

Méditerranée occidentale
Glissements en masse
Faciès acoustique

Western Mediterranean
Mass-gravity deposits
Acoustic facies

Les glissements en masse du glacis provençal

Gilbert BELLAICHE ^a, Vincent COUTELLIER ^a, Laurence DROZ ^a, Chantal LE CANN ^b

^a Laboratoire de Géodynamique sous-marine, Unité de Recherche Associée au CNRS n° 718, Université Pierre-et-Marie-Curie (Paris-IV), CEROV, B.P. n° 48, 06230 Villefranche-sur-Mer, France.

^b Groupe de Recherche « Genèse et évolution des domaines océaniques », Université de Bretagne Occidentale, 29283 Brest, France.

Reçu le 1/2/89, révisé le 17/5/89, accepté le 24/5/89.

RÉSUMÉ

La pente et le glacis de la marge continentale située au large de la Provence occidentale sont le siège de glissements d'âges variés très bien identifiés, grâce à la bathymétrie détaillée au Sea-Beam et à la sismique continue haute résolution. Nous montrons qu'à l'est du chenal principal du deep-sea fan du Rhône, le glissement le plus récent s'étend sur près de 170 km de long, occupe une surface minimum de 5 100 km² et a mobilisé un volume d'au moins 170 km³ de sédiments. Son épaisseur dépasse par endroits 160 m. À l'ouest de ce chenal, un autre glissement récent est reconnu, mais son extension est encore indéterminée.

Ces glissements, qu'ils soient superficiels ou interstratifiés dans la série sédimentaire plio-quaternaire, semblent marquer la fin de grands cycles sédimentaires caractérisés par un détritisme important et liés principalement aux variations climatiques du Pléistocène. Certains d'entre eux cependant se sont produits au cours même de ces cycles sédimentaires.

Oceanologica Acta, 1990. 13, 1, 121-125.

ABSTRACT

Mass-gravity deposits on the Provençal continental rise (Northwestern Mediterranean Sea)

Sedimentation on the continental slope and rise of the margin off western Provence is characterized by several episodes of widespread mass-gravity deposits recognized on Sea-Beam and high resolution continuous seismic records. We show that, east of the main channel of the Petit Rhône deep-sea fan, the most recent slide extends in length over 170 km and occupies an area of at least 5 100 km². Its estimated minimum volume is of 170 km³ and its thickness can locally reach 160 m. West of this channel another recent slide is present but its precise limits are still unknown.

These slides, either superficial or interbedded in the Plio-Quaternary deposits, seem to overlie depositional units characterized by large megasequences of terrigenous inputs linked with Pleistocene climatic variations. Some of these mass-gravity deposits have, however, occurred even during the deposition of the sedimentary megasequences.

