

Zeitschrift:	Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber:	Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band:	86 (1993)
Heft:	1
Artikel:	Enregistrement de l'activité séismique dans les sédiments : exemple des plates-formes carbonatées messiniennes d'Afrique du Nord
Autor:	Machhour, Louaï / Cornée, Jean-Jacques / Saint Martin, Jean-Paul
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-167242

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: 29.01.2026

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

Enregistrement de l'activité séismique dans les sédiments: Exemple des plates-formes carbonatées messiniennes d'Afrique du Nord

Par LOUAÏ MACHOUR¹⁾, JEAN-JACQUES CORNÉE²⁾, JEAN-PAUL SAINT MARTIN²⁾, PIERRE LEHMANN³⁾ & JACQUES MULLER²⁾

RÉSUMÉ

De nombreuses structures de déformations synsédimentaires ont été relevées dans les dépôts messiniens de plate-forme en Afrique du Nord (Algérie et Maroc). Ces structures ont été reconnues dans quatre à cinq niveaux des plates-formes et sont particulièrement abondantes dans les formations postérieures au développement des récifs coralliens.

Deux familles de déformations sont distinguées: 1) des déformations cassantes surtout représentées par des paléofailles normales; 2) des déformations viscoplastiques représentées par des replis synsédimentaires, des figures d'expulsion de fluides et des slumps.

L'analyse des caractéristiques lithologiques, sédimentologiques et géométriques des structures observées, nettement scellées par des couches sus-jacentes non déformées, indique que la déstabilisation et la remobilisation des sédiments impliqués ont été provoquées par un événement brusque, d'incidence superficielle. De telles structures peuvent être imputées à l'intervention de séismes, dont l'effet varie selon l'état d'induration des sédiments. Dans les sédiments encore gorgés d'eau, les déformations résultent de l'intervention de plusieurs types de processus mécaniques: comportement différentiel du matériel, présence constante de tensions latérales, rôle éventuel des horizons argilo-sableux. Toutefois, à la périphérie des paléoreliefs sous-marins, une partie des structures recensées (slumps, plis d'entrainement ...) témoigne de l'influence d'un phénomène gravitaire marqué par des glissements sur une pente, la déstabilisation initiale des sédiments étant probablement d'origine séismique. Dans les sédiments précocement indurés, le passage de l'onde séismique est matérialisé essentiellement par des déformations cassantes.

La mise en évidence d'une activité séismique messinienne en Méditerranée occidentale traduit une instabilité tectonique régionale discrète mais quasi permanente, contrôlant en partie la sédimentation et la distribution des faciès sédimentaires.

ABSTRACT

Numerous synsedimentary deformational structures are observed in the Messinian platforms from North Africa (Morocco, Algeria). These structures were identified in four to five levels of the platforms and are especially well developed in the post-reefal sediments.

Two kinds of structures occur: 1) brittle structures with mainly normal faults; 2) viscoplastic structures with synsedimentary folds, diapiric structures and slumping.

The lithology and the sedimentology of the deformed sediments as well as the geometry of the structures that are fossilized by the upper beds imply that the deposits were reworked by superficial and sudden events. Such

¹⁾ URA 1208 CNRS, Université de Provence, Place Victor Hugo case 67, F-13331 Marseille Cedex 03 et Géologue-Conseil, 53 Bd Tellène, F-13007 Marseille.

²⁾ URA 1208 CNRS, Université de Provence, Place Victor Hugo case 67, F-13331 Marseille Cedex 03.

³⁾ TOTAL-CFP, Centre scientifique et technique, domaine de Beauplan, route de Versailles, F-78470 Saint Rémy-les-Chevreuse.

structures may result from seismic activity through differently compacted levels. In still water-rich sediments, the structures depend on several mechanical constraints as differential reworking, constant lateral stresses, etc. Some of these structures (slumpings, drag-folds) are however influenced by gravity with slidings on slopes, immediately after the seismic event. In early lithified sediments, seismic waves induced brittle deformations.

The evidence of a Messinian seismic activity in the Western Mediterranean area underlines a slight, but permanent, tectonic activity that may have locally controlled the sedimentation and the distribution of some facies.

1. Introduction

Après la surrection de l'arc bético-rifain au Miocène ancien, la mer transgresse largement en Méditerranée occidentale au cours du Tortonien tardif et durant une partie du Messinien (Saint Martin & Rouchy 1990). Cette dernière période, qui correspond au développement des plates-formes carbonatées dans l'ensemble du domaine méditerranéen, semble caractérisée par un calme tectonique relatif. L'étude détaillée des bassins sédimentaires messiniens du Maroc et d'Algérie a permis toutefois de reconnaître une activité tectonique discrète, mais permanente, au cours de l'édification des plates-formes messiniennes. Des structures macroscopiques de déformations synsédimentaires, mises en relation avec une activité séismique, ont été ponctuellement signalées dans le SE de l'Espagne (bassin de San Miguel de Salinas: Montenat 1980; Garcin 1987; bassin de Sorbas: Ott d'Estevou 1980) et en Afrique du Nord (Saint Martin & Machhour 1989; Saint Martin 1990). Des déformations de ce type sont qualifiées de séismites, terme caractérisant des déformations provoquées par le passage d'ondes séismiques dans un sédiment (Seilacher 1969; Montenat 1980; Plaziat et al. 1990). Nous nous proposons dans cet article d'analyser les diverses structures de déformations synsédimentaires messiniennes et de dégager les modalités de l'enregistrement de l'activité séismique dans les sédiments. L'étude a porté sur trois secteurs d'Afrique du Nord (fig. 1) où elles sont bien exprimées:

- la plate-forme de Melilla-Nador, dans le Rif Nord-Oriental (Maroc);
- la plate-forme du Murdjadjao sur la marge nord-occidentale du bassin du Chelif (Algérie occidentale);
- la marge méridionale du bassin du Chelif (Algérie occidentale), sur le rebord nord de la chaîne des Tessala.

En Afrique du Nord, les formations carbonatées du Messinien occupent les marges de bassins dont la paléogéographie est complexe. Le substratum est formé soit de terrains marins tortoniens, soit de divers termes plus anciens, sur lesquels la plate-forme s'est installée en transgression. A la suite des travaux de Saint Martin & Rouchy (1990), on peut considérer que l'évolution séquentielle des plates-formes messiniennes de Méditerranée occidentale est comparable, avec quatre termes successifs bien caractérisés (fig. 2).

