

Mar. Geoph. Res., 2, pp. 215-229

## STRUCTURES GÉOLOGIQUES DE LA MARGE CONTINENTALE À L'OUEST DU SPITZBERG\*

J. MALOD

*Laboratoire de Géologie Marine, Faculté des Sciences de Rennes, B.P. 25 A, 35031 Rennes Cedex, France*

et

J. MASCLE

*CNRS, actuellement au C.O.B., B.P. 337, 29273, Brest, France*

(Received 8 April, 1974)

**Résumé.** L'étude de plusieurs profils de sismique réflexion, magnétisme et gravimétrie a permis de dégager les grands traits de la structure de la marge continentale à l'ouest du Spitzberg. Cette marge est représentée au niveau du talus continental par un bassin sédimentaire dont la largeur se réduit en allant vers le Nord. Ce bassin est limité à l'Ouest par les premiers contreforts de la dorsale d'Atka qui a joué un rôle de barrage pour les apports sédimentaires. Les données de la sismique réflexion et du magnétisme indiquent que la vallée d'Atka est sans doute une zone actuelle d'expansion. Ces résultats sont en bon accord avec le modèle récent d'ouverture de la mer de Norvège. De plus, la dorsale d'Atka semble avoir subi au pliocène un réajustement ayant modifié les processus sédimentaires au niveau de la marge. —

**Abstract.** The main structural features of the continental margin off West Spitzberg are outlined. Seaward the Atka ridge has acted like a dam for the eastward-flowing sediments and thus helped to build up a large sedimentary basin, narrowing towards the North. Magnetic and seismic data show that the Atka Valley is probably an active accretion rift valley. These results are in good agreement with the last hypothesis on the opening of the Norwegian Sea. During the Pliocene, a tectonic event may have affected Atka ridge and modified the subsequent sedimentation. —

Plusieurs profils de sismique réflexion accompagnés de relevés bathymétriques, magnétiques et gravimétriques ont été effectués par le N.O. Jean Charcot au cours de la campagne Nestlante II (1970) au niveau de la dorsale d'Atka et de la marge continentale du Spitzberg dans le Nord de la mer de Norvège (figure 1) dans le cadre d'une campagne organisée par le COB/CNEXO.

L'étude des anomalies magnétiques a permis à Avery *et al.* (1968) puis à Vogt *et al.* (1970) et Johnson (1971) de proposer un modèle préliminaire de l'évolution de ce bassin océanique.

Depuis le début de l'ouverture, daté d'environ 60-65 M.A., trois périodes principales ont été distinguées par ces auteurs: on peut retenir les étapes suivantes:

- de 60-65 M.A. à 45 M.A. environ un premier épisode d'ouverture assez mal défini;
- de 45 M.A. à 15 M.A. (ou 18 d'après Vogt *et al.*) un ralentissement probable de l'expansion;
- enfin, à partir de cette époque, reprise de l'ouverture suivant une direction bien marquée au niveau des zones de fractures.

\* Contribution No. 258 du Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.

Ce modèle ne semble cependant pas pouvoir s'appliquer au sud de 'Reykjanes ridge', où Herron et Talwani (1972) indiquent au contraire un taux d'ouverture sensiblement constant pour les 47 derniers M. A., ce qui conduit à le mettre en doute.

De plus, il semble que la mer de Norvège ait été le lieu de sauts de dorsale (formation des Kolbeinsey et Jan Mayen ridge; Johnson et Heezen, 1967; Vogt *et al.*, 1970; Eldholm et Talwani, 1973). De tels processus peuvent expliquer la complexité de la topographie et du magnétisme de la mer de Norvège.

Récemment, Le Pichon *et al.* (sous presse) ont établi une reconstitution des continents avant l'ouverture de la mer de Norvège basée sur la similitude des formes des marges de Norvège et du Groenland. Ces auteurs, après avoir mis en évidence deux

