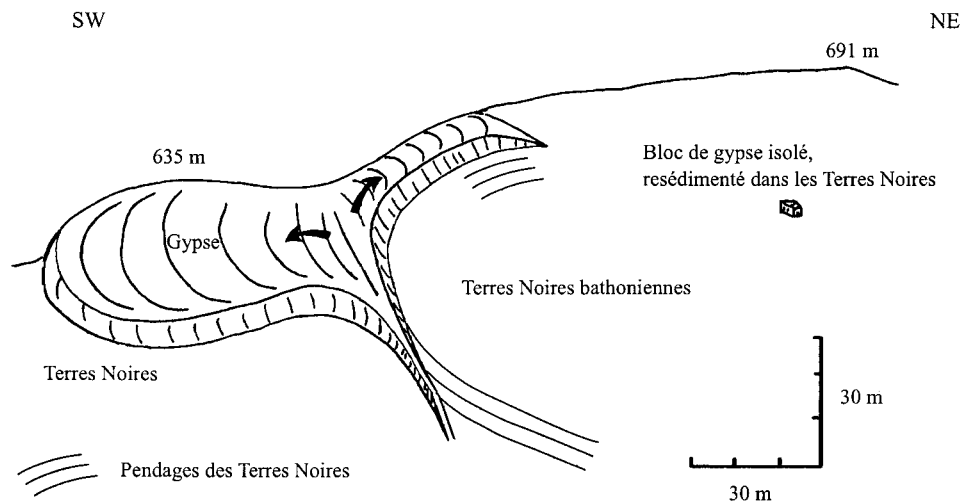


FIG. 2. – Coupe schématique du diapir du Pijarbaud (Laragne, lat. : 44°19, long. : 5°51). Dans la partie inférieure de la structure, le pendage des assises jurassiques est redressé au contact du gypse sous l'effet de l'injection de sel dans la zone d'enracinement du diapir. Son extrémité SW repose parallèlement aux couches de Terres Noires, suggérant son écoulement plastique pendant le Bathonien. La présence d'un bloc de gypse interstratifié dans les Terres Noires bathoniennes à moins de 100 mètres de la masse principale du diapir, dont il s'est probablement détaché pendant la sédimentation, et les relations structurales décrites ci-dessus suggèrent que cette phase de diapirisme a été d'âge bathonien.

FIG. 2. – Schematic cross-section of the Pijarbaud halokinetic structure (near Laragne, Lat. : 44°19, Long. : 5°51). In the lower part of the structure, the sediments directly in contact with gypsum show a turned up position. These intrusive relationships between evaporites and Jurassic sediments suggest that the latter are in contact with the stem of a diapiric structure. In the SW part of the cross-section, black-shales layers and gypsum are parallel suggesting that these Bathonian deposits were contemporaneous with gypsum extrusion. The parallelism between gypsum and the black-shales layers, and the occurrence of a resedimented gypsum block are evidences for a Bathonian gypsum extrusion.

mentée dans la couverture évaporitique par l'existence de discordances internes, de variations d'épaisseur le long de failles synsédimentaires ou par la présence de brèches et d'olistostromes sur les flancs de la structure [Masclé *et al.*, 1988]. La relation mise en évidence entre la taille et la réactivation des diapirs (fig. 3) est due aux conditions géologiques nécessaires à la mobilisation des évaporites. Parmi celles-ci, l'existence d'un gradient de contrainte [Jenyon, 1986] est primordiale, qu'elle soit liée à des variations du poids de la couverture, ou à des déséquilibres gravitaires consécutifs à des événements d'origine tectonique ou thermique. Il en résulte que l'ascension des évaporites est interrompue, et donc que le diapir s'immobilise, s'il rencontre une structure résistante impénétrable, s'il a atteint une géométrie et une situation gravitaire stables, s'il se sépare de la couche qui l'alimente, ou enfin si la couche qui alimente la structure diapirique s'épuise [Jackson, 1986]. Dans les deux derniers cas notamment, la structure ne peut plus s'accroître puisqu'elle n'est plus alimentée : elle conserve donc la géométrie gravitairement stable acquise lors de sa mise en place.

