

STRUCTURE DE LA MARGE CONTINENTALE NORVÉGIENNE AU DÉBOUCHÉ DE LA MER DE BARENTZ*

E. BRISEID

*Centre Océanologique de Bretagne, maintenant à STATOIL A/S, Lagårdsveien 80,
4000 Stavanger, Norvège*

et

J. MASCLE

C.N.R.S., maintenant au Centre Océanologique de Bretagne, B. P. 337, 29273 Brest, France

(Received 8 April, 1974; in revised form 27 June, 1974)

Résumé.—La reconstitution géométrique des continents avant l'ouverture de la mer de Norvège suggère que le socle au débouché de la mer de Barentz est d'origine océanique. Un important delta sédimentaire est installé à ce niveau. Les profils de sismique réflexion montrent que les sédiments reposent sur un socle acoustique de type océanique. L'importance de la sédimentation tertiaire est expliquée par l'histoire géologique de la mer de Barentz où l'on ne connaît que de très faibles épaisseurs de sédiments non consolidés. Plus au sud, la marge continentale est d'un type différent, probablement liée à l'importance des phénomènes de cisaillement caractérisant la première phase d'ouverture de la mer de Norvège. —

Abstract.—Reconstructions of the continents prior to the opening of the Norwegian sea indicate an overlap between the Greenland and the Norwegian continental margins just west of the Barentz sea and imply that the basement of this area is of oceanic origin. Seismic profiling shows an oceanic-type basement covered by thick Tertiary sediments. The sedimentary supply is related to the geological history of the Barentz sea where only little unconsolidated sediments are known. Further south the structures of the present margin are directly related to the early opening of the Norwegian sea. —

1. Introduction

Cinq profils sismiques effectués (avec une source Flexotir) le long de la marge norvégienne au cours de la campagne Nestlante (1970) du N. O. Jean Charcot, recourent (figure 1) la région de la marge continentale norvégienne située au débouché de la mer de Barentz dans la mer de Norvège. Ces profils peuvent être présentés en deux groupes. Les n° 18–19–20 ont été obtenus à travers un delta que nous appellerons, par la suite, 'delta de la mer de Barentz', édifice sédimentaire déjà détectable sur le schéma bathymétrique. Les profils 21 et 22 recourent un autre type de marge beaucoup plus étroite, caractérisée par de très forts gradients de pente et par la proximité du socle continental des îles Lofoten et du continent norvégien.

L'évolution et les directions d'ouverture de la mer de Norvège, quoique complexes dans le détail (Talwani et Eldholm, 1972) sont connues cependant avec suffisamment de précision pour savoir que l'ouverture de ce bassin océanique date du début du tertiaire (Avery *et al.*, 1968; Vogt *et al.*, 1970; Phillips *et al.*, 1973) et que le substratum

* Contribution n° 259 du Centre Océanologique de Bretagne.

du delta de la mer de Barentz est probablement d'origine océanique (Bott et Watts, 1971; Le Pichon *et al.*, sous presse). La structure des marges encadrant cette région est assez bien connue; au sud, la marge continentale est surtout caractérisée par l'existence d'un vaste plateau profond – le banc de Voringe – dont l'extension vers l'ouest représente probablement une partie de croûte océanique surélevée (Talwani et Eldholm, 1972). Au nord, un large talus de progradation atteint et recouvre les contreforts de la dorsale d'Atka (Malod et Mascle, 1974). A l'est, la mer de Barentz est une mer épicontinentale recouvrant un domaine qui aurait été en voie de surrection au cours du tertiaire (Freebold, 1951). Les données de sismique réflexion et réfraction publiées à

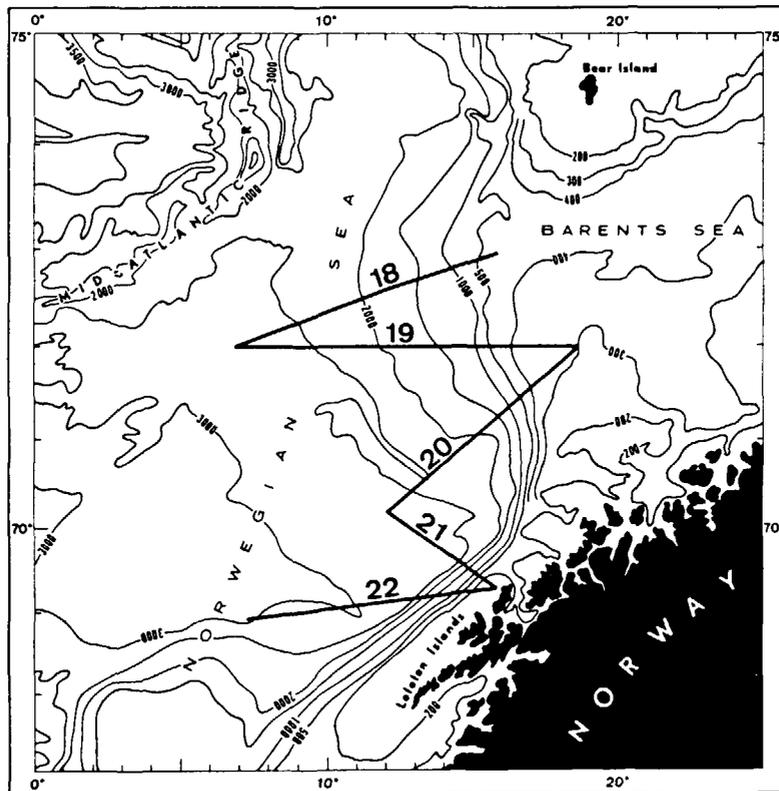


Fig. 1. Locations of seismic profiles. Depths in meters. Position des profils discutés. Le fond bathymétrique est en mètres, d'après la carte de Eggvin (1963).