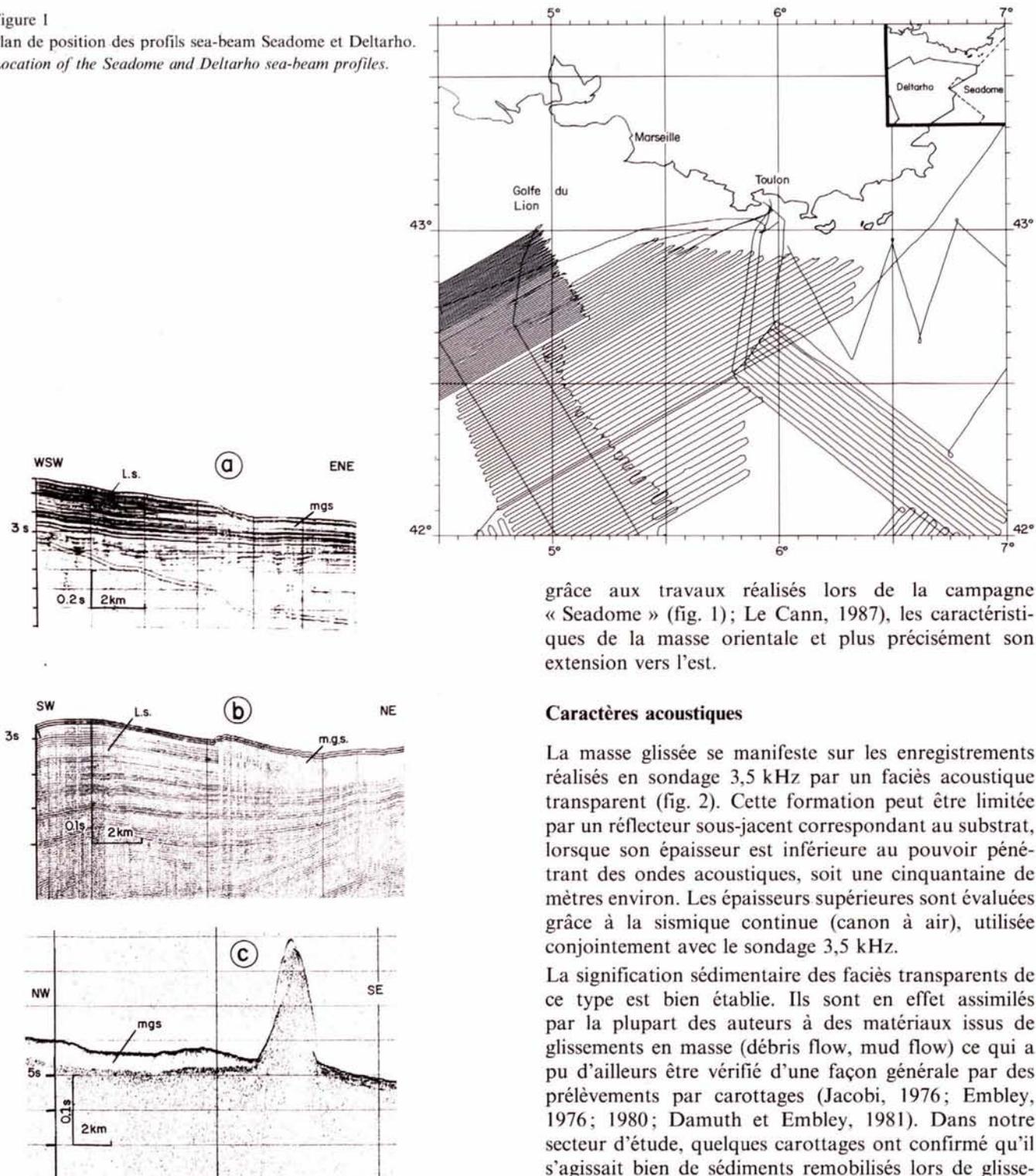
Oceanologica Acta, 1990. 13, 1, 121-125.

INTRODUCTION

L'utilisation combinée du Sea-Beam, de la sismique continue et du sondage 3,5 kHz au cours des campagnes « Deltarho-Profans » avait permis de mettre en évidence, sur le glacis provençal, des sédiments à faciès acoustique très particulier, superficiels ou interstratifiés au sein des formations sédimentaires de l'éventail sous-

marin profond du Rhône et interprétés comme des glissements en masse de grande ampleur (Droz, 1983; Coutellier, 1985; Droz et Bellaiche, 1985). Dans la région prospectée, deux masses glissées superficielles s'étendent largement à l'est et à l'ouest du chenal principal de ce deep-sea fan. Dans cet article, nous précisons,

Figure 1
Plan de position des profils sea-beam Seadome et Deltarho.
Location of the Seadome and Deltarho sea-beam profiles.



grâce aux travaux réalisés lors de la campagne « Seadome » (fig. 1); Le Cann, 1987), les caractéristiques de la masse orientale et plus précisément son extension vers l'est.