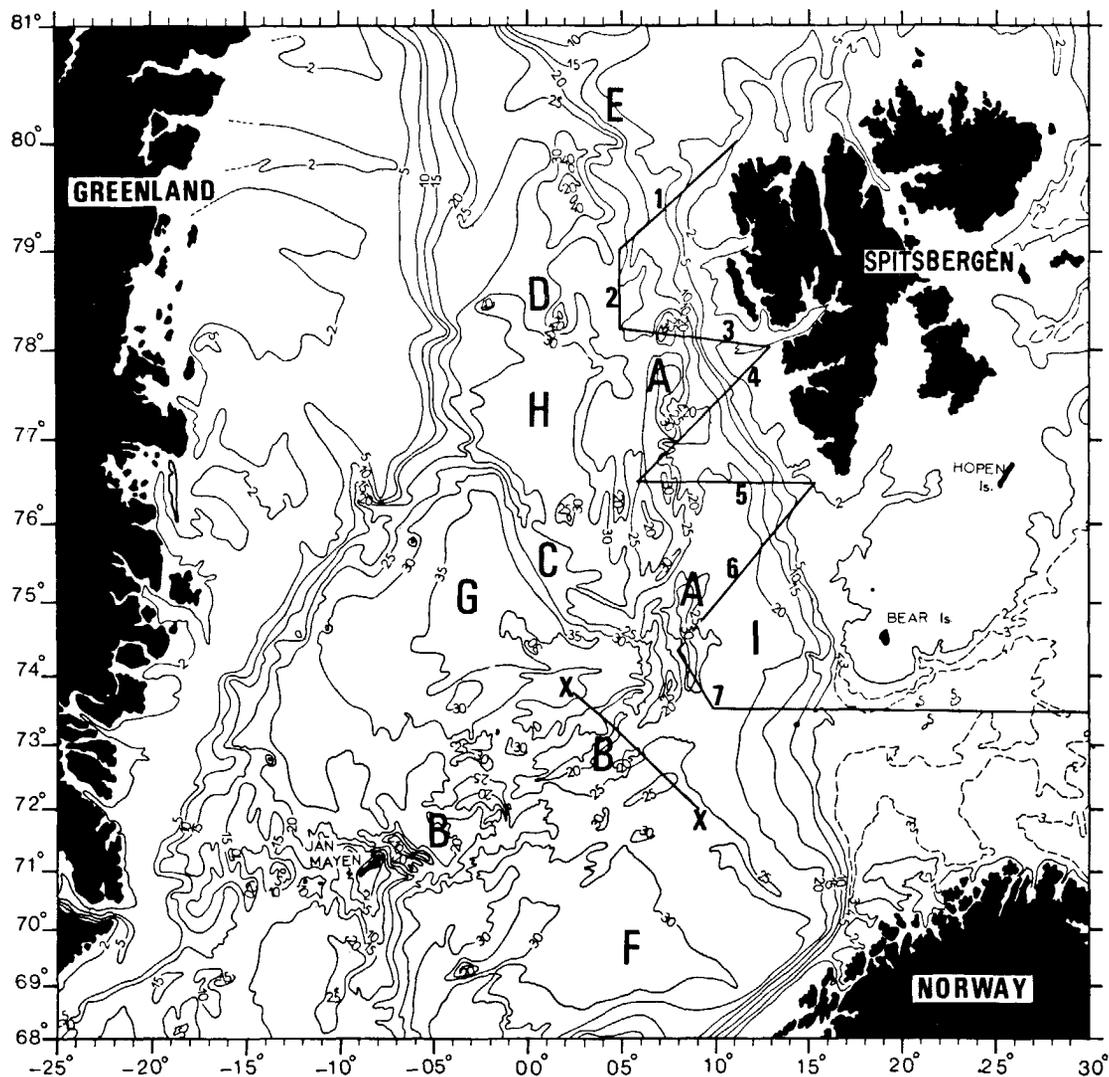


Fig. 1. Carte bathymétrique de la mer de Norvège (en centaines de mètres). Les profils utilisés dans le texte sont numérotés de 1 à 7 (le profil XX est extrait d'Avery *et al.*, 1968). Explication des symboles : A : dorsale d'Atka; B : dorsale du Moine; C, D, E : zones de fractures du Groenland, d'Hovgard et du Spitzberg; F, G, H : bassins de Norvège du Groenland et du Spitzberg; I indique le bassin individualisé sur la marge continentale du Spitzberg.

systèmes de directions s'intersectant, proposent deux phases dans l'évolution cinématique de ce bassin, dont la morphologie simplifiée est représentée sur la figure 1. Ces phases peuvent se décomposer en :

- Un épisode d'ouverture très oblique par rapport aux lignes de Côtes actuelles de 60 à 15 M.A.
- Une ouverture plus nette au cours des 15 derniers M. A. liée à un changement de position du pôle de rotation des plaques.

Comme le suggère la figure 2 ce modèle implique un phénomène de cisaillement important au niveau de la marge du Spitzberg au cours de la première phase d'ouverture. Parallèlement Lowell (1972) se basant sur les caractères de l'orogène tertiaire au Spitzberg Quest, conclut à un décrochement dextre (avec compression) du Spitzberg par rapport au Nord du Groenland.

Un certain nombre d'observations géologiques paraissent être en bon accord avec un tel processus.