propos de cette dernière zone, semblent confirmer une telle hypothèse en ne mettant en évidence qu'une très mince couverture de sédiments peu consolidés recouvrant un substratum caractérisé par des vitesses sismiques élevées (de l'ordre de 3 km s^{-1}) et interprété comme d'âge secondaire et même paléozoïque (Eldholm et Ewing, 1971; Sundvor et Sellevoll, 1971; Malod, 1972; Sundvor, sous presse). Au niveau du plateau et du début de la pente continentale, l'épaisseur des sédiments meubles s'accroît notablement et les quelques profils publiés montrent une structure typique de progradation sédimentaire ainsi que des traces d'érosion, probablement liées aux glaciation quaternaires.

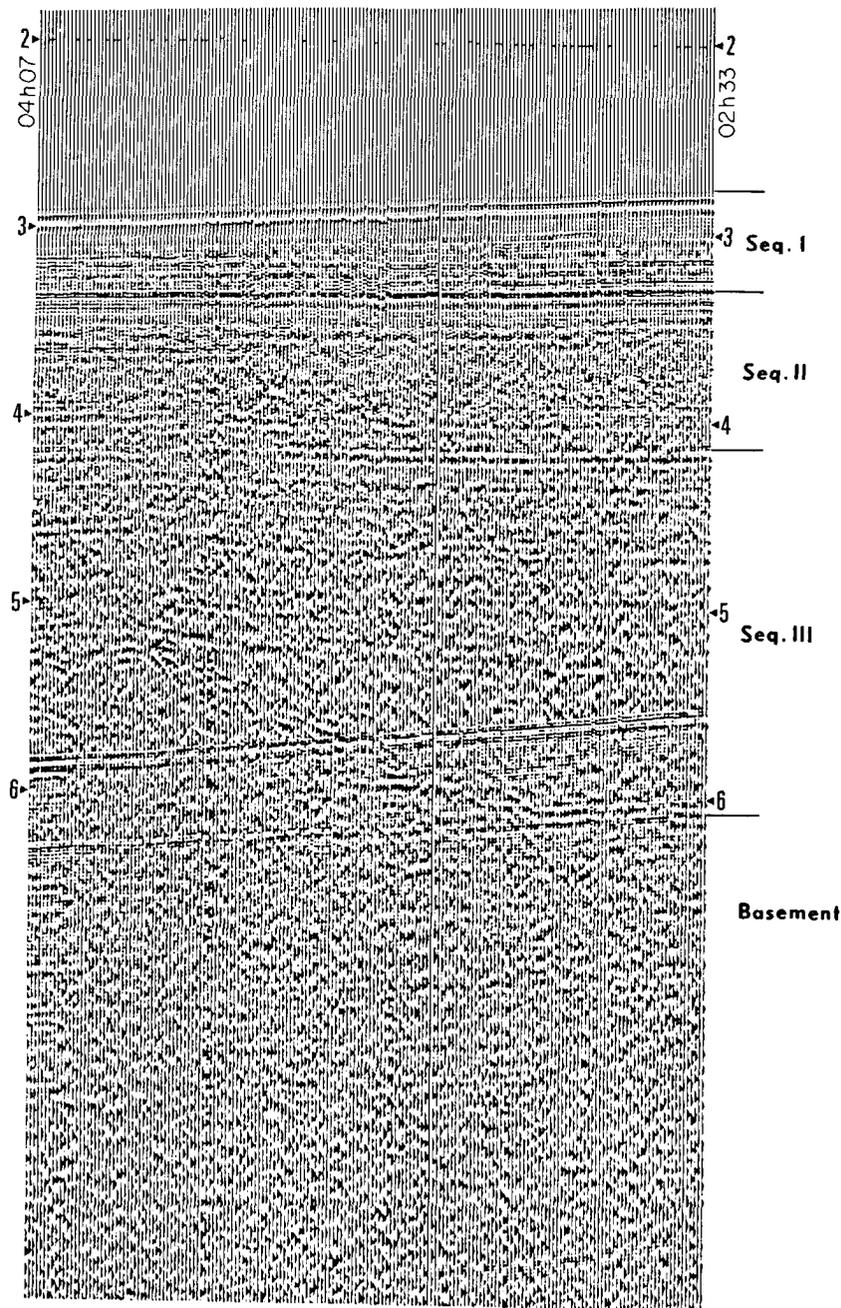


Fig. 2. Enlargement of part of profile 18 (camera recorder) (figure 3). The three main sedimentary units are numbered I, II, III. Vertical scale is in second double travel time. Agrandissement d'une section de profil 18 (en enregistrement à aire variable) (figure 3). Les trois principales unités sédimentaires sont numérotées I, II, III. L'échelle verticale est en seconde temps double.