Le terme 1 correspond aux premiers stades de la transgression tortono-messinienne avec des sédiments détritiques (sables, marnes), conglomeratiques à la base. Aucune figure significative de déformation n'y a été constatée.

Le terme 2 est composé surtout de calcaires biodétritiques riches en Rhodophycées passant vers le bassin à des marnes et des diatomites. Cet ensemble correspond à la mise en place des plates-formes carbonatées et constitue un cortège de haut-niveau marin, caractérisé à Melilla par la progradation des calcaires biodétritiques. Ces derniers sont

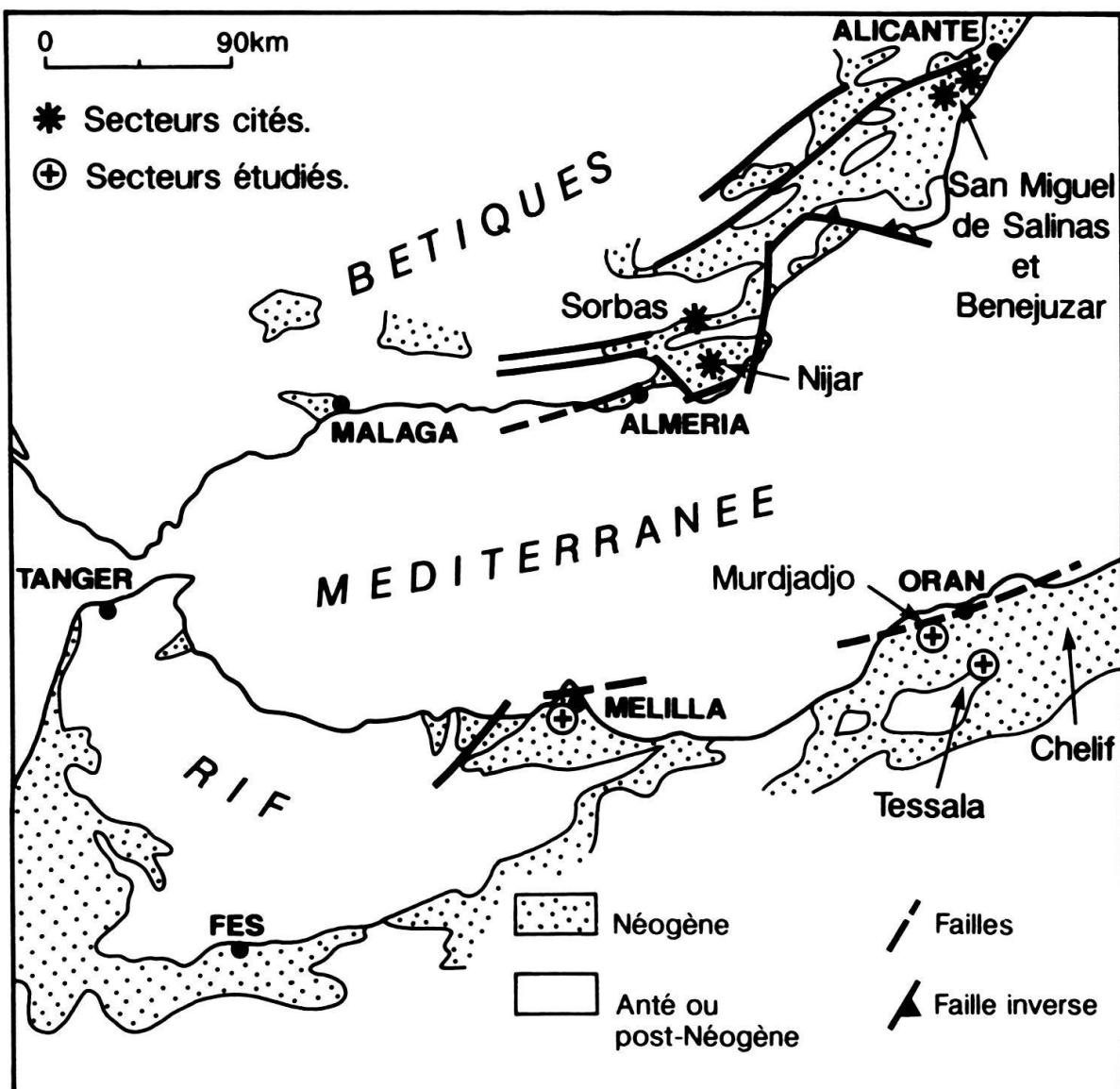


Fig. 1. Les bassins de sédimentation néogènes en Méditerranée occidentale.

affectés de failles normales conjuguées synsédimentaires. Sur la bordure des Tessala, des déformations à caractère gravitaire (slumps, dislocations de bancs) ont été observées.

Le terme 3 est représenté par un système récifal corallien progradant, qui a été interprété comme un cortège de bordure de plate-forme (Saint Martin et al. 1991). Sur le flanc nord des Tessala (région de Sig), les constructions coraliennes sont intercalées dans des sédiments sableux affectés de déformations viscoplastiques.

Le terme 4 est composé de sables, calcaires argileux, calcaires oolitiques et stromatolithiques correspondant à un nouveau cortège transgressif, discordant sur les termes précédents. La plupart des déformations décrites à Melilla et sur le Murjadjo ont été observées au sein de ce cortège de milieu très peu profond (quelques mètres au plus). En outre, une activité tectonique intervient entre les termes 3 et 4 et se manifeste à Melilla par des paléoscarpements métriques de direction NNE–SSW affectant le rebord de la masse récifale.