Dans de nombreux cas, ni l'analyse structurale, ni l'analyse stratigraphique ne fournissent d'arguments suffisants pour trancher entre diapir précoce réactivé et diapir strictement lié à l'orogénèse alpine. Nous avons donc été conduits à rechercher des méthodes complémentaires à ces études classiques, afin de reconnaître les diapirs précoces.

2. – CONTAMINATION GÉOCHIMIQUE AU VOISINAGE D'UN DIAPIR PRÉCOCE

Une étude géochimique a été réalisée au Riou d'Entraix, au sud de Clamensane (lat. : 44°17, long. : 6°03 ; fig. 1), où la mise en place diapirique de gypse dans les Terres Noires bathoniennes, le long du linéament de Clamensane, a été reconnue par Arnaud *et al.* [1978]. Le strontium, élément-trace abondant dans les sulfates, a été utilisé comme marqueur de la présence de fluides salins dans les sédiments en cours de dépôt lors de l'extrusion des évaporites au fond du bassin. La technique d'analyse géochimique mise en oeuvre est la fluorescence X par dispersion d'énergie.

Nous avons effectué des prélèvements réguliers dans l'encaissant des évaporites. L'analyse géochimique (fig. 4) montre deux groupes de valeurs : un groupe pour lequel les teneurs en strontium, d'environ 350 ± 5 ppm présentent la valeur moyenne caractéristique des sédiments de la croûte supérieure [Taylor et McLennan, 1985], un groupe pour lequel les valeurs en strontium sont plus élevées et même anormales (600 à 3000 ± 50 ppm). Ces anomalies très localisées, et dans une position structurale bien particulière, montrent que :

- les dépôts à teneur normale en Sr se situent à proximité du pédoncule du diapir, ce qui semble suggérer que le Jurassique « encaissant » proche du pédoncule du diapir n'a pas été contaminé lors de la mobilisation de la masse de gypse. Ceci est en accord avec les méca-

nismes prédominants de la déformation du gypse à basse température (mâclage et glissement inter-granulaire) où les fluides interviennent peu [Baumann, 1984].

- les dépôts à teneur anormale en Sr se situent à proximité de la zone d'extrusion des évaporites sur le fond du bassin de sédimentation. Les terrains jurassiques en cours de dépôt auraient pu être contaminés lors de l'épandage du gypse triasique ; ce qui expliquerait leurs teneurs élevées en strontium témoignant du passage de fluides salins.

La contamination en strontium, limitée aux sédiments contemporains et voisins de l'extrusion de gypse pourrait par conséquent être liée à la sursalure engendrée par l'épanchement évaporitique.

Des fluctuations assez similaires (de l'ordre de 50 à 2000 ppm) ont été observées dans les carbonates du Lutétien supérieur du bassin de Paris et attribuées à des niveaux de sursalure, dans ce cas liés à un environnement lagunaire [Renard, 1972]. En revanche, les variations des teneurs en strontium mises en évidence au Riou d'Entraix sont beaucoup trop importantes pour les relier à des variations du niveau marin qui sont de l'ordre de 200 à 300 ppm [Pomerol et Renard, 1987 ; Emmanuel, 1993]. Les transformations diagénétiques tendent au contraire à diminuer les teneurs en strontium des sédiments [Renard, 1985] et n'expliquent pas non plus les fortes teneurs observées.

Le strontium, indicateur de la salinité, paraît donc être un bon marqueur des phénomènes diapiriques, et plus particulièrement de la mise en place d'évaporites sur le fond du bassin de sédimentation -namakier [Jackson et Talbot, 1986]. Cette méthode semble permettre de détecter la mise en place précoce des structures halocinétiques, lorsqu'elles ont été réactivées ultérieurement. Dans le cas où plusieurs remobilisations du diapir se sont produites, on pourrait même envisager que chacune ait été enregistrée dans la pile sédimentaire par un enrichissement en strontium de différentes strates.

Il faut noter que plusieurs niveaux particulièrement riches en strontium ont été signalés par Artru [1966] dans le Callovien inférieur du bassin vocontien et par M. Renard [comm. personnelle], sans que ces phénomènes

aient été interprétés. Ceci pourrait signifier, soit que le bassin était confiné, soit qu'à diverses époques le gypse atteignait le fond de la mer, et que des fluides diapiriques riches en Sr, circulant alors librement sur le fond de la mer, auraient contaminé les sédiments en cours de dépôt.