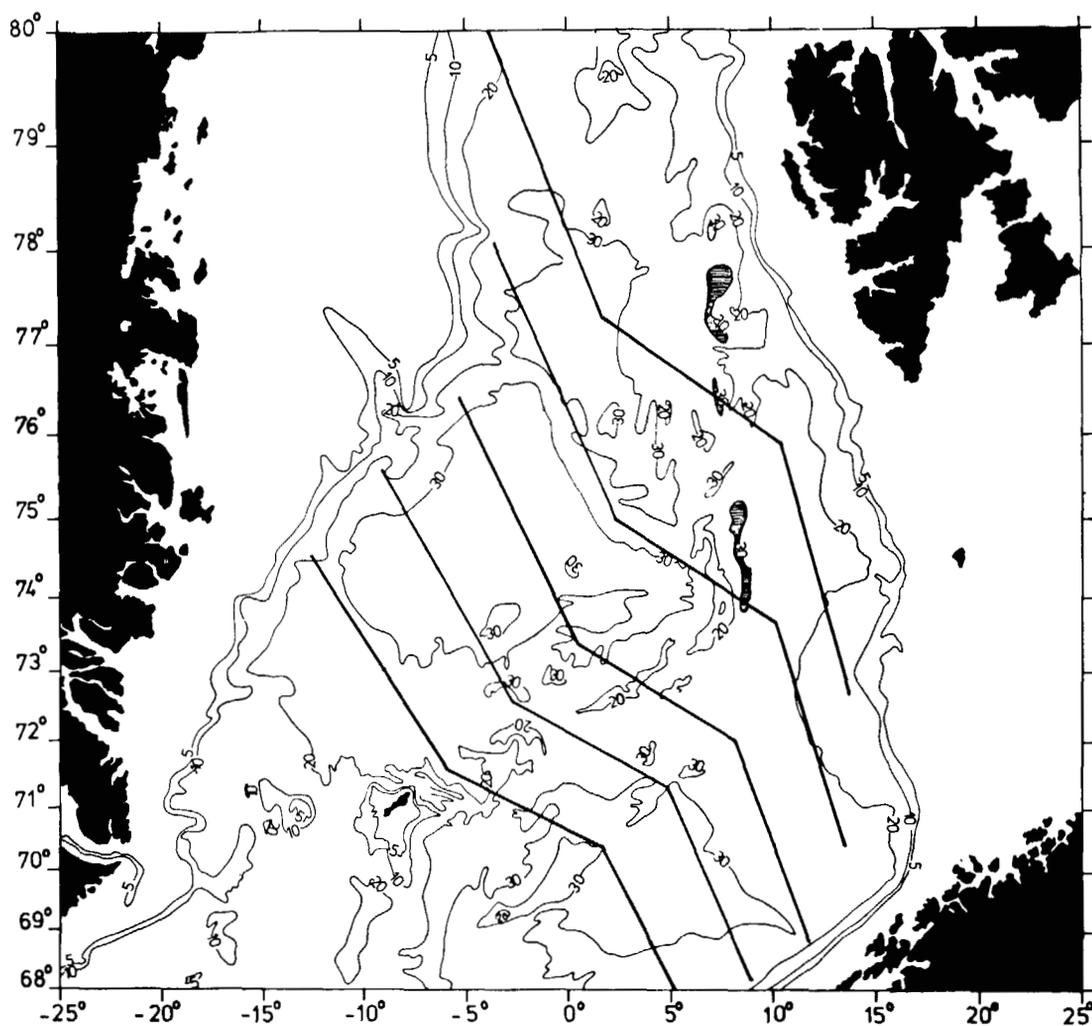


Fig. 2. Directions théoriques des deux phases d'ouverture entre le Spitzberg et le Groenland. (Le Pichon *et al.*, 1974.)

Tout d'abord il est remarquable de constater que la direction d'ouverture initiale est approximativement parallèle aux directions structurales continentales calédoniennes au Spitzberg. De plus de nombreux évènements tectoniques semblent avoir été contemporains de l'ouverture de la mer de Norvège. Orvin (1940) a donné une synthèse de la géologie de l'ouest du Spitzberg dans laquelle il distingue deux phases principales au cours du tertiaire: une compression et une distension. Il est tentant de relier ces phases à celles de l'ouverture du bassin océanique, ce que Harland (1969) et Lowell (1972) ont déjà suggéré à propos du décrochement entre le Spitzberg et le Groenland.

D'autre part, au cours du tertiaire, le Spitzberg a été affecté d'un relèvement progressif et continu, accompagné d'un basculement de son flanc sud, qui s'est traduit par des variations de la sédimentation tertiaire, alternativement marine et continentale (Orvin, 1940).

Ce fait peut être mis en relation avec le début d'ouverture et le soulèvement consécutif des marges (Le Pichon *et al.*, 1973) auquel peut s'ajouter l'effet d'une subsidence différentielle entre le Nord et le sud du Spitzberg, due à la position oblique de la dorsale par rapport au Spitzberg (figure 1).

Enfin un volcanisme plio-quadernaire (basalte alcalin) s'est produit au Nord du Spitzberg (Goldschmidt, 1911) le long d'anciennes directions de failles siluro-dévonniennes réactivées (Burov, 1970) ce qui pourrait aussi s'expliquer par la proximité de la dorsale d'Atka (environ 200 km).

Actuellement, bien qu'un certain nombre de données aient été recueillies sur la marge du Spitzberg (Talwani et Eldholm, 1972), très peu ont été publiées. Leroy (1948), Dietz et Shumway (1961), Eggvin (1963), Johnson et Eckhoff (1966), et Johnson (1971) ont fourni un cadre bathymétrique. Ostenso et Wold (1971), Vogt *et al.* (1970) puis Johnson (1971) ont publié et discuté aussi quelques profils magnétiques. Sykes (1965), Horsfield et Matton (1970) ont localisé les épencentres et les tremblements de terre et en ont interprété les résultats. Johnson (1971) et Emelyanov *et al.* (1971) sont les seuls à notre connaissance à avoir publié des profils de sismique réflexion à travers la marge du Spitzberg (figure 54 du mémoire de Johnson et figure 3 d'Emelyanov *et al.*).

## 1. Bathymétrie

Les différentes unités physiographiques que l'on peut observer sur la carte de la figure 1 (redessinée d'après Eggvin, 1963) sont:

### 1.1. LA MARGE CONTINENTALE DU SPITZBERG

Cette dernière est principalement constituée par un talus individualisé entre un plateau continental relativement peu développé (entaillé de nombreuses vallées glaciaires) et les premiers reliefs de la dorsale d'Atka.

A la latitude de l'île de l'Ours (Bear Island) sa largeur est voisine de 200 km, tandis qu'à la latitude de 78° Nord elle n'atteint plus que 50 km (du fait de la proximité de la dorsale d'Atka).