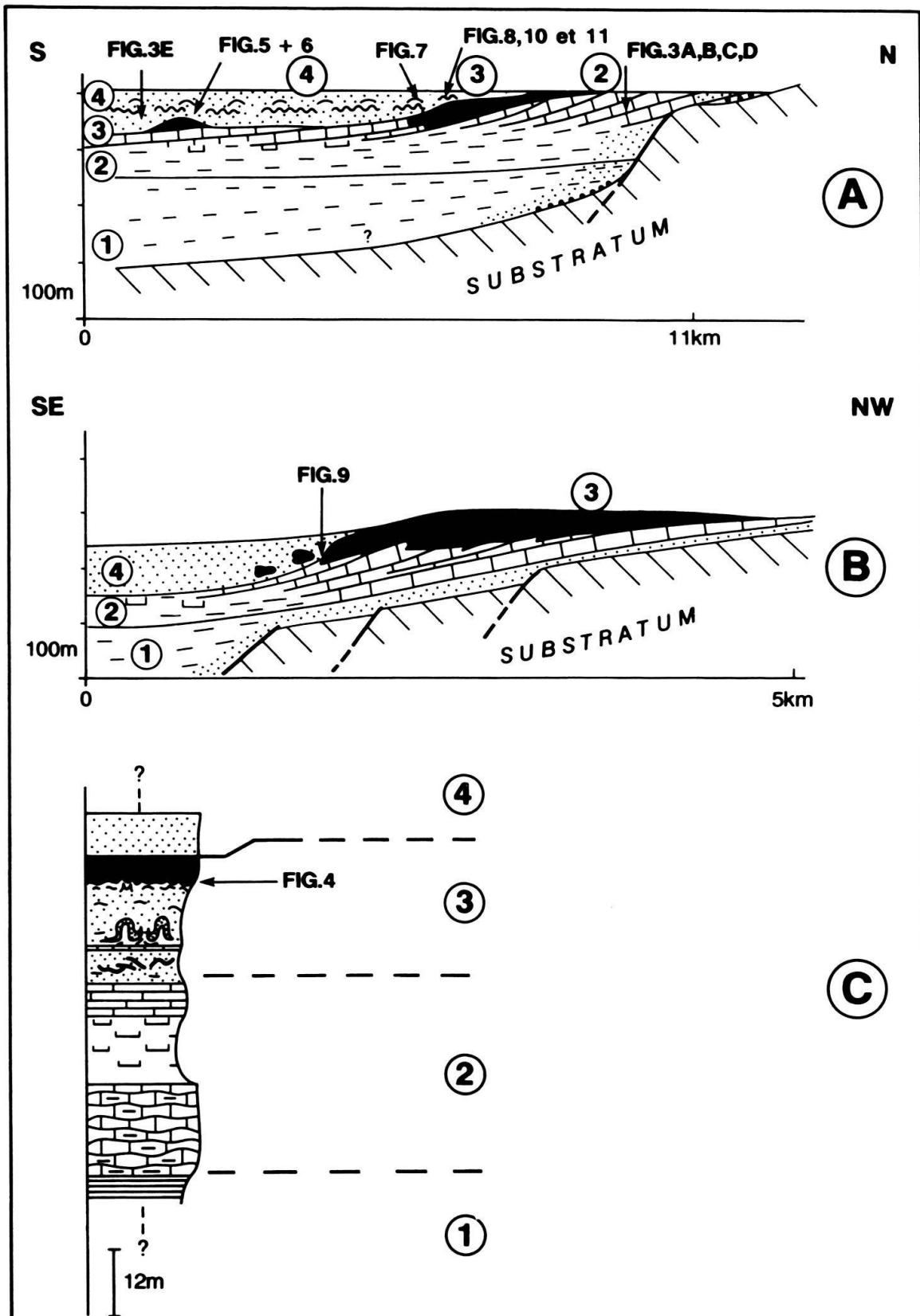


Fig. 2. Coupes générales dans les plates-formes étudiées et situation des principales déformations recensées. A: Plate-forme de Melilla (Saint Martin et al. 1991, modifié); B: Plate-forme du Murjadjo (Saint Martin 1990, modifié); C: Exemple de succession dans la plate-forme des Tessala (Saint Martin 1990); 1: marnes et sables du terme 1; 2: calcaires biodétritiques, marnes et diatomites du terme 2; 3: corps récifaux coralliens et calcaires biodétritiques du terme 3; 4: grès, calcaires oolitiques et stromatolitiques du terme 4.

L'arrangement des cortèges sédimentaires est étroitement dépendant de leur substratum. En effet, les plates-formes carbonatées messiniennes s'installent sur des paléo-reliefs parfois accusés, en particulier des paléoscarpements à fort pendage, correspondant probablement à d'anciennes failles anté-messiniennes. Cette disposition est par exemple reconnue à Melilla, où les termes 2 + 3 cachètent une dénivellation de l'ordre d'une centaine de mètres dans le substratum, selon une direction N 70° E à subéquatoriale (fig. 1, fig. 2A). De telles morphologies pourraient également en partie guider la répartition des plates-formes d'Oranie qui frangent le bassin du Chelif (fig. 1) selon une direction ENE – WSW.

Nous avons distingué deux types de déformations synsédimentaires, cassantes et viscoplastiques.

2. Structures cassantes

a) *Dans le terme 2*

Deux types de paléofailles ont été localement individualisées dans les calcaires biodétritiques progradants de Melilla.

Un premier système est composé de failles conjuguées subéquatoriales (fig. 3A), cachetées par les niveaux supérieurs. Les miroirs striés indiquent un mouvement normal avec un rejet vertical centimétrique, indiquant une extension locale (fig. 3B). Elles s'organisent en faisceaux décimétriques à l'intérieur desquels les plans de rupture ont un espacement décimétrique à métrique au plus (fig. 3A). Dans certains cas il y a un léger écartement des lèvres et les fissures sont alors remplies par du matériel biodétritique plus fin.

Des failles normales à caractère listrique et à rejet métrique, de même direction, apparaissent ponctuellement et délimitent des demi-grabens (fig. 3C) à remplissage dissymétrique fossilisé par les couches supérieures, ce qui atteste leur caractère synsédimentaire.

b) *A la limite des termes 3 et 4*

Certaines masses récifales de la plate-forme de Melilla sont recoupées par des failles normales à rejet métrique (fig. 3D) qui présentent un caractère listrique. Les paléoscarpements ainsi créés ont été progressivement complétés par les dépôts transgressifs du terme 4 et, dans certains cas, les miroirs de faille sont encroûtés par des stromatolites. Ces failles, qui ne recoupent pas les sédiments sous-jacents, caractérisent un dispositif d'effondrement centrifuge vers les zones de bassin.