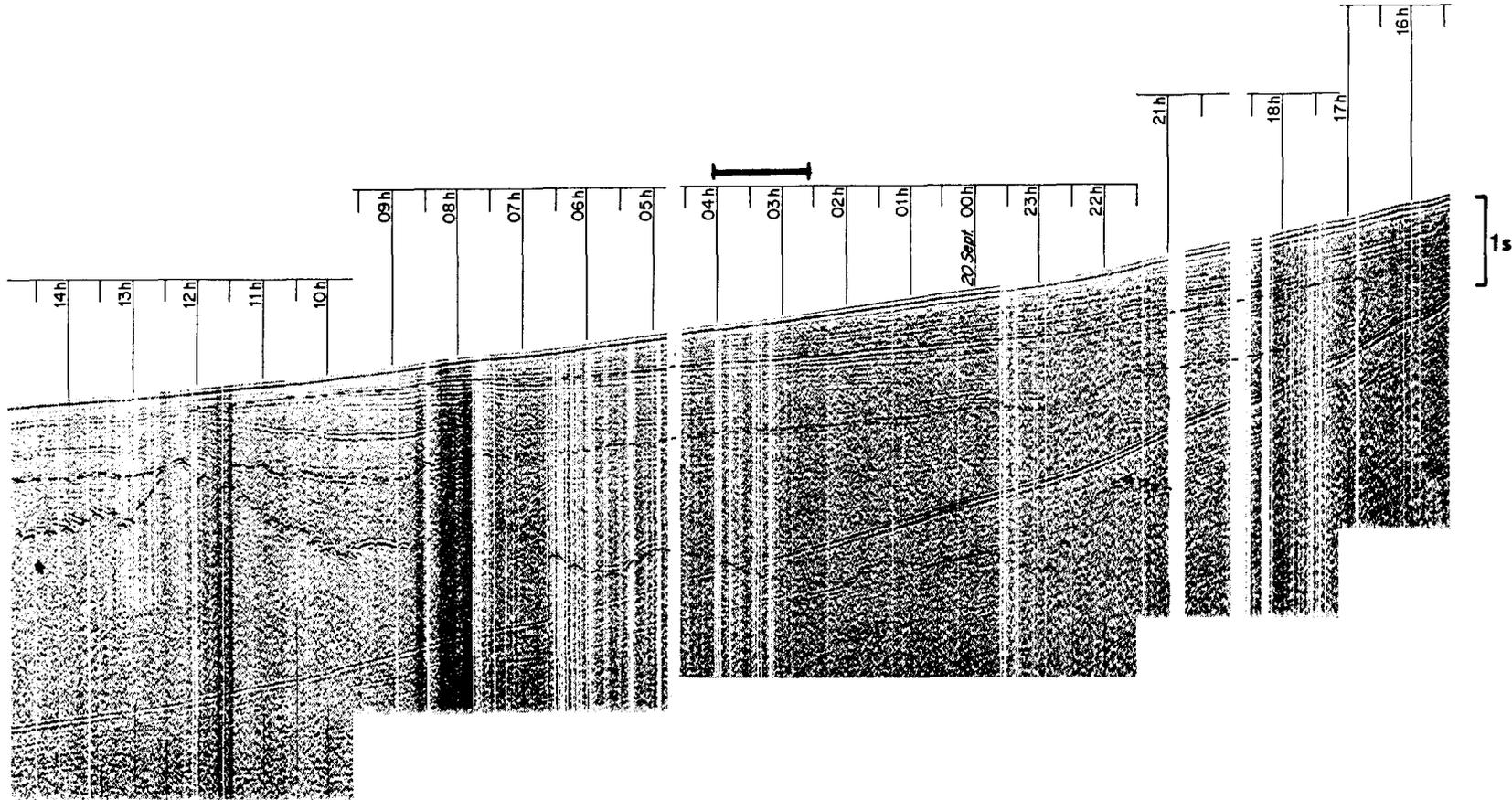


Fig. 3. Reflection profile record 18. The three limits of the sedimentary units and the upper limit of the basement have been darkened. XX marks the location of figure 2. One hour corresponds to 6 miles approximately. Profile n° 18. La limite des différentes unités sédimentaires ainsi que du socle ont été soulignées. XX indique la position de la figure 2. Une heure correspond à 6 milles marins.

2. Le delta de la mer de Barentz

A la suite de Freebold (1951), Eldholm et Ewing (1972) et Sundvor (sous presse) ont supposé que la Mer de Barentz avait été un domaine en surrection au cours du tertiaire. Cette surrection et l'érosion qui l'a suivie ont permis la production d'une importante quantité de sédiments qui se trouvent maintenant accumulée en grande partie au débouché de la Mer de Barentz. Les profils 18, 19 et 20 mettent en évidence une structure générale identique et un remplissage sédimentaire de même ordre. La figure 2 est une portion du profil sismique 18 (figure 3) choisie afin de montrer l'aspect de détail de ce remplissage sédimentaire. Nous avons distingué dans ce dernier, d'après les variations de caractère du signal enregistré, trois grandes séries sédimentaires qui recouvrent un interface se comportant comme une limite de pénétration aux ondes acoustiques.