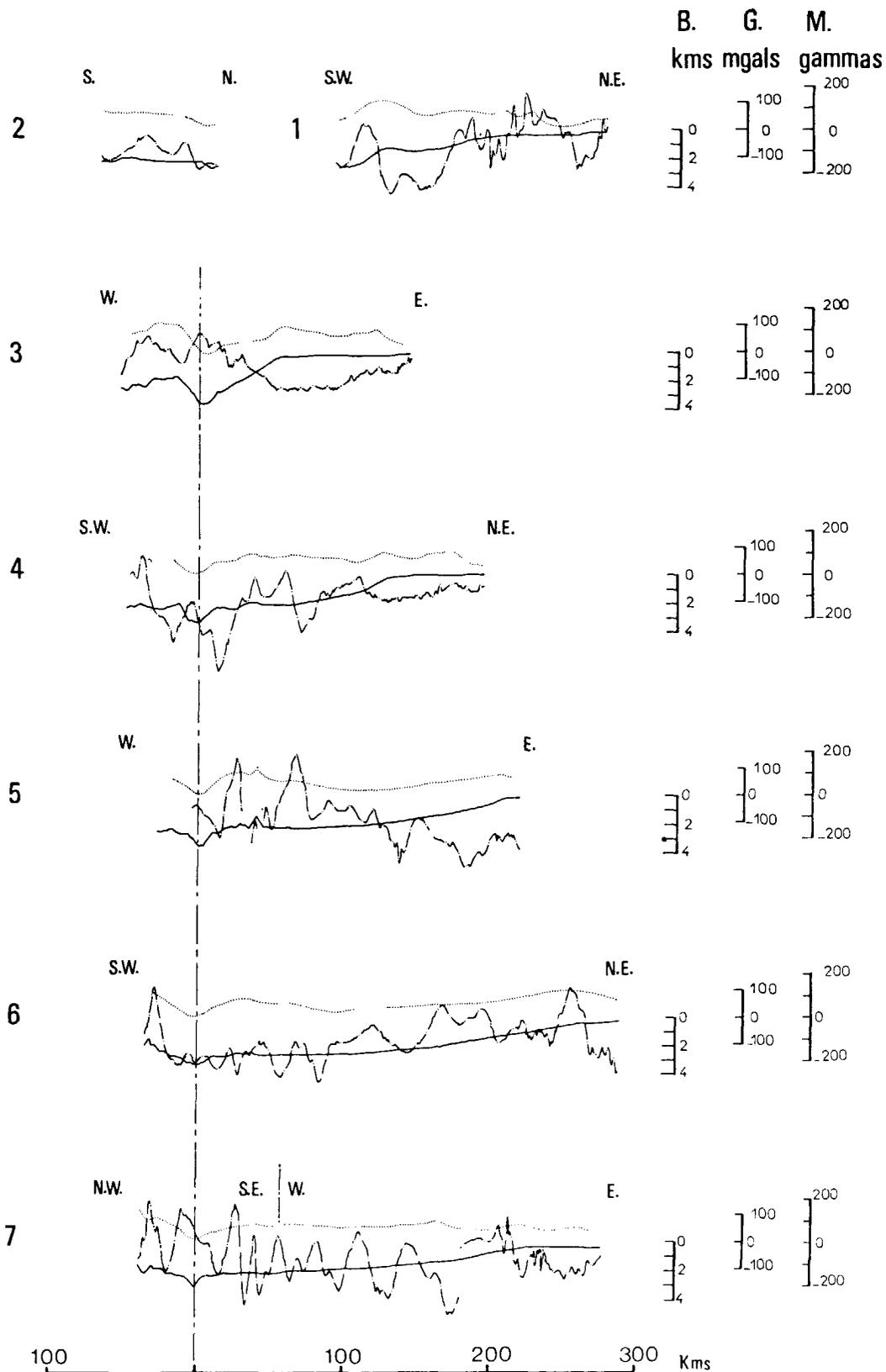


Fig. 3. Profils bathymétriques (trait continu), gravimétrique (pointillé) et magnétique (trait discontinu) des routes 1 à 7. Noter la concordance qui existe entre l'axe de la vallée d'Atka et une forte anomalie magnétique.

## 1.2. LA DORSALE D'ATKA

Les profils bathymétriques de la figure 3 illustrent cette évolution et montrent à la base de la pente l'existence d'une dépression, bordée à l'est par des reliefs importants.

Ces reliefs constituent une ligne de crêtes orientée approximativement Nord-Sud, surplombant les fonds environnants (de 1500 à 2000 m). Ces crêtes sont bien visibles sur les figures de Johnson (1971) et Emelyanov *et al.* (1971). Seul le flanc oriental de cette dorsale apparaît sur nos profils bathymétriques (figure 3).

La dépression a elle-même une largeur moyenne de 15 à 20 km et sa profondeur dépasse l'isobathe 3000 m. Une telle dépression au pied du talus continental pourrait s'interpréter comme la trace d'un fossé océanique. Il s'agit d'ailleurs de l'une des explications données par Johnson (1971). Cependant le profil 5 (figure 3) ainsi que le profil E6 de Johnson (1971) montrent nettement que cette vallée est en fait individualisée au milieu des reliefs, ce qui peut permettre de l'interpréter différemment, par exemple comme la vallée centrale d'une dorsale active.

La continuité de l'ensemble de ces reliefs avec la dorsale océanique du Moine au sud (Mohn Ridge) déjà suggérée par Johnson et Heezen (1967) apparaît très clairement et supporte une telle interprétation.

Par la suite nous considérerons que le terme dorsale d'Atka désigne l'ensemble de ces reliefs, y compris la vallée.

## 1.3. LES BASSINS VOISINS ET ZONES DE FRACTURES

Trois principaux bassins, à caractère de plaines abyssales et séparés par des zones de fracture d'orientation Nord Ouest – Sud Est se remarquent sur la carte de la figure 1.

Ce sont respectivement les bassins du Groenland, de Norvège et du Spitzberg individualisés entre les zones de fractures du Groenland, d'Hovgard et du Spitzberg. Cette dernière étudiée par Vogt *et al.* (1970) et Johnson (1971) a été interprétée comme la trace du cisaillement initial le long du Spitzberg lors de la première phase d'ouverture de la mer de Norvège (Pitman et Talwani, 1972; Lowell, 1972).

Les zones de fractures de Hovgard et du Groenland montrent deux directions correspondant aux deux phases de la cinématique d'ouverture proposées par Le Pichon *et al.* (sous presse).