Dans le secteur du Djebel Murjadjo, les constructions récifales progradantes vers le Sud s'arrêtent sur des lignes ENE – WSW d'extension plurikilométrique. Ces lignes morphostructurales pourraient correspondre à des escarpements liés au jeu de failles ou de flexures à la transition plate-forme-bassin du Chelif. Cette hypothèse est confortée par la présence locale de blocs récifaux emballés (fig. 2B) dans le terme 4 à proximité immédiate de l'escarpement (Saint Martin 1990).

c) Dans le terme 4

Des déformations cassantes ont été reconnues dans le terme 4 de la plate-forme de Melilla (fig. 3E). Provoquées par des failles normales subéquatoriales à rejet décimétrique, elles se traduisent par des dislocations de barres carbonatées encaissées dans des sédiments gréseux. Les dislocations, le long de miroirs striés, s'accompagnent d'une bréchification locale ainsi que de légers basculements de blocs métriques à décamétriques. Ces déformations, qui résultent d'une extension locale, sont scellées par les sables sus-jacents et se limitent à un horizon d'épaisseur métrique. La morphologie de la surface supérieure des calcaires disloqués induit des phénomènes de compaction différentielle plus tardifs avec des fractures courbes ou en éventail dans les sables supérieurs.

d) Discussion

Les déformations cassantes recensées dans certains niveaux des termes 2 et 4, ainsi qu'entre 3 et 4, se traduisent donc par des failles normales, affectant des bancs calcaires précocement indurés. Elles sont encadrées par des couches non déformées, soulignant un jeu synsédimentaire. Ces caractéristiques indiquent une activité tectonique discrète, limitée dans le temps pour chaque épisode, permettant d'assimiler ces déformations cassantes à des séismites (Seilacher 1969) comme cela a été proposé dans les sédiments holocènes d'Himalaya (Anand & Jain 1987) ou miocènes de Mer Rouge (Plaziat et al. 1990). A l'échelle des domaines étudiés, ces structures s'inscrivent dans un contexte purement distensif.

3. Déformations viscoplastiques

Ces déformations impliquent une remobilisation localisée du matériel déposé, avant son induration complète. Dans les sédiments messiniens étudiés, nous avons surtout observé des replis et des figures d'injections. La plupart des structures ont été reconnues dans des sables ou des marnes du terme 4. Cependant elles apparaissent également dans des niveaux infra-récifaux, marno-diatomitiques (terme 2) ou sableux (terme 3). Les figures de pente induites par des phénomènes d'instabilité gravitaire ont été également observées dans le terme 2, sur le rebord septentrional des Tessala en Algérie (Saint Martin 1990).

Fig. 3. Déformations cassantes affectant les divers termes de la plate-forme de Melilla. A: failles normales conjuguées, vue en coupe; B: détermination des axes de raccourcissement (Z), intermédiaire (Y) et d'allongement (X) à partir des traces cyclographiques des plans de faille correspondant à l'affleurement fig. 3A; C: faille normale listrique, vue en coupe; D: failles normales tronquant l'édifice récifal, cachetées par les dépôts du terme 4; E: horst et grabens dans des bancs calcaires et fractures de compaction différentielle dans les sables.

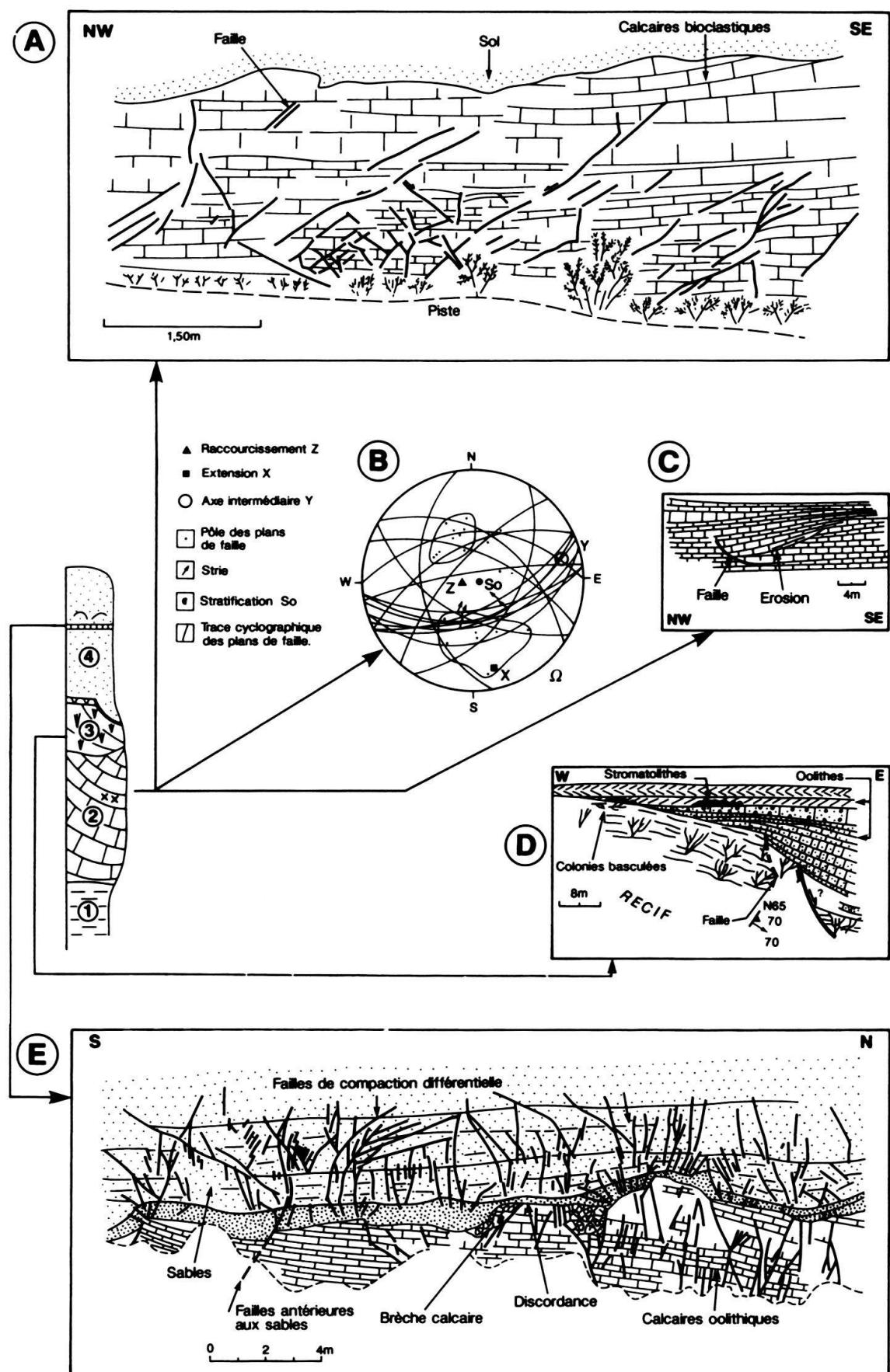




Fig. 4. Injection de matériel sableux du terme 3 à la base de l'édifice corallien (bordure septentrionale des Tessala, Algérie).

a) *Déformations symétriques: replis et figures d'expulsion*

Terme 2

Dans les alternances marno-diatomitiques de la marge sud du Chelif, nous avons pu observer des replis conjugués centimétriques, limités à des horizons étroits et cachetés par les bancs supérieurs. Ces figures ont été généralement interprétées comme résultant d'un phénomène gravitaire (Perrodon 1957), mais l'absence de dissymétrie nettement marquée et l'horizontalité des dépôts suggèrent l'intervention d'autres facteurs, comme éventuellement une activité séismique.