La première série I, superficielle, est une séquence acoustiquement transparente (pour les fréquences utilisées) et est épaisse d'environ 0.5s temps double. Elle s'amincit toujours vers le large. En adoptant arbitrairement une vitesse de 1.7 à 1.8 km s^{-1} on peut lui assigner une épaisseur de l'ordre de 400 à 500 m. Cette série est probablement constituée de dépôts très peu compactés et ne pourrait représenter que le seul quaternaire. Rappelons à cet égard que plus de 750 m de quaternaire ont été forés en mer du Nord (Clarke, 1973).

La série n° II est beaucoup plus diffuse et n'est caractérisée que par deux réflecteurs très forts, l'un à sa base et l'autre à son sommet; son épaisseur est beaucoup plus constante et est de l'ordre de 0.8s à 1 temps double.

La série n° III ne contient que peu de réflexions continues mais ces dernières sont toujours très puissantes. Il s'agit probablement là d'un sédiment beaucoup plus compacté ayant comblé les dépressions d'un horizon sous-jacent. Ce fait explique son épaisseur très variable de 0 (profil 18, à 12 h 30) à plus de 2 s temps double.

Nous considérons le dernier horizon, irrégulier et très réfractant comme le toit du socle océanique. Ce socle se remarque sur les profils jusque sous des épaisseurs sédimentaires considérables. Une telle section acoustique caractérise aussi l'ensemble des profils obtenus au niveau de la marge continentale du Spitzberg (Malod et Mascle, 1975), les seules variations notables ne se marquant qu'au niveau des épaisseurs.

L'extrémité du profil 18 (figure 3) montre qu'il existe de très importants reliefs au niveau du socle acoustique; ce socle plonge cependant toujours vers l'est et s'ennoie ensuite sous la pente continentale. On peut observer les mêmes phénomènes sur les profils 19 et 20.

Sur l'ensemble des trois profils, la couverture sédimentaire est sub-horizontale mais il existe cependant à l'intérieur ou à la limite des trois séries décrites, plusieurs traces de discontinuités et de déformations. C'est ainsi que la série I, la plus récente, est la seule à ne pas présenter de déformation au niveau des reliefs du socle (voir profil 18, figure 3) alors qu'elle repose en discordance sur la série II. Cette discordance prend naissance au niveau du plateau continental au nord, mais ne s'amorce qu'à mi-pente au sud sur le profil 20 (entre 18 et 19 h, figure 4).