## 2. Les résultats de la sismique réflexion

Les profils ont été obtenus à l'aide d'une source sismique Flexotir. L'interprétation des profils est donnée sur la figure 4. Les profils 4 et 6 constituent les figures 5 et 6.

### 2.1. LA MARGE CONTINENTALE

La figure 4 illustre l'évolution Nord Sud de la structure de la marge, qui paraît être le résultat d'une accumulation sédimentaire par progradations successives.

Les sédiments constituent un bassin épais individualisé en un domaine approximativement triangulaire entre le Spitzberg et le flanc oriental, maintenant enfoui, de la dorsale d'Atka.

Les profils bathymétriques de Johnson (1971) suggèrent que cette structure est continue jusqu'aux environs de 77° Nord, latitude à laquelle ce bassin sédimentaire disparaît et où la pente continentale atteint directement la vallée d'Atka.

Deux principales séries peuvent être reconnues dans ce bassin sédimentaire:

- un ensemble supérieur de réflecteurs, identique sur tous les profils est constitué de

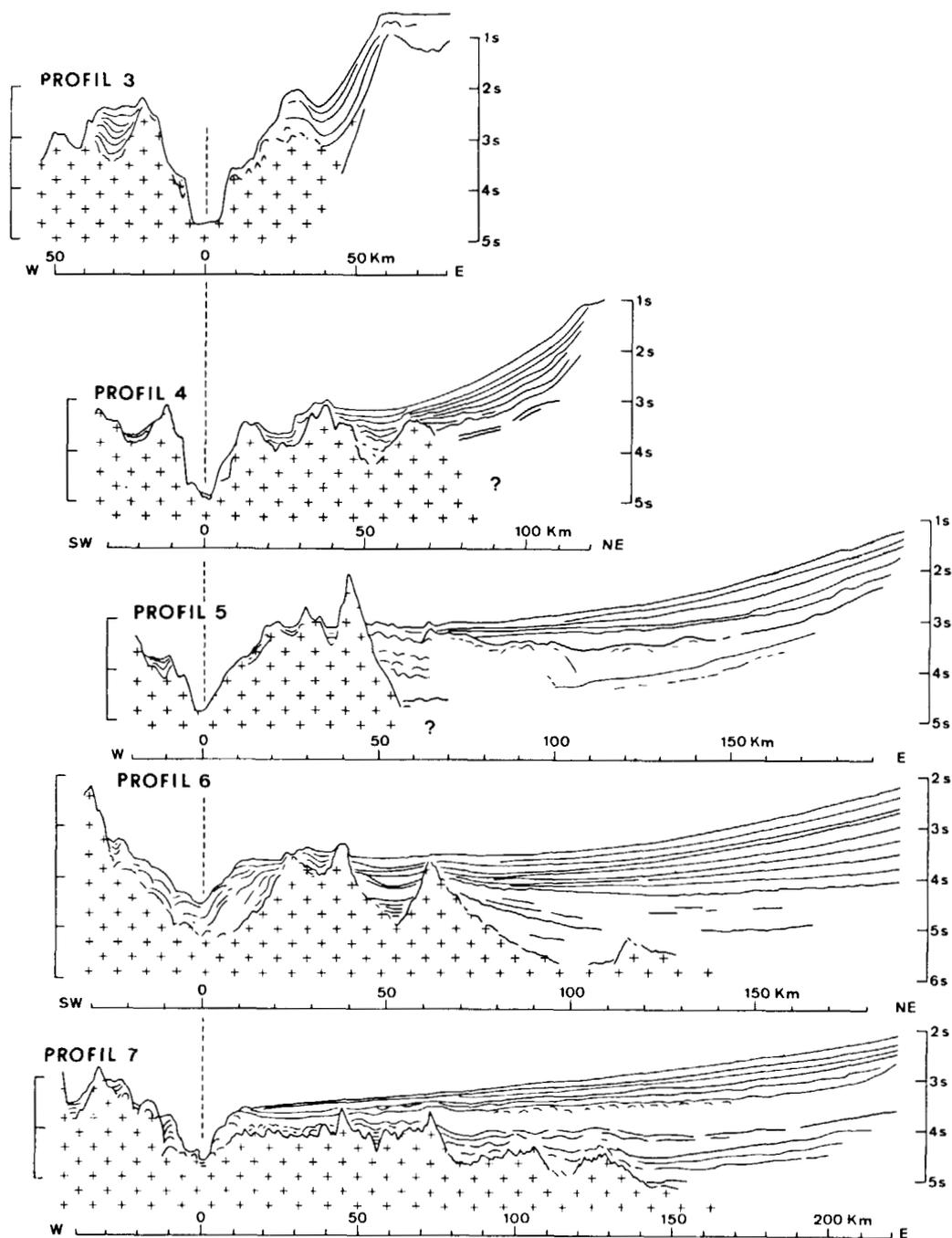


Fig. 4. Interpretation schématique des profils sismiques 3 à 7. Le substratum probablement d'origine océanique est représenté par des croix. Noter l'existence de déformations de la série sédimentaire inférieure contre ce substratum particulièrement visible sur le profil 5.