Terme 3

Dans les faciès sableux du rebord méridional des Tessala, aux environs de Sig, d'importants contournements de couches sont observables, avec des parties redressées à la verticale. Il n'y a pas de rupture apparente des charnières. Les amplitudes de ces structures atteignent plusieurs mètres pour des demi-longueurs d'onde largement inférieures, ce qui indiquerait que les replis s'accompagnent d'un mouvement d'expulsion verticale du matériel sous-jacent plus argileux (volcan de boue). D'autres figures d'expulsion se présentent à la base des récifs à *Porites* (fig. 4), affectant des sables déformés de façon souple et injectés dans les irrégularités du plancher de la construction récifale (Saint Martin 1990).

Terme 4

Certains niveaux sableux renferment de nombreux replis viscoplastiques, en particulier dans la plate-forme de Melilla où ils se situent toujours dans la partie supérieure de la séquence. Ces replis s'observent dans des secteurs où la stratification est horizontale, le plus souvent dans des bancs d'épaisseur décimétrique, les niveaux sus-jacents n'étant pas déformés. De plus, ces figures se trouvent dans des positions géographiques variées à travers la plate-forme (fig. 2A). Plusieurs types de replis peuvent être distingués, depuis des formes peu accusées (fig. 5A) jusqu'à des figures de contournement avec ruptures de flancs et injection de matériel originellement sous-jacent. Le plus souvent il s'agit de replis symétriques de demi-longueur d'onde décimétrique à métrique (fig. 6), dans le cœur desquels peuvent apparaître des langues argilo-sableuses dues à une injection du matériel sous-jacent (fig. 5B);

Les structures précédentes peuvent évoluer en replis dont les flancs se verticalisent et même s'inversent en même temps qu'ils subissent un amincissement prononcé. Il y a souvent injection du matériel sous-jacent plus argileux au niveau des anticlinaux qui sont plus étroits que les synclinaux dont le fond peut demeurer plat (fig. 7). Ces struc-

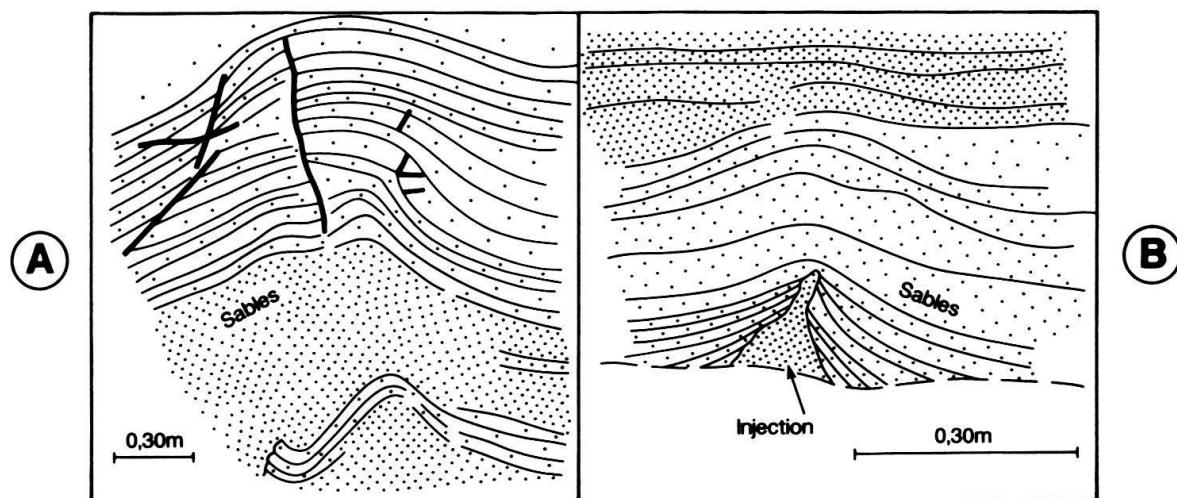


Fig. 5. Déformations viscoplastiques dans le terme 4 (plate-forme de Melilla, Maroc); A: plis synsédimentaires symétriques dans des sables; B: injection argilo-sableuse dans le cœur d'un pli.



Fig. 6. Replis synsédimentaires symétriques peu accusés dans les bancs de grès calcaires du terme 4 (plate-forme de Melilla, Maroc).

tures évoquent de près certaines déformations viscoplastiques décrites dans des sédiments lacustres par Hempton & Dewey (1983) ou marins par Plaziat et al. (1990) et qui ont été interprétées comme résultant de la liquéfaction de sédiments meubles sous l'effet du passage d'une onde séismique.

Le phénomène d'expulsion verticale peut être plus accentué jusqu'à induire un étirement qui atteint le stade de rupture dans les flancs verticaux à renversés de ces plis. Il y a alors individualisation de structures syncliniales à fond plat, séparées par des zones d'injection du matériel sous-jacent (fig. 8). De telles structures en forme de «marmite» apparaissent tout à fait comparable à celles décrites dans le Messinien d'Espagne (Montenat 1980; obs. pers.) ou dans d'autres types de roches (structures de type «ball and pillow»; Sims 1979; Hempton & Dewey 1983; Cheel & Rust 1986) et qui résultent de phénomènes d'expulsion diapirique de fluides et de sédiments (volcans de boue ou de



Fig. 7. Replis synsédimentaires symétriques à flancs redressés («marmites») dans les grès calcaires du terme 4 (plate-forme de Melilla, Maroc); le flèche indique l'échelle (marteau).