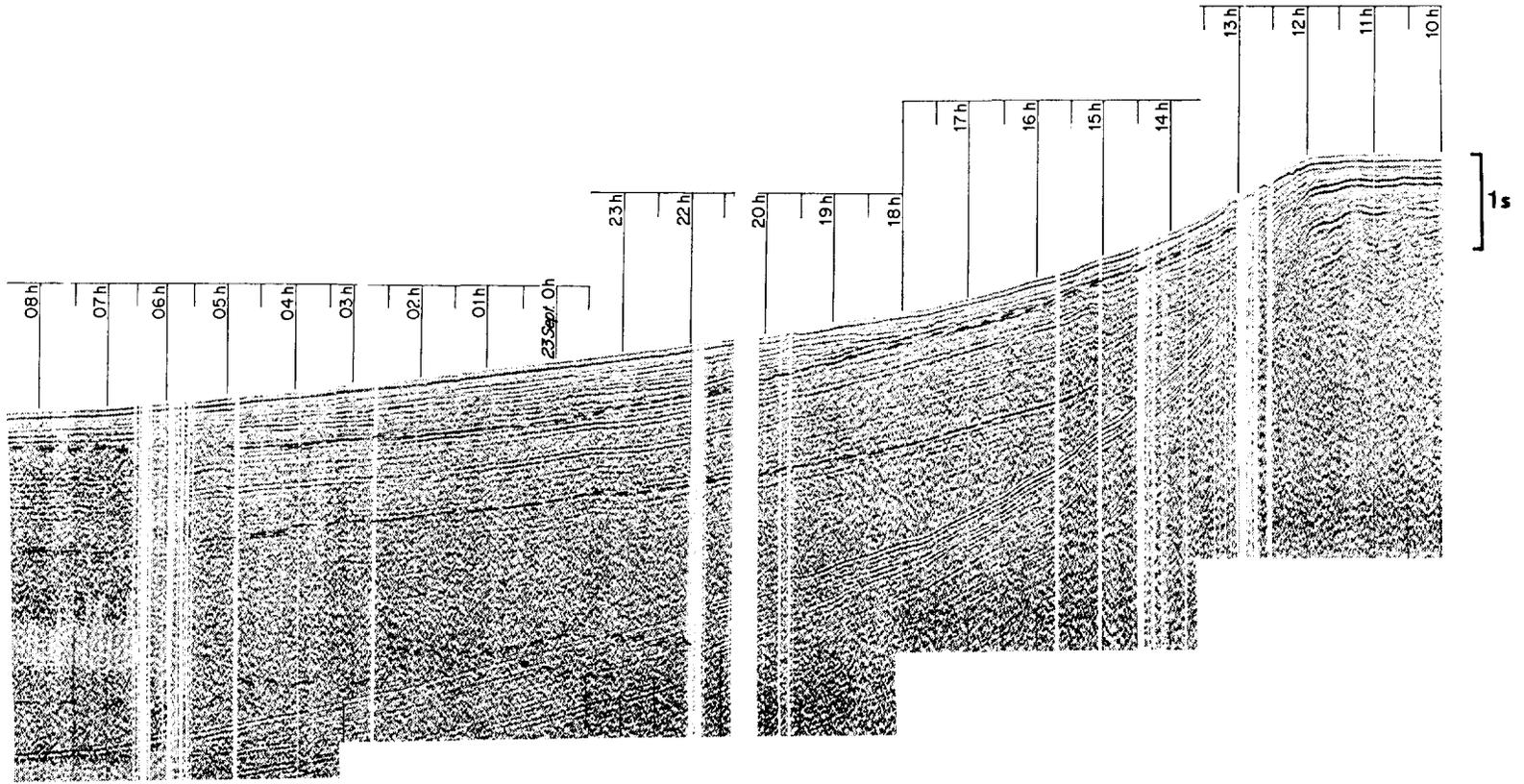


Fig. 4. Reflection profile 20. Same indication as on figure 3. Profile n° 20.

3. La marge au large des îles Lofoten

Les profils 21 et 22 montrent (figure 5) une structure de la marge tout à fait différente de la précédente. Le socle acoustique se distingue sous environ 2.5 s temps double de sédiments (profils 21); plus au sud (profil 22), la couverture sédimentaire s'amincit encore pour n'atteindre plus qu'une épaisseur de 1.4 s temps double. Cette évolution

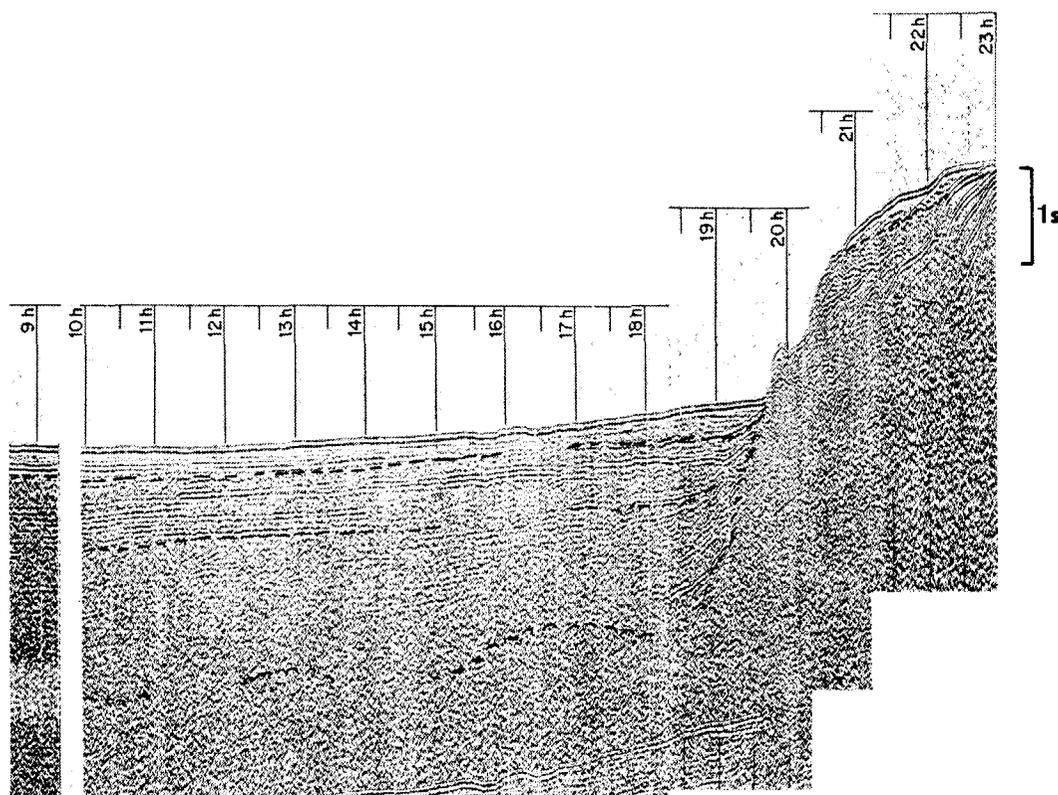


Fig. 5. Reflection profile 21 off Lofoten Island. Note the topographic depression at the base of the slope. Profil n° 21 au large des îles Lofoten.

est liée à l'éloignement progressif de la source principale de sédiments: la mer de Barentz. La pente n'est plus, à ce niveau, représentée par un large talus sédimentaire mais au contraire semble correspondre à une paroi de socle localement recouverte par une très mince série transparente.

La nature de ce dernier socle acoustique reste difficile à interpréter mais il s'agit, du moins dans la partie supérieure de la marge, probablement de sédiments compacts d'âge secondaire, de même nature que ceux que Sundvor (sous presse) décrit à la latitude des îles Lofoten.