Caractères acoustiques

La masse glissée se manifeste sur les enregistrements réalisés en sondage 3,5 kHz par un faciès acoustique transparent (fig. 2). Cette formation peut être limitée par un réflecteur sous-jacent correspondant au substrat, lorsque son épaisseur est inférieure au pouvoir pénétrant des ondes acoustiques, soit une cinquantaine de mètres environ. Les épaisseurs supérieures sont évaluées grâce à la sismique continue (canon à air), utilisée conjointement avec le sondage 3,5 kHz.

La signification sédimentaire des faciès transparents de ce type est bien établie. Ils sont en effet assimilés par la plupart des auteurs à des matériaux issus de glissements en masse (débris flow, mud flow) ce qui a pu d'ailleurs être vérifié d'une façon générale par des prélèvements par carottages (Jacobi, 1976; Embley, 1976; 1980; Damuth et Embley, 1981). Dans notre secteur d'étude, quelques carottages ont confirmé qu'il s'agissait bien de sédiments remobilisés lors de glissements en masse (Méar, 1984).

L'aspect transparent des faciès acoustiques des sédiments glissés résulterait de changements de propriétés physiques lors de leur mobilisation. De tels changements sont liés à la disparition du litage originel et à une incorporation d'eau. D'autre part, les différents aspects des contacts de cette série transparente avec son substratum sont tout à fait caractéristiques des coulées gravitaires. Ces contacts révèlent, soit des processus d'étirement avec cicatrices de retrait en cas de déficit de matière (fig. 2a), soit des phénomènes de bourrage qui s'expriment par des plissements de surface (fig. 2b). Dans certains cas, il se produit de véritables érosions du substratum, laissant subsister par

Figure 2
Exemples de profils montrant les contacts entre la masse glissée superficielle à faciès acoustique transparent (mgs) et son substratum, caractérisé, sur les profils sismiques, par des faciès acoustiques stratifiés propres aux levées sédimentaires (L.s.): (a) contact en étirement (profil sismique canon à air); (b) contact en bourrage (profil sismique canon à air); (c) en moulage sur la face nord-ouest des dômes (sondage 3,5 kHz). L'échelle verticale des profondeurs est en secondes de propagation temps-double dans l'eau, soit environ 750 m pour 1 seconde. La localisation de ces profils est représentée sur la figure 3.
Examples of profiles showing the different contacts between the superficial slide characterized by transparent acoustic facies (mgs) and its substratum characterized, on the seismic profiles, by bedded acoustic facies typical of the sedimentary levees (L.s.): (a) thinning by stretching (air gun seismic profile); (b) packing (air gun seismic profile); (c) moulding of the salt domes on their north-western flank (3.5 kHz profile). The vertical scale is in seconds two-way travel time in water (about 750 m for 1 second). For location see figure 4.

endroits des buttes-témoins. Les contacts de la série transparente avec les reliefs proéminents préexistants, tels que les dômes de sel, sont très instructifs de la façon dont s'est propagé le phénomène : ces diapirs apparaissent en effet moulés sur leur face nord-ouest par la coulée (fig. 2c).

Épaisseurs

L'épaisseur de la masse transparente est très variable. Elle peut aller de quelques mètres (pouvoir de résolution du sondage 3,5 kHz) à 160 m et plus. D'une façon générale, les variations de ces épaisseurs semblent liées à la paléotopographie irrégulière du substratum. Les épaisseurs minimales s'observent en amont, le long des pentes fortes et dans les régions distales orientales. Les épaisseurs maximales s'observent dans les grabens créés et limités par les failles de croissance liées à la couche salifère sous-jacente. Le problème de l'unicité d'un glissement en masse catastrophique ou de la superposition de plusieurs glissements est difficile à résoudre. Dans certains cas favorables, ces masses transparentes semblent avoir conservé leurs réflecteurs, mais ceux-ci peuvent aussi parfois représenter, soit la limite de plusieurs glissements superposés, soit des réorganisations sédimentaires postérieures à la mise en place du glissement.