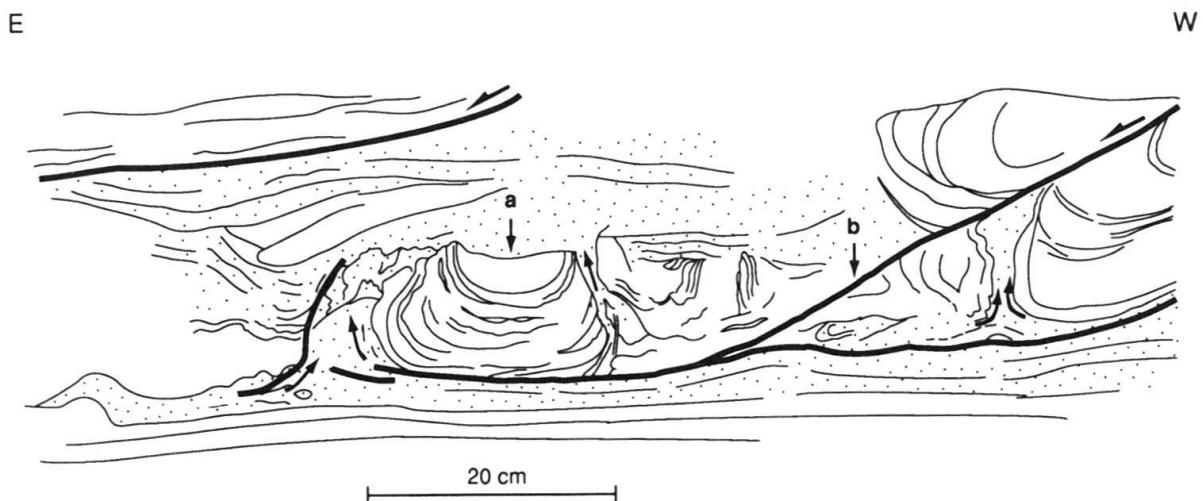


Fig. 8. Structures en «marmites» (a) et cisaillements (b) dans le matériel sableux du terme 4 (plate-forme de Melilla, Maroc).

sable). D'une manière générale, ces structures sont limitées à des couches encadrées par des horizons non déformés, montrant ainsi que les déformations se sont produites à l'interface eau-sédiment.

Dans certains cas, comme sur le Djebel Murjadjo, les figures d'injections paraissent s'être formées de façon plus brutale, avec des dykes et des diapirs marneux à flancs très raides qui ont à peine rebroussé les couches encaissantes; par contre ils ont provoqué une bréchification poussée et un émiettement des bancs calcaires compétents (fig. 9). La déformation peut atteindre des bancs plus élevés qui montrent alors un léger bombement. Dans ce cas, la déformation ne s'est pas produite à l'interface eau-sédiment, mais a affecté un matériel déjà enfoui et non totalement compacté.

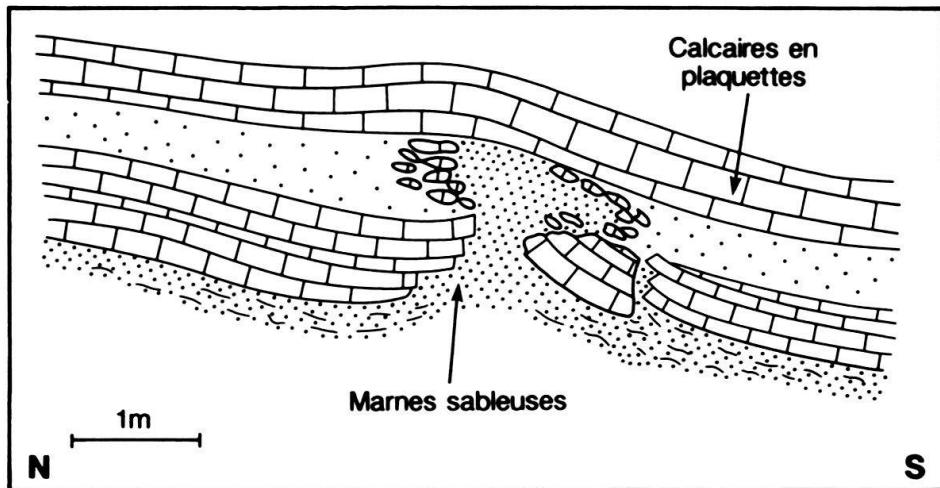


Fig. 9. Injection de matériel marneux à travers un banc calcaire du terme 4 (plate-forme du Murjadjo, Algérie).

Discussion

Les déformations sans dissymétrie clairement exprimée décrites ci-dessus présentent les caractéristiques suivantes:

- elles ont été reconnues en quelques points dans les termes 2 et 3 et beaucoup plus fréquemment dans le terme 4 de la sédimentation messinienne, indépendamment de leur situation paléogéographique (fig. 2);
- elles apparaissent dans des sédiments déposés sur des surfaces subhorizontales pour lesquelles l'effet de pente peut être considéré comme négligeable;
- elles sont restreintes à des niveaux stratigraphiques latéralement continus, encadrés par des horizons non déformés et parfois corrélables à l'échelle de la plate-forme;
- elles affectent des sédiments marneux ou sableux, donc susceptibles de subir un effet de liquéfaction.

Ces caractéristiques suggèrent que ces déformations résultent du passage d'ondes sismiques dans des sédiments non consolidés, selon les critères définis par Sims (1975). De plus, les types de déformation recensés sont tout à fait comparables aux figures de paléoséismicité décrites en particulier dans des sédiments lacustres ou marins (Sims 1973, 1975, 1979; Hempton & Dewey 1983; Plaziat et al. 1990).

b) Déformations non symétriques: plis et slumps

Il s'agit de déformations à caractère souple, dont la géométrie présente une nette dissymétrie. Ces déformations sont matérialisées par une association de plis, de bancs rompus, de brèches intraformationnelles, de figures de glissement et de surface de cisaillement. A Melilla les déformations de ce type sont localisées à la périphérie de l'appareil récifal, à la base du terme 4 (fig. 2A); elles peuvent se suivre sur plusieurs kilomètres dans le même niveau sableux qui renferme les séismites précédemment décrites. D'autres structures de ce type ont également été observées dans les calcaires biodétritiques du terme 2 de la plate-forme des Tessala en Algérie.