La pente est entaillée par une dépression qui, d'après son identification sur les profils de Johnson (1971) semble être sub-parallèle à la limite du plateau continental. Il n'est pas possible de savoir si le flanc est de cette vallée correspond à la prolongation d'une structure comparable au 'Outer High' décrit plus au sud par Talwani et

Eldholm (1972), ou s'il s'agit d'un horst de même origine que ceux décrits par Sundvor et Sellevoll (1971) dans le secteur des îles Lofoten.

4. Interprétation

Deux principaux types de réflecteurs sont mis en évidence au niveau de ce secteur de la marge continentale norvégienne, un réflecteur profond et une couverture sédimentaire.

Le réflecteur profond, irrégulier et plongeant vers l'est, est accidenté de nombreux reliefs. Cette surface est interprétée comme le toit du socle océanique de la mer de Norvège. Le caractère sismique, l'irrégularité de sa surface, la présence d'anomalies magnétiques de type océanique, représentées sur la figure 6 (d'après Avery *et al.*, 1968) ainsi que la reconstitution géométrique récente proposée pour la mer de Norvège (reconstruction qui nécessite un recouvrement important des marges groenlandaise et norvégienne au niveau du delta de la mer de Barentz) nous apparaissent confirmer une telle interprétation.

Dans ce cas, les reliefs océaniques visibles à l'extrémité des profils 18 et 19 peuvent représenter soit les contreforts de la dorsale des Moines, soit l'extension de zones de fracture comme le laissent penser les décalages existant au niveau des anomalies magnétiques et les directions théoriques d'ouverture (Le Pichon *et al.*, sous presse).

Sous le delta de la mer de Barentz (figure 6), ce socle n'est détectable, sur les profils sismiques, que jusqu'aux environs de 13° de longitude ouest, c'est-à-dire à une distance de la rupture du plateau continental d'environ 100 km. Au contraire, au voisinage des îles Lofoten, le socle océanique peut être suivi jusqu'au pied de la pente continentale; ce fait s'explique par la différence d'épaisseur de la couverture sédimentaire entre ces deux zones de la marge, alors que le caractère acoustique des sédiments est assez comparable, surtout pour les séquences profondes.

D'après l'âge d'ouverture de la mer de Norvège, la série la plus ancienne, III, pourrait représenter des dépôts du tertiaire inférieur et moyen. Elle est localement déformée, particulièrement à proximité des reliefs du socle océanique. Ces déformations peuvent être liées soit à des phénomènes de compaction, mais elles semblent plus accusées aux endroits où la série sédimentaire est plus réduite, soit plus probablement à des mouvements d'origine tectonique du substratum océanique. Une telle interprétation serait en accord avec la prolongation probable de zones de fracture à ce niveau. Des déformations moins importantes, mais ayant une plus grande extension, se remarquent aussi au passage entre les séries III à II précédemment définies; on peut les rapprocher d'observations analogues faites au niveau de la marge du Spitzberg où l'hypothèse d'un saut de dorsale vers l'est a été avancée (Malod et Mascle, 1975). Suivant Sundvor (sous presse) nous avons adopté une vitesse de 1.75 km s^{-1} pour les dépôts récents, et nous avons indiqué alors que la série n° 1 pouvait correspondre au seul quaternaire et avoir une épaisseur de 500 m. Cette hypothèse sur l'âge de cette série concorde assez bien avec la discordance qui se remarque à la base de cette série, discordance qui serait alors la trace de la reprise de la subsidence de la mer de Barentz, phénomène daté du Pléistocène (Freebold, 1951).