Extension et volume de la masse glissée

L'extension de ce glissement en masse est considérable, puisqu'il s'étend vers l'est au minimum jusqu'à la longitude de 7° Est (fig. 3). Ceci est d'ailleurs confirmé par des levés récents réalisés grâce au sonar latéral « Gloria » combiné aux sondages 3,5 kHz. Les calculs nous conduisent à estimer sa surface à 5 100 km². Compte tenu des différentes épaisseurs mesurées (fig. 4), son volume peut être évalué à 170 km³. Il s'agit là de valeurs minimales, dans la mesure où les limites méridionale et orientale de ce glissement restent inconnues en raison d'un manque de données.

Sources du glissement

Grâce au Sea-Beam, les zones géographiques à partir desquelles se sont déclenchés les glissements en masse sont parfaitement bien visibles dans la topographie. Elles se manifestent par des escarpements de forme typiquement incurvée représentant des cicatrices causées par ces mouvements gravitaires (Bellaïche *et al.*, 1983). Mais tous les escarpements de ce type reconnus dans ce secteur ne sont pas directement liés à la mise en place de cette masse glissée. Il en est ainsi des escarpements affectant les versants internes du chenal de l'éventail, qui lui confèrent une morphologie particu-



Figure 3

Cartographie de la masse glissée superficielle et localisation des profils présentés sur les figures 2 et 3. NC : canyon de Nîmes ; AC : canyon d'Arles ; PRC : canyon du Petit-Rhône ; GRC : canyon du Grand-Rhône ; EC : canyon de l'Estaque ; MC : canyon de Marseille ; PC : canyon de Planier ; CC : canyon de Cassidaigne.

Mapping of the superficial mass-gravity deposit with location of profiles a, b and F3 shown on figures 2 and 3. NC : Nîmes canyon ; AC : Arles canyon ; PRC : Petit-Rhone canyon ; GRC : Grand-Rhone canyon ; EC : Estaque canyon ; MC : Marseille canyon ; PC : Planier canyon ; CC : Cassidaigne canyon