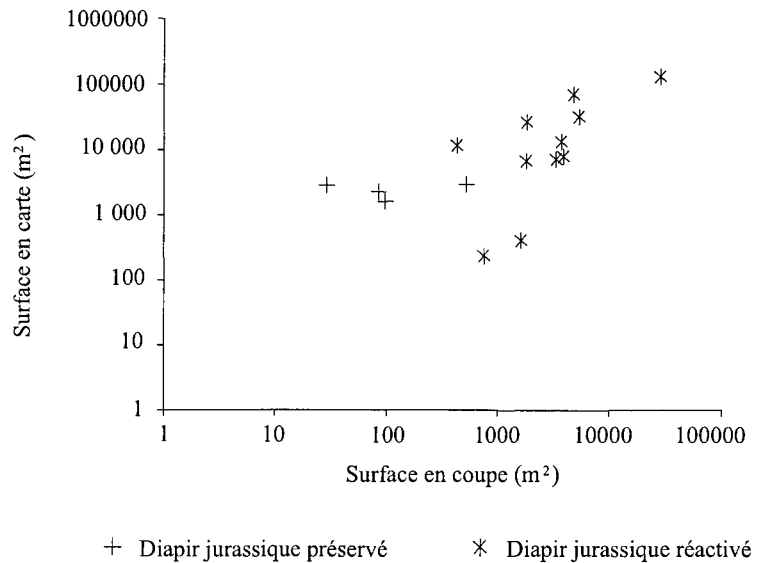


FIG. 3. – Taille des diapirs et remobilisation. Les diapirs de petite dimension ont été préservés lors du raccourcissement alpin alors que les diapirs de plus grande dimension ont réactivés.

FIG. 3. – *Halokinetic structures : size and reactivation. Small halokinetic structures have not been reactivated during Alpine shortening, whereas larger diapiric structures have been reworked.*

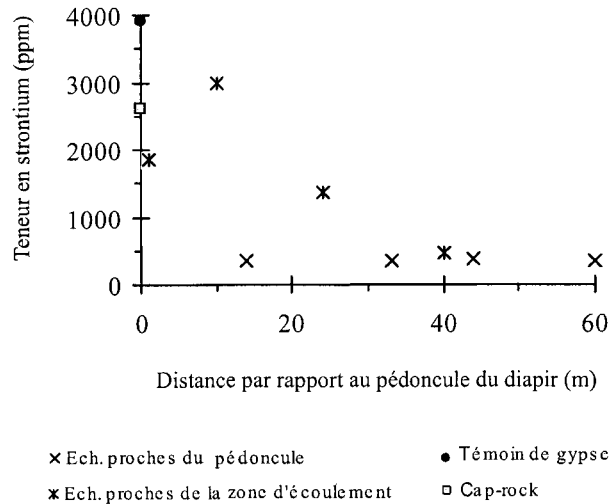


FIG. 4. – Evolution de la teneur en strontium des Terres-Noires (ppm) en fonction de leur distance par rapport au diapir (m) (Riou d'Entraix).

FIG. 4. – *Strontium content of the Jurassic sediments (ppm) in relation with their location and distance (m) to the diapiric structure of the Riou d'Entraix (Lat. : 44°17', Long. : 6°03').*

3. – CONCLUSION

L'analyse structurale permet de déceler les périodes de mise en place de certains diapirs et parfois même les périodes d'extrusion des évaporites. Cependant, lors de l'orogénèse alpine, les rapports structuraux résultant d'un diapirisme précoce ont le plus souvent été détruits, à l'exception des diapirs de petite dimension où ils ont été préservés. Dans le cas des diapirs de plus grande taille, dont la disposition structurale acquise précocement a été bouleversée par l'orogénèse alpine, l'analyse

de la teneur en Sr des sédiments contemporains de l'écoulement plastique des évaporites sur le fond du bassin de sédimentation paraît être une méthode permettant de détecter les périodes de mise en place et d'extrusion.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Messieurs P.C. de Graciansky et J.L. Mugnier pour la lecture critique de ce manuscrit et pour leurs nombreuses suggestions.