Les plis

Deux types de plis ont été reconnus dans le terme 4 à Melilla :

* des microplis d'entraînement centimétriques, couchés à l'ENE en cet endroit, n'affectant qu'un niveau laminé de 0,20 cm entre des couches demeurées planes, ce qui suggère un glissement du matériel visco-plastique vers l'ENE;

* des microplis centimétriques affectant des fragments de couches glissées, droits à déversés à l'ENE, avec des demi-longueurs d'onde plus petites vers l'aval et un amortissement vers l'amont; ces microplis sont mal réglés dans le détail, avec des flancs redressés qui ondulent ou des charnières replissées dans le sens de la pente (fig. 10). Ces structures sont en général limitées par des surfaces de décollement. Elles évoquent les déformations viscoplastiques d'origine séismique observées par Plaziat et al. (1990, fig. 14C), ou les formes en colonnettes de Hempton & Dewey (1983, fig. 2B). Cependant à Melilla, la dissymétrie des plis, les variations de demi-longueur d'onde et les rebroussements de charnières pourraient caractériser un effet supplémentaire dû à la gravité.

Les slumps

Sur la bordure de l'édifice récifal de la plate-forme de Melilla (terme 3), les couches déformées du terme 4 sont également affectées d'une dislocation en paquets métriques; dans certains cas, ces paquets sont limités par des surfaces de décollement entre lesquelles la courbure des laminations et l'aminçissement dans les sables indiquent encore un glissement vers l'ENE (fig. 10). Des surfaces de cisaillement discrètes à pendage plus fort que la stratification peuvent en outre apparaître entre deux niveaux de décollement (fig. 8). En position plus distale, la dislocation du niveau sableux est plus pénétrative avec la généralisation d'une brèche synsédimentaire composée de fragments de microplis et de bancs de taille plus petite (centimétrique à décimétrique). Ces structures (slumps) résultent de la remobilisation de sédiments semi-rigides sur une morphologie inclinée (pente récifale, par exemple). Elles ne présentent pas de déformation interne et affectent un sédiment rendu cohérent probablement en raison de l'équilibre entre la pression de l'eau dans les pores des masses glissées et celle du milieu ambiant. Ce n'est que par l'intervention de phénomènes externes (vibrations, chocs, séismes) que le dépôt peut se liquéfier temporairement (Knaap 1968) et acquérir, de ce fait, une mobilité momentanée.

Dans les calcaires biodétritiques de la plate-forme des Tessala, certains bancs d'épaisseur métrique sont désorganisés en fragments de section très allongée, de pendages variées et dont les extrémités s'effilent progressivement. Ces déformations sont scellées par les niveaux supérieurs. Il y a ici manifestation d'un phénomène gravitaire qui affecte un matériel probablement en voie de consolidation selon une pente dont le sens s'accorde avec la polarité sédimentaire de la plate-forme. Le sédiment ne présentant lui-même aucun caractère gravitaire interne (absence de granoclassement et de figures de base de banc) et la déformation étant restreinte à certains niveaux, on ne peut exclure que sa destabilisation ait été provoquée par un phénomène catastrophique (séisme?).



Fig. 10. Association de fragments de bancs glissés (slumps, a), de figures d'injection (colonnettes, b) à charnières localement couchées (c) et de matériel sableux à stratifications rebroussées (d), l'ensemble étant cacheté par les couches sus-jacentes (terme 4, plate-forme de Melilla, Maroc).

Discussion

Dans ces structures, représentées par des plis et des slumps, la dissymétrie des replis, le basculement de certaines colonnettes et la présence de microcisisaillements obliques sur des surfaces de décollement indiquent un sens de déplacement cohérent du matériel. Dans le même niveau du terme 4, la fragmentation des bancs est grossière près de l'édifice récifal, alors qu'elle est plus fine en position distale. Ces structures apparaissent d'origine gravitaire. Toutefois, cette déformation gravitaire se superpose à une déformation d'origine séismique :

- les structures «en marmite» sont recoupées par des surfaces de décollement ou des microcisisaillements;
- les structures d'injection (colonnettes) sont séparées par des surfaces de décollement entre des bancs à lamination rebroussée.

Les structures viscoplastiques non symétriques résulteraient ainsi de la combinaison d'un facteur séismique qui remobilise le matériel et d'un facteur gravitaire qui provoque aussitôt son déplacement sur une pente peu accusée. Cette interprétation est confortée par le fait que le même niveau du terme 4 impliqué montre des séismites non déplacées, en l'absence de pentes (fig. 7).



Fig. 11. Corps ovoïdes à laminations contournées associés à des bancs glissés dans les sables du terme 4 (plate-forme de Melilla, Maroc).

c) Autres structures

Deux types de structures, dont l'origine est plus délicate à déterminer, ont été recensées.

Dans le terme 4 sableux de la plate-forme de Melilla, on trouve, uniquement aux abords de l'appareil récifal, des corps ovoïdes aplatis. Ces corps, de taille décimétrique à métrique (fig. 11), sont caractérisés par un fin litage contourné qui souligne des amincissemens des lits vers l'une de leur bordure. Ces objets, dont la répartition et l'orientation sont hétérogènes, évoquent des figures de glissement de type «slump-balls» qui se mettent en place sous l'action de la gravité sur une pente. Celle-ci étant très faible, le déplacement a pu être déclenché par un choc séismique. De telles structures de glissement ont été décrites par exemple dans l'Albien de Basse-Provence (SE France) associées à d'autres figures de pente (Machhour 1988), dans le Crétacé supérieur des Basses-Pyrénées (SW France; Deloffre 1966), ou dans le milieu actuel (canyon de la Jolla en Californie; Shepard et al. 1969). Toutefois, la structure interne de ces corps ovoïdes évoquent certaines structures «en marmites» (fig. 8); on ne peut donc exclure qu'il s'agisse de déformations d'origine diapirique remobilisées sur une pente.

D'autres structures ont été reconnues dans le terme 2 de la plate-forme des Tessala (région de Sig, fig. 2C). Ces déformations, scellées, sont strictement limitées à un même horizon gréseux. Elles sont caractérisées par des ondulations décimétriques localement recoupées par des surfaces de cisaillement sur lesquelles des fragments de bancs ont glissé

et chevauché les uns sur les autres. Aucun critère significatif ne permet de conclure sur le mécanisme de mise en mouvement du sédiment.