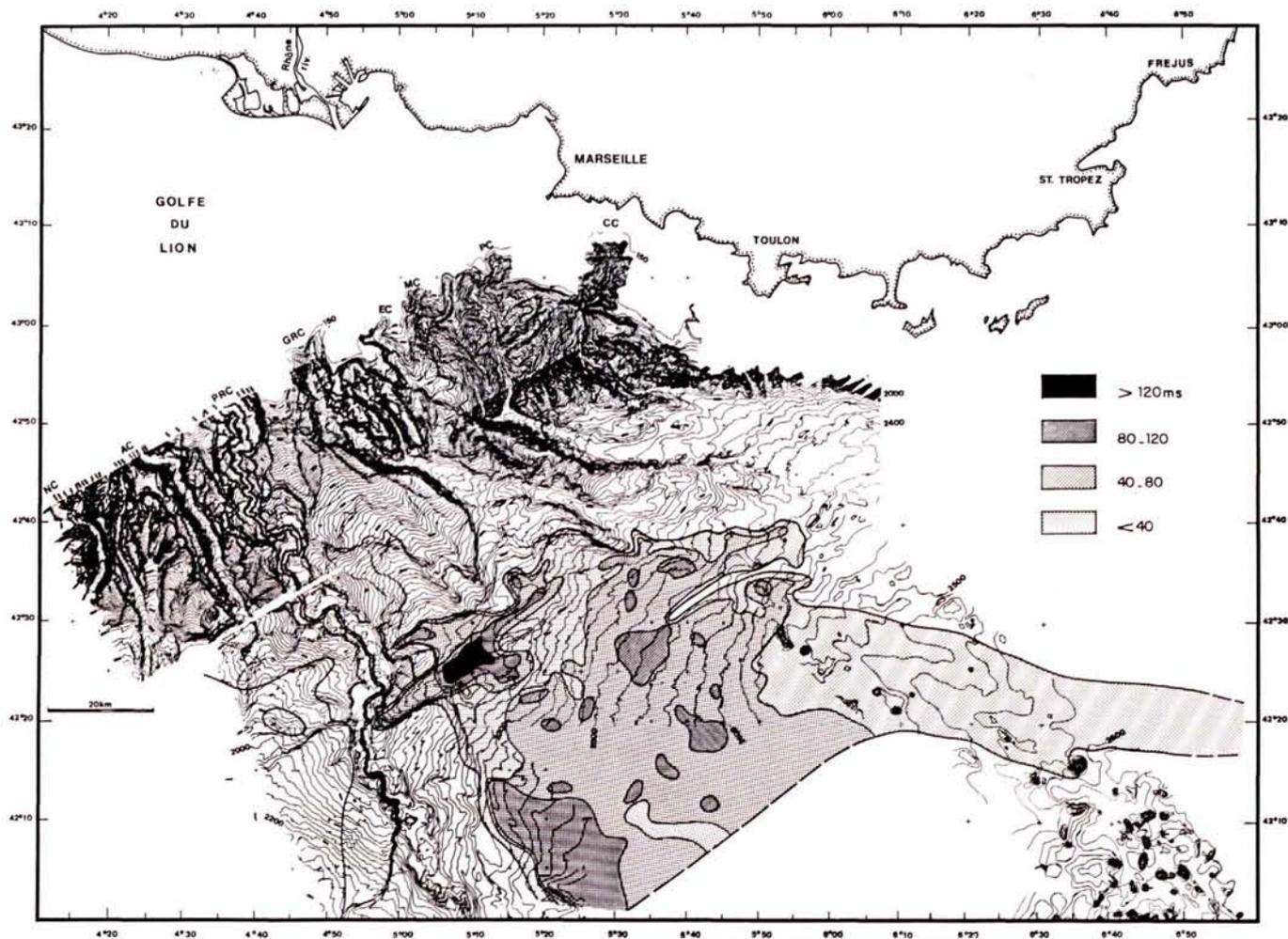


Figure 4

Isopaques de la masse glissée superficielle orientale. Les épaisseurs sont en millisecondes temps double.

Isopach map of the eastern superficial mass-gravity deposit. Thickness are in milliseconds two-way travel time

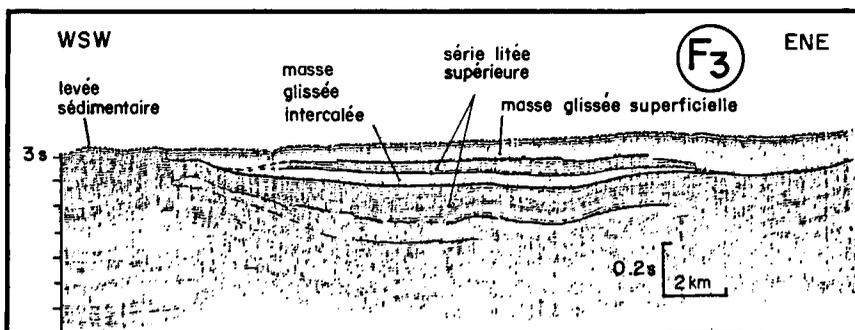
lière en méandres boudinés (les produits de ces glissements restant alors cantonnés à l'axe du chenal ou étant évacués dans les parties les plus distales de l'éventail). De même, les escarpements curvilignes visibles dans les têtes des canyons du Grand-Rhône et de l'Estaque représentent les traces de glissements anciens dont les produits ont été retrouvés, grâce à la sismique continue, interstratifiés dans les sédiments de l'éventail (Coutellier, 1985). En fait, les seules traces morphologiques du glissement superficiel semblent être représentées par les escarpements curvilignes situés, d'une part au niveau du large interfluve séparant les canyons du Grand-Rhône et du Petit-Rhône, et d'autre part en bordure externe de la levée gauche du chenal du Petit-Rhône (fig. 3). Le premier secteur se caractérise morphologiquement par une grande cuvette à fond plat limitée par des escarpements courbes de l'ordre de 60 à 100 m de hauteur. La sismique continue indique que les couches sédimentaires les plus superficielles de cette cuvette ont disparu, ou ont été considérablement étirées (Got *et al.*, 1979). Quant au second secteur, il se présente sous la forme de deux grabens limités par des failles de croissance qui s'enracinent profondément dans la couche salifère sous-jacente.