Références

- ARNAUD H., GIDON M. & PAIRIS J. L. (1978). – Les thèmes structuraux de la tectonique synsédimentaire jurassique du domaine vocontien : données fournies par les chaînes subalpines de Gap à Sisteron. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **287**, série D, 217-220.
- ARTRU P. (1966). – Les Terres-Noires du bassin rhodanien (Bajocien sup. à Oxfordien moy.). Thèse, Lyon, 173 p.
- BAUMANN W. (1984). – Rheologische Untersuchungen an Gips. *Eclogae geol. Helv.*, **77**, 301-425.
- BELLON H. & PERTHUISOT V. (1980). – Âges radiométriques K/Ar de feldspaths potassiques du Trias diapirique vocontien. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **290**, série D, 1241-1244.
- DARDEAU G., FORTWENGLER D., DE GRACIANSKY P. C., JACQUIN T., MARCHAND D. & MARTINOD J. (1990). – Halocinèse et jeu de blocs dans les Baronnies : diapirs de Propiac, Montaulieu, Condorcet (Département de la Drôme, France), *BCREDP Elf Aquitaine* **14**, 111-159.
- DE GRACIANSKY P. C., RUDKIEWICZ J. L. & SAMEC P. (1986). – Tectonique salifère d'âge jurassique dans la zone subbriançonnaise (Savoie-Alpes françaises). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **302**, série II, 891-896.
- DELPECH P. Y., DARDEAU G. & LEMOINE M. (1988). – Tectonique synsédimentaire jurassique et halocinèse associée en bordure occidentale du Dôme de Barrot (zone externe des Alpes occidentales). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **306**, série II, 553-556.
- DESMAISON L. (1985). – Halocinèse d'âge jurassique dans les Baronnies, la liaison avec la genèse du bassin. Thèse 3e cycle, Paris, 168 p.
- DIXON J.M. (1975). – Finite strain and progressive deformation in models of diapiric structures. *Tectonophysics*, **28**, 89-124.
- EMMANUEL L. (1993). – Apports de la géochimie des carbonates à la stratigraphie séquentielle. Application au Crétacé inférieur du domaine vocontien. Thèse de l'université P. & M. Curie.
- EMRE T. (1977). – Contribution à l'étude de quelques diapirs du S.E. de la France. Thèse 3e cycle, Grenoble, 142 p.
- GIDON M., MOULLADE M., MONJUVENT G. & FLANDRIN J. (1991). – Notice de la carte géologique de Laragne-Montéglin, 1/50 000, eds. BRGM.
- HUYGHE P. (1988). – Le diapirisme précoce dans le domaine alpin. Mémoire de DEA Grenoble, 1988, p. 1-77.
- JACKSON M. P. A. & TALBOT C. J. (1986). – External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures. *Géol. Soc. Amer. Bull. Boulder*, **97**, 305-322.
- JENYON M. K. (1986). – Salt tectonics. Elsevier, Amsterdam, 191 p.
- KERCKHOVE C. & LEREUS C. (1986). – Un paléodiapir à coeur triasique resédimenté dans le Crétacé du Morgon (zone subbriançonnaise des nappes de l'Embrunais-Ubaye, zones internes des Alpes occidentales). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **303**, série II, 1813-1818.
- MASCLE G., ARNAUD H., DARDEAU G., DEBELMAS J., DELPECH P.Y., DUBOIS P., GIDON M., DE GRACIANSKY P.C., KERCKHOVE C. & LEMOINE M. (1988). – Salt tectonics, Tethyan rifting and Alpine folding in the French Alps. *Bull. Soc. géol. France*, **8**, IV, 747-758.
- POMEROL C. & RENARD M. (1987). – Méthodes chimiques de la stratigraphie. in : Stratigraphie, méthodes, principes, applications, Doin eds, Paris, 139-190.
- RENARD M. (1972). – Interprétation des teneurs en Sr des carbonates du Lutétien supérieur de St-Vaast-les-Mello (Oise) : Mise en évidence de la valeur de cet élément comme indicateur des conditions de diagenèse et sédimentogénèse. *Bull. Inf. Geol. Bass. Paris*, **34**, 19-29.
- RENARD M. (1985). – Géochimie des carbonates pélagiques : mise en évidence des fluctuations de la composition chimique de l'eau de mer depuis 140 MA. Essai de chémiostatigraphie. *Doc. BRGM*, Orléans, **85**, 650 p.
- TAYLOR S. R. & MCLENNAN S. M. (1985). – The Continental Crust : its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, 312 p.