STRUCTURE DE LA MARGE CONTINENTALE NORVÉGIENNE AU DÉBOUCHÉ DE LA MER DE BARENTZ

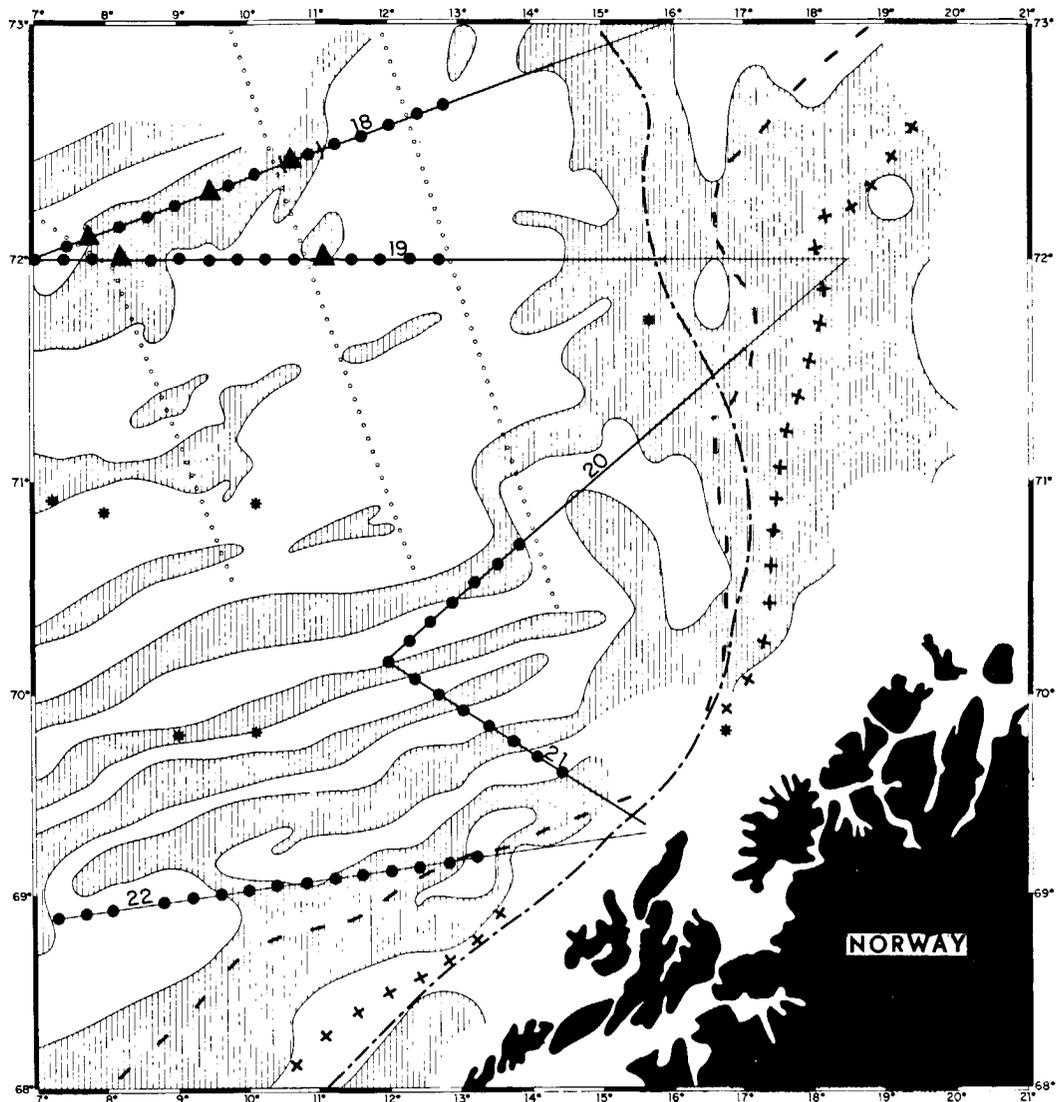


Fig. 6. Synthetic diagram showing the main geophysical features of the area: - Hatched area corresponds to negative magnetic anomalies (from Avery *et al.*, 1968). - Black dots and triangles along track line correspond respectively to oceanic basement identification and to basement rises. - Postulated fracture zone extension from Le Pichon *et al.* (sous presse) are indicated as lines of open circles. - --- and +++ indicate important negative and positive free air gravity trends, and -·-· shows the position of the shelf break. - Epicenters (stars) are from Sykes (1965).

Schéma général de la zone montrant les principales caractéristiques géophysiques: - Les aires hachurées correspondent aux anomalies magnétiques négatives (d'après Avery *et al.*, 1968). - Les cercles et triangles noirs marquent respectivement la limite observée du socle océanique et l'existence de reliefs importants. - Les figurés --- et +++ indiquent les axes principaux des anomalies gravimétriques à l'air libre, et -·-· indique la limite du plateau continental. - La position des épicentres (étoiles) est extraite de Sykes (1965). - Les zones de fracture hypothétiques sont indiquées par de petits cercles.

D'après l'analyse de ces quelques profils, il n'est pas possible de proposer une limite vers l'ouest quant à l'extension du socle continental au niveau du delta de la mer de Barentz. Il faut noter cependant que Talwani et Eldholm (1972) ont corrélé, entre $66^{\circ}30'$ et 69° , le rebord du plateau continental avec une ceinture d'importantes anomalies gravimétriques à l'air libre. Ces anomalies souligneraient, pour ces auteurs, l'existence en profondeur de zones d'intrusions liées à l'initiation des processus d'ouverture de la mer de Norvège. On observe à l'intérieur du plateau continental entre 70° et $72^{\circ}30'N$ un lignement d'anomalies à l'air libre; on peut donc proposer que cette ceinture souligne le tracé de l'ancienne limite du plateau, limite qui aurait été masquée par les progradations sédimentaires postérieures. Plus à l'est, au niveau de $72^{\circ}30'$, dans la mer de Barentz, cette ceinture semble coïncider avec des structures sous-jacentes approximativement parallèles au rebord sud d'un fossé dénommé par Sundvor (sous presse) 'fosse de la mer de Barentz' (figure 6).

5. Conclusions

Les données présentées dans cet article indiquent que la marge continentale norvégienne entre 70° et $72^{\circ}N$ est une marge de structure relativement simple, et résulte de l'accumulation et de la progradation de dépôts sédimentaires tertiaires sur un socle océanique. La construction d'un large delta sédimentaire au débouché de la mer de Barentz au cours du tertiaire peut s'expliquer par la forte érosion qu'aurait subi au cours du Tertiaire le plateau de la mer de Barentz. L'existence de ce delta sédimentaire fournit aussi une explication quant à la nature du recouvrement que l'on observe dans les différentes reconstructions de la mer de Norvège entre les marges continentales norvégienne et groënlandaise (Bott et Watts, 1971; Le Pichon *et al.*, sous presse).