Age de la masse glissée superficielle

Si l'on considère la très bonne résolution fournie par les sondages 3,5 kHz, cette masse glissée superficielle constitue une formation très récente, voire actuelle, postérieure aux derniers dépôts lités de l'éventail du Rhône. Quelques carottages ont d'ailleurs montré qu'il s'agit localement de sédiments d'âge post-glaciaire (Méar, 1984). Cependant, de même qu'il est difficile de déterminer si cette masse glissée procède d'un seul ou de plusieurs phénomènes catastrophiques, le début du phénomène est difficile à dater. Si l'on se réfère à des travaux récents (Vail *et al.*, 1987), les phénomènes de déstabilisation sédimentaire au sein d'un deep-sea fan auraient lieu préférentiellement au cours des niveaux eustatiques bas, alors que la courbe de variation eustatique est ascendante. Ceci nous incite à penser que la masse glissée superficielle aurait commencé à se mettre en place à l'aube de l'Holocène. Remarquons cependant que tous les glissements ne sont pas forcément liés à cette partie particulière du cycle eustatique, comme le montrent par exemple certaines masses transparentes intercalées dans la série litée supérieure du deep-sea fan du Petit-rhône réputée mise en place au cours de la dernière période régressive (fig. 5).

Figure 5

Profil sismique F3 au canon à air montrant une masse glissée (représentant le produit de l'effondrement de la levée sédimentaire orientale du deep-sea fan du Petit-Rhône), intercalée dans la série litée dite supérieure de ce deep-sea fan. L'ensemble est cacheté par la masse glissée superficielle. Échelle verticale en secondes temps double. La localisation de ce profil est représentée sur la figure 3.



Air gun seismic profile F3 showing a slump (interpreted as the result of the collapse of the eastern sedimentary levee of the Petit-Rhône deep-sea fan. These series are blanketed by the superficial mass-gravity deposit. Vertical scale in seconds. Location of this profile is shown on Figure 3.

Cause des glissements

De nombreux travaux, parmi lesquels nous pouvons citer ceux de Damuth et Embley (1981), ont montré que les glissements en masse apparaissent comme des phénomènes majeurs et fréquents dans la sédimentation des grands deep-sea fans. Dans le cas présent, les dépôts étant constitués de boues sous-compactées à très forte teneur en eau et à fort taux de sédimentation, leur déstabilisation peut résulter de simples déséquilibres gravitaires, sous l'effet de pentes même faibles. Elle est en outre facilitée par divers facteurs : les variations eustatiques (induisant entre la pente et le glaci des transferts de sédimentation qui modifient les pressions interstitielles et la résistance au cisaillement), certains facteurs techniques locaux (halocinèse omniprésente dans le secteur étudié) ou régionaux (poursuite des mouvements de surrection de la Provence pouvant être accompagnés de séismes). Des émissions de gaz pourraient également être invoquées, comme c'est le cas en Mer du Nord (Jansen *et al.*, 1987).