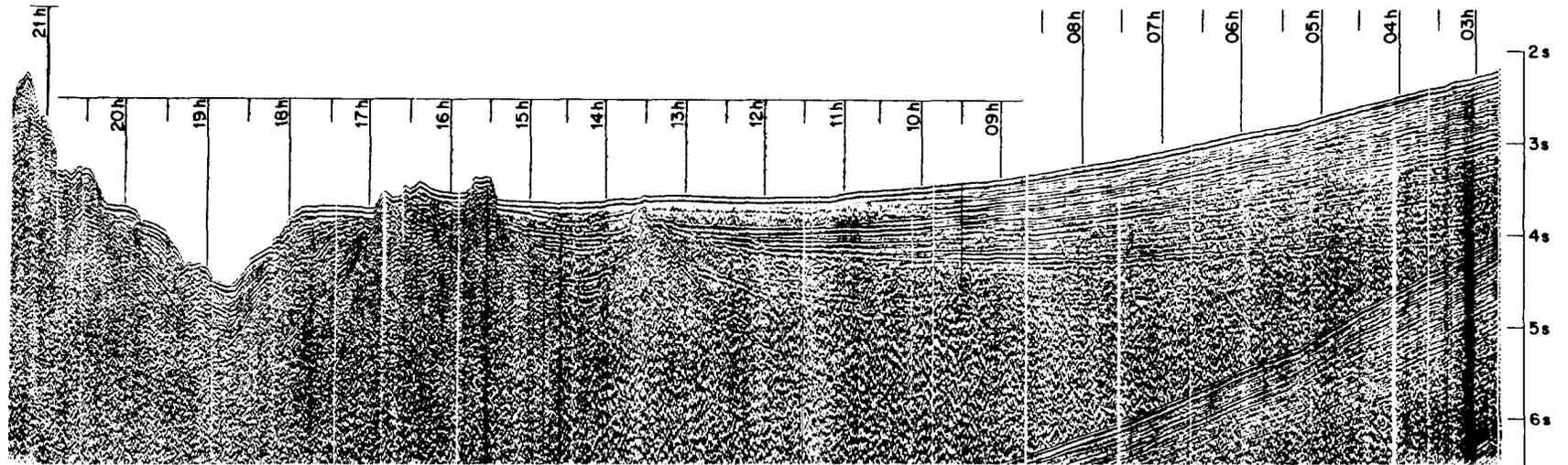


Fig. 5. Reduction photographique d'une partie du profil 6. Noter l'existence de deux séries sedi mentaires bien distinctes sur la droite. La vallée d'Atka est partiellement remplie tandis que le socle forme directement les contreforts de la dorsale d'Atka.

sédiments bien stratifiés et acoustiquement non diffractants. Cet ensemble ne présente pas de déformation particulière et atteint localement des épaisseurs considérables (voisine de 2 s temps double sur le profil 6 figure 6). Vers le large, cette série s'amincit et butte contre des crêtes topographiques. Généralement ces sédiments ne semblent pas avoir dépassé la barrière que constituent ces crêtes.

- une seconde série de réflecteurs est individualisée sous cet ensemble supérieur et couvre un substratum acoustique à topographie irrégulière, limite de la pénétration des ondes sismiques. Le 'faciès acoustique' de cette série est totalement différent de celui de la première. La pénétration est variable mais peut être aussi localement importante (voisine de 2 s, profils 6 et 7, figures 4-6). Les sédiments sont relativement déformés, surtout au contact du substratum acoustique (profils 5 et 7, figure 5).

Plusieurs constatations peuvent être faites lorsque l'on compare les caractéristiques de ces deux séries sédimentaires :

- l'axe de la sédimentation n'est pas le même pour les deux unités ; alors que l'ensemble sédimentaire supérieur s'amincit vers l'Ouest et semble présenter son maximum de dépôt à la base du plateau continental, la deuxième série sédimentaire que nous avons individualisée présente une épaisseur plus constante. Dans ce cas l'axe de dépôt maximum semble se localiser plus près des reliefs de la dorsale d'Atka. Ainsi, il semble que cet axe ait migré vers l'est et que la construction du talus sédimentaire actuel soit le fait des apports sédimentaires récents uniquement. Emelyanov *et al.* (1971) remarquent le même phénomène bien visible sur la figure 3.