4. Conclusion

L'essentiel des structures de déformations synsédimentaires recensées dans les dépôts messiniens d'Afrique du Nord sont assimilées à des séismites. Les structures diffèrent selon le matériel. Les *structures cassantes* affectent les sédiments carbonatés, vraisemblablement en raison d'une diagenèse précoce, et sont représentées par des failles normales scellées qui ne pénètrent pas les dépôts sous-jacents. Les *déformations viscoplastiques* intéressent des sédiments calcaréo-gréseux et sont représentées par des structures généralement symétriques (replis et figures d'expulsion de type diapirique) et parfois dissymétriques. Ces dernières (replis, slumps, brèches ...) résultent en fait de la combinaison d'un phénomène séismique et d'un effet gravitaire, dans les zones où existent des pentes sédimentaires (partie externe des plates-formes, bordures de paléo-reliefs récifaux, etc.).

La présence d'importantes manifestations volcaniques durant tout le Néogène, dans le bassin de Melilla (Hernandez & Bellon 1985) comme en Algérie occidentale (Bellon et al. 1984), indique que les plates-formes étudiées se sont effectivement édifiées dans des zones séismiquement actives, à proximité d'accidents crustaux.

Des séismites ont également été identifiées dans certains dépôts messiniens du SE de l'Espagne (Montenat 1980; Ott d'Estevou 1980; Garcin 1987), en particulier dans l'équivalent du terme 4, avec des figures de déformations viscoplastiques très proches de celles précédemment décrites (figures d'expulsions, volcans de sables, replis ...) et des structures cassantes avec des brèches synsédimentaires ou des olistolites en bordure de failles (Ott d'Estevou 1980; de la Chapelle 1988). L'activité séismique ainsi mise en évidence en Afrique du Nord et en Espagne au cours du Messinien correspond à une instabilité tectonique régionale quasi permanente, au moins dans la partie occidentale de la Méditerranée. Les plates-formes carbonatées messiniennes apparaissent dès lors particulièrement favorables à l'étude de l'enregistrement des phénomènes séismiques dans des sédiments de nature variée.

BIBLIOGRAPHIE

- ANAND A. & JAIN A. K. 1987: Earthquakes and deformational structures (seismites) in Holocene sediments from the Himalayan-Andaman Ar, India. Tectonophysics 133, 105–120.
- BELLON H., GUARDIA P. & MAGNE J. 1984: Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale). Géologie Méditerranéenne 11 (3), 255–264.
- CHAPELLE G. DE LA 1988: Le bassin néogène de Nijar-Carboneras (Sud-Est de l'Espagne): les relations entre la sédimentologie et les étapes de la structuration. Thèse Doct., Lyon I, Fr.
- CHEEL R. J. & RUST B. R. 1986: A sequence of soft-sediment deformation (dewatering) structures in late quaternary subaqueous outwash near Ottawa, Canada. Sediment. Geol. 47, 77–93.
- DELOFFRE R. 1966: Etude géologique du flysch crétacé supérieur entre les deux vallées de l'Ouzon et du gave de Mauléon (Basses-Pyrénées). Thèse Doct. Etat, Paris.
- GARCIN M. 1987: Le bassin de San Miguel de Salinas (Alicante, Espagne). Relations entre contexte structuro-sédimentaire et dépôts évaporitiques et carbonatés au Messinien. Thèse Doct. Univ., Paris-Sud, Orsay, (Trav. Rech. IGAL, Paris).

- HEMPTON M. R. & DEWEY J. F. 1983: Earthquake-induced deformational structures in young lacustrine sediments. East Anatolian Fault, southeast Turkey. *Tectonophysics* 98, T7–T14.
- HERNANDEZ J. & BELLON H. 1985: Chronologie K-Ar du volcanisme miocène du Rif oriental (Maroc): implications tectoniques et magmatologiques. *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.* 26, 85–94.
- KNAAP W. VAN DER 1968: Some experiments on the genesis of turbidity currents. *Sedimentology* 11, 115–124.
- MACHHOUR L. 1988: Le Bassin toulonnais au Crétacé moyen (Aptien-Cenomanien), Sud-Est de la France. Stratigraphie, Sédimentologie, Géochimie, Paléoécologie, Paléoenvironnements. Thèse Univ., Univ. Aix-Marseille 1.
- MONTENAT C. 1980: Relation entre déformations synsédimentaires et paléoséismicité dans le Messinien de San Miguel de Salinas (Cordillères bétiques orientales, Espagne). *Bull. Soc. géol. France* (7) 22, 501–509.
- (Coord.) 1990: Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie: étude régionale. Doc. et Trav. IGAL, Paris 12–13.
- OTT D'ESTEVOU P. 1980: Evolution dynamique du bassin néogène de Sorbas (Cordillères bétiques orientales. Espagne). Doc. et Trav. IGAL, Paris, n° 1.
- PERRODON A. 1957: Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, N.S., Bull. 12.
- PLAZIAT J. C., PURSER B. H. & PHILOBBOS E. 1990: Seismic deformation structures (seismites) in the syn-rift sediments of the NW Red Sea (Egypt). *Bull. Soc. géol. France*, Paris (8) 6, 419–434.
- SAINT-MARTIN J. P. 1990: Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur d'Algérie et du Maroc. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, Paris, C, 56.
- SAINT-MARTIN J. P. & MACHHOUR L. 1989: Déformations synsédimentaires dans le Messinien d'Afrique du Nord (Algérie, Maroc). *Doc. Ass. Sed. Fr.*, n° 10, 257–258.
- SAINT-MARTIN J. P., CORNÉE J. J., MULLER J., CAMOIN G., ANDRÉ J. P., ROUCHY J. M. & BENMOUSSA A. 1991: Contrôles globaux et locaux dans l'édification d'une plate-forme carbonatée messinienne (bassin de Melilla, Maroc): apport de la stratigraphie séquentielle et de l'analyse tectonique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, (II), 1573–1579.
- SAINT-MARTIN J. P., ROUCHY J. M. 1990: Les plates-formes carbonatées messiniennes en Méditerranée occidentale: leur importance pour la reconstitution des variations du niveau marin au Miocène terminal. *Bull. Soc. géol. France*, Paris (8) 6, 83–94.
- SEILACHER A. 1969: Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology* 13, 155–159.
- SHEPARD F. P., DILL R. F. & VON RAD V. 1969: Physiography and sedimentary processes of la Jolla submarine fan and fan-valley (California). *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 53, 390–420.
- SIMS J. D. 1973: Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California. *Science* 182, 161–163.
- 1975: Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics* 29, 144–152.
- 1979: Records of prehistoric earthquakes in sedimentary deposits in lakes. *Earthquake Inf. Bull.*, U.S. geol. Surv., Washington 1, 228–233.

Manuscrit reçu le 15 avril 1992

Révision acceptée 10 novembre 1992