CONCLUSIONS

La sédimentation superficielle d'une grande partie du bassin nord-occidental de la Méditerranée est caracté-

sée par des glissements en masse favorisés par la nature et les modalités de la sédimentation des apports du Rhône. Ces phénomènes paraissent également liés aux caractéristiques géologiques locales (halocinèse), régionales (contexte alpin), ou globales (variations eustatiques). Cette sédimentation particulière caractérise non seulement l'époque récente et actuelle, mais s'est également produite antérieurement, au cours du Plio-Quaternaire, comme le montre l'exploration géophysique. Elle se traduit dans la morphologie par des escarpements curvilignes remarquables, parfaitement mis en évidence grâce au Sea-Beam. Rappelons enfin que ce glissement fait partie d'un ensemble beaucoup plus vaste qui s'étend vers l'Ouest en direction de la marge catalane (fig. 4), ce qui permet de le classer parmi les grands glissements signalés à ce jour en Méditerranée (Almagor et Garfunkel, 1979), et de le considérer comme un des grands phénomènes de ce type répertoriés dans le monde (Embley, 1976; Jansen *et al.*, 1987).

Remerciements

Nous tenons à remercier ici l'INSU qui, dans le cadre du programme « Dynamique et Bilan de la Terre », a participé au financement de ces travaux (contribution n° 511 de l'URA 718).

RÉFÉRENCES

- Almagor G. et Z. Garfunkel (1979). Submarine slumping in the continental margin of Israel and northern Sinai. *AAPG Bull.*, 63, 3, 324-340.
- Bellaiche G., P. Orsolini, B. Petit-Perrin, J.-L. Berthon, C. Ravenne, V. Coutellier, L. Droz, J.-C. Aloisi, Y. Mear, A. Monaco, J.-M. Auzende, P. Beuzart et S. Monti (1983). Morphologie au sea-beam de l'éventail sous-marin profond du Rhône (Rhône deep-sea fan) et de son canyons afférent. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, sér. 2, 296, 579-583.
- Coutellier V. (1985). Mise en évidence et rôle des mouvements gravitaires dans l'évolution de la marge continentale : exemple des marges du golfe du Lion et de la Provence occidentale. *Thèse de 3^e cycle, Université de Paris*, 189 pp.
- Damuth J. E. and R. W. Embley (1981). Mass-transport processes on the Amazon cone: Western equatorial Atlantic. *A.A.P.G., Bull.*, 65, 629-643.
- Droz L. (1983). L'éventail sous-marin profond du Rhône (Golfe du Lion) : grands traits morphologiques et structure semi-profonde. *Thèse de 3^e cycle, Université de Paris*, 195 pp.
- Droz L. and G. Bellaiche (1985). Rhône deep-sea fan: morphostructure and growth pattern. *AAPG. Bull.*, 69, 1, 460-479.
- Embley R. W. (1976). New evidence for occurrence of debris-flow deposits in the deep sea. *Geology*, 4, 371-374.
- Embley R. W. (1980). The role of mass transport in the distribution and character of deep ocean sediments with special reference to the north Atlantic. *Mar. Geol.*, 38, 23-50.
- Got H., J.-C. Aloisi, O. Leenhardt, A. Monaco, J. Serra-Raventhos et F. Theilen (1979). Structures sédimentaires sur les marges du golfe du Lion et de la Catalogne. *Revue Géogr. phys. Géol. dynam.*, 21, 4, 281-293.
- Jacobi R. D. (1976). Sediment slides on the northwestern continental margin of Africa. *Mar. Geol.*, 22, 157-173.
- Jansen E., S. Befring, T. Bugge, T. Eidvin, H. Holtedhal and H. P. Sejrup (1987). Large submarine slides on the Norwegian continental margin : sediments, transport and timing. *Mar. Geol.*, 78, 77-107.
- Le Cann C. (1987). Le diapirisme dans le bassin liguro-provençal (Méditerranée Occidentale) : relations avec la sédimentation et la tectonique. Conséquences géodynamiques. *Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale*, 296 pp.
- Mear Y. (1984). Séquences et unités sédimentaires du glaci Rhodanien (Méditerranée occidentale). *Thèse de 3^e cycle, Université de Perpignan*, 214 pp.
- Vail P. R., J.-P. Colin, R. J. Du Chene, J. Kuchly, F. Mediavilla et V. Trifilieff (1987). La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8, 3, 1301-1321.