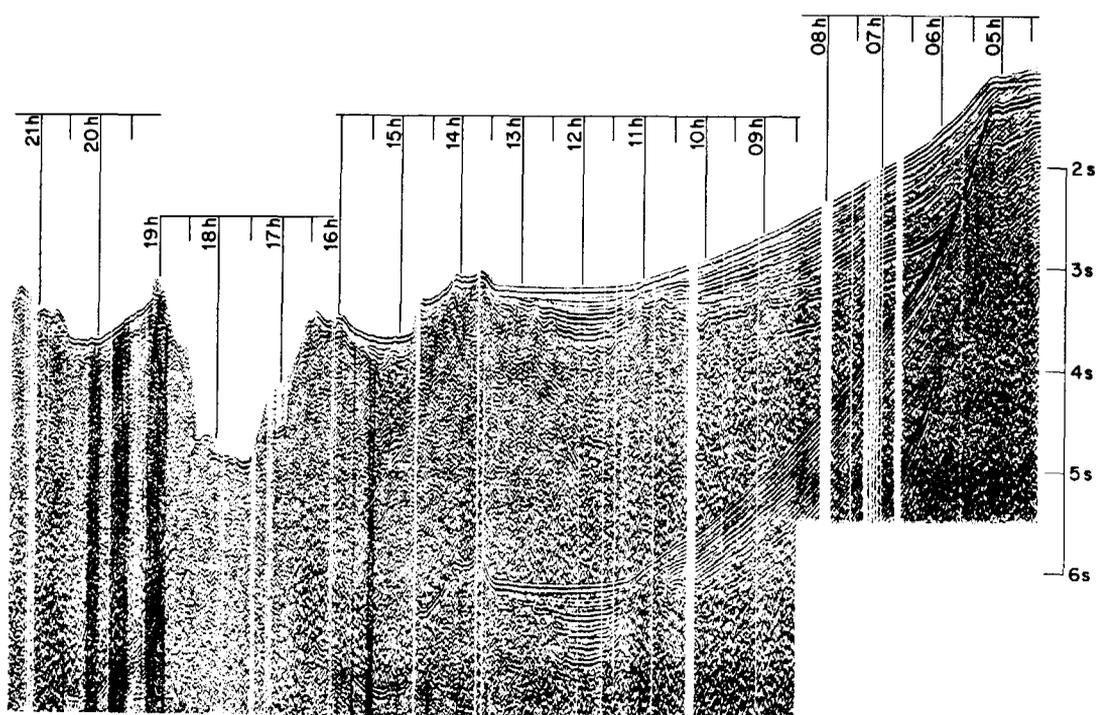


Fig. 6. Réduction photographique du profil sismique 4. L'échelle verticale est en seconde temps double et une heure représente approximativement 10 km. Remarquer sur la droite du profil la couverture sédimentaire relativement importante, alors que à gauche la vallée et la dorsale d'Atka apparaissent pratiquement dépourvues de sédiments.

- L'ensemble inférieur est déformé et sa limite supérieure est légèrement ondulée (profils 5, 6, 7, figures 4 et 6) alors que les dépôts supérieurs sont calmes. On peut remarquer en particulier sur le profil 5 et moins nettement sur les autres que ces déformations se sont faites au contact des crêtes topographiques, contre lesquelles elles sont plus accentuées alors qu'elles semblent s'atténuer en direction de la marge continentale.
- La nature de la sédimentation a considérablement changé entre les deux séries.

L'ensemble de ces observations suggère qu'une phase tectonique importante, peut être liée à un soulèvement du substratum au niveau de la dorsale d'Atka, s'est produite entre le dépôt de ces deux séries sédimentaires.

Un tel évènement nous semble seul pouvoir simplement expliquer à la fois ces déformations tectoniques (surtout visibles au contact du substratum et au niveau des horizons inférieurs), la migration vers l'est de l'axe de subsidence, le changement dans le type de sédimentation et l'édification d'un nouveau talus sédimentaire.

## 2.2. LA DORSALE D'ATKA

D'une manière générale l'ensemble sédimentaire supérieur constitue le seul élément de la couverture de cette dorsale à proximité de la vallée d'Atka.

Le substratum acoustique présente une morphologie très irrégulière de type océanique. Ce substratum est à l'affleurement à l'ouest de la fosse et localement à l'est (en particulier profil 5 - figure 4). Vers la marge, le substratum est recouvert d'une épaisseur de sédiments importants dépassant 3 secondes temps double. Sur les profils 3, 4, 5 (figure 4) la vallée d'Atka est vide de sédiment. Ceci s'explique par le rôle de barrière joué par les crêtes du flanc est de la dorsale d'Atka et se comprend bien si cette vallée représente l'axe d'une dorsale médio océanique.

En revanche sur les profils 6 et 7 la vallée contient une certaine épaisseur de sédiments. Le profil 7 (figure 1, 4) se trouve au niveau du débouché de la mer de Barentz et les apports sédimentaires liés à celle-ci ont probablement réussi à franchir le barrage constitué par les crêtes topographiques océaniques et contribué ainsi au remplissage partiel de la vallée centrale. Le profil 6 ainsi que le profil de la figure 54 de Johnson (1971) se trouvent eux pratiquement, à l'intersection de la zone de fracture du Groënland et de la dorsale d'Atka. Cette situation a pu favoriser le remplissage de la vallée centrale. Ainsi ce remplissage sédimentaire qui était l'un des arguments de Johnson (1971) pour interpréter cette vallée comme un fossé océanique, n'est pas constant et peut s'expliquer localement.

Le flanc est de la vallée d'Atka est bordé par d'importantes crêtes qui semblent avoir joué tectoniquement à une époque que nous allons tenter de déterminer maintenant à l'aide de l'étude des anomalies magnétiques.

## 3. Les anomalies magnétiques

Les profils magnétiques sont représentés sur la figure 3 pour l'ensemble des coupes. Il faut tout d'abord noter que sauf dans le cas du profil 6 (qui se trouve sur le passage de