L'histoire géologique proposée pour la mer de Barentz explique l'épaisseur considérable des séries tertiaires au niveau du delta bien que les taux de subsidence soient eux-mêmes très élevés au cours du tertiaire supérieur et du quaternaire dans cette région du globe (Clarke, 1973). Il est pourtant probable que l'extension et la construction de ce delta ont été contrôlés au nord-ouest par les contreforts de la dorsale d'Atka, qui est très proche du continent au niveau du Spitzberg ainsi que par la prolongation de zones de fractures, au sud-ouest, comme semble l'indiquer l'existence de reliefs importants au niveau du socle océanique et les décalages visibles au niveau des anomalies magnétiques.

La limite actuelle du plateau continental n'est qu'une limite récente; la véritable limite continentale se situe peut-être au niveau d'une ceinture d'anomalies gravimétriques qui pourrait être la prolongation de celle décrite par Talwani et Eldholm (1972) plus au sud.

Dans la région des îles Lofoten, la marge continentale est surtout caractérisée par de fortes pentes. Ses directions structurales sont à la fois parallèles aux directions de failles connues au niveau des îles Lofoten et à la direction du 'Outer High' décrit par Talwani et Eldholm (1972) au niveau de l'extrémité nord du plateau de Voringe.

Remerciements

Nous remercions l'équipage et le personnel scientifique qui, à bord du N.O. Jean Charcot, ont permis l'acquisition des données au cours de la campagne NestlanteII organisée par le CNEXO-COB. J. Bonnin et X. Le Pichon étaient chefs de mission. Ce travail a bénéficié de discussions avec F. Avedik et V. Renard. D. Needham, X. Le Pichon et G. Pautot l'ont lu et critiqué.

Bibliographie

- Avery, O. E., Burton, G. D., et Heirtzler, J. R.: 1968, 'An Aeromagnetic Survey of the Norwegian Sea', *J. Geophys. Res.* **73**, 4583-4600.
- Bott, M. H. P. et Watts, A. B.: 1971, 'Deep Structures of the Continental Margin Adjacent to the British Isles', dans F. M. Delany (ed.), *ICSU/SCOR Working Party: The Geology of the East Atlantic Continental Margin 2*. Europe. Dep. n° 70/14, First Geol. Sci. 170 pp.
- Clarke, R. H.: 1973, 'Cenozoic Subsidence in the North Sea', *Earth Planetary Sci. Letters* **18**, 329-332.
- Eggvin, J.: 1963, 'Bathymetric Chart of the Norwegian Sea and Adjacent Areas', Filskeridirektoratets Havforsknings Institut, Bergen, Norway.
- Eldholm, O. et Ewing, J.: 1971, 'Marine Geophysical Survey in the South-Western Barents Sea', *J. Geophys. Res.* **76**, 3832-3841.
- Freebold, H.: 1951, 'Geologie des Barentsschelfes', *Abhandl. Dent. Akad. Wiss. Berlin* **5**, 1-150.
- Johnson, G. L., Freitag, J. S., et Pew, J. A.: 1971, 'Structure of the Norwegian Basin', *Norsk Polarinst. Arb.-1969*, 7-16.
- Malod, J. A.: 1972, 'Etude géologique en Mer de Barents et de Norvège', *Thèse, Université de Rennes*, France, 45 pp.
- Malod, J. A. et Mascle, J.: 1975, 'Structures géologiques de la marge continentale à l'ouest du Spitzberg', *Marine Geophys. Res.* **2**, 215-229.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., et Sibuet, J. C.: 'Opening of the Norwegian and Arctic Seas and Reconstruction of Continents Before the Opening of North Atlantic', sous presse.
- Phillips, J. D., Flemming, H. S., et Feden, R.: 1973, 'Aeromagnetic Study of the Greenland and Norwegian Seas', *Geol. Soc. Am., Abs. with programs (Ann. Meeting)*, 767-768.
- Sundvor, E.: 'Seismic Refraction and Reflection Measurement in the Southern Barents Sea', sous presse.
- Sundvor, E. et Sellevoll, M.: 'Seismiske undersøkelser av den Norske Kontinentalsokkel: Lofoten-Bjørnøya (78-75° NE)', *Teknisk rapport nr. 5, Jordskjelvstasjonen, Universitetet i Bergen, Norway*.
- Sykes, L. R.: 1965, 'The Seismicity of the Arctic', *Bull. Seismol. Soc. Am.* **55**, 501-518.
- Talwani, M. et Eldholm, O.: 1972, 'Continental Margin off Norway: a Geophysical Study', *Geol. Soc. Am. Bull.* **83**, 3575-3606.
- Vogt, P. R., Ostenson, N. A., et Johnson, G. L.: 1970, 'Magnetic and Bathymetric Data Bearing on Sea-Floor Spreading North of Iceland', *J. Geophys. Res.* **75**, 903-920.