STRUCTURES GÉOLOGIQUES DE LA MARGE CONTINENTALE À L'OUEST DU SPITZBERG

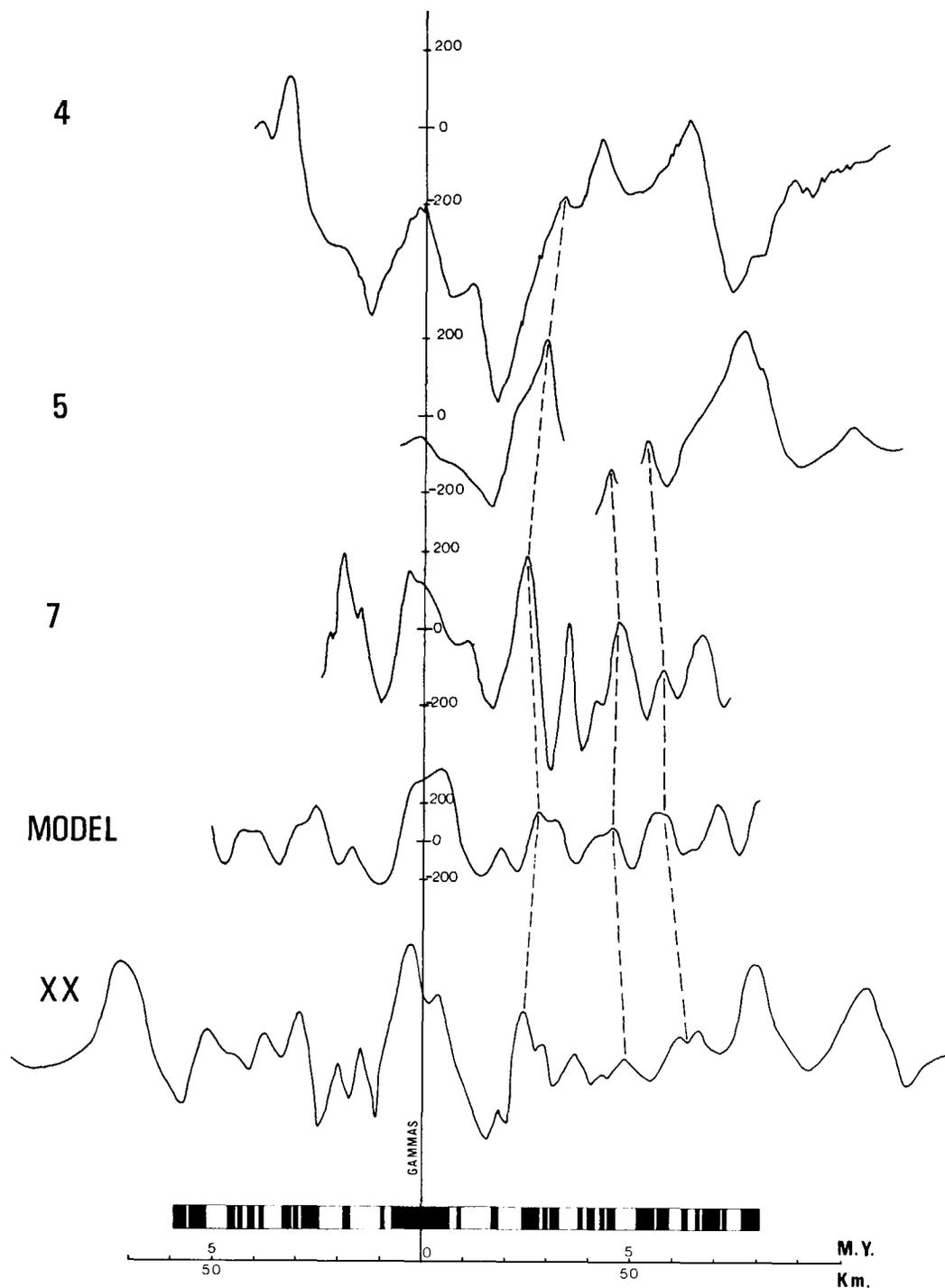


Fig. 7. Anomalies magnétiques des profils XX, 4, 5, 7 projetées perpendiculairement à la direction de la dernière phase d'ouverture en mer de Norvège. Ces anomalies sont corrélées avec celles d'un modèle calculé pour un taux d'expansion de 1 cm par an à 73,5° N, 10° E. L'échelle paléomagnétique est extraite de Talwani *et al.*, 1971.

la zone de fracture du Groenland) la vallée d'Atka est caractérisée par une anomalie positive (figures 3 et 7).

D'autre part les anomalies magnétiques sont de longueur d'onde relativement courte (de l'ordre de 15 km) comparable aux anomalies de type océanique, mais leur amplitude est relativement faible (400 gammas pic à pic dans les cas extrêmes, profils 4, 5, 7), phénomène que Johnson (1971), Vogt *et al.* (1970), et Phillips *et al.*, (1973) ont aussi remarqué dans cette zone.

Pour Johnson (1971) ce fait peut facilement s'expliquer par l'une des deux raisons suivantes:

- Expansion oblique qui entraînerait une réduction des anomalies magnétiques en produisant des zones plus étroites (superposition de laves de polarités magnétiques différentes).
- Emission des basaltes perturbée par des apports sédimentaires importants.

Les deux explications peuvent s'appliquer au cas de la dorsale d'Atka. De toute façon, la présence sur les flancs de la dorsale de séries sédimentaires épaisses doit jouer un rôle dans l'affaiblissement des anomalies magnétiques. Bien que ces anomalies aient un caractère spécial, nous pensons qu'elles confirment la nature océanique de la dorsale d'Atka, et en particulier que la vallée d'Atka représente la vallée axiale de cette dorsale. Tenant compte de ce fait un modèle de corrélation des anomalies magnétiques pour les profils 4, 5, 7, qui n'a qu'une valeur d'hypothèse est cependant proposé (figure 7).

Sur la figure 7 les anomalies ont été projetées perpendiculairement à un azimuth qui est celui de la direction d'ouverture récente (Le Pichon *et al.*, sous presse) et corrélées à la fois avec le profil XX provenant de Vogt *et al.* (1970) à travers la dorsale du Moine et avec un modèle calculé pour un taux d'expansion de 1.0 cm/an. Une corrélation possible existe entre ces différents profils, observés et théoriques et si l'on suit cette interprétation, un âge voisin de 4.8 M.Y. peut être attribué au substratum constituant l'importante crête visible sur le profil 5 (figure 4) et contre laquelle les sédiments de la série inférieure sont directement déformés. L'épisode tectonique envisagé auparavant pourrait donc être contemporain de cette époque.

#### 4. Conclusions

Nous pensons que les résultats de la sismique réflexion, qui ont montré que le substratum acoustique de la dorsale d'Atka se prolongeait sous le talus sédimentaire au large du Spitzberg, ainsi que les résultats du magnétisme qui montrent la coïncidence d'une anomalie positive avec la vallée d'Atka prouvent que la dorsale d'Atka est une dorsale océanique active dont la vallée d'Atka constitue la zone axiale actuelle.

L'hypothèse de Johnson (1971) proposant l'existence d'un fossé de subduction océanique à ce niveau ne semble donc pas fondée.

La position dissymétrique de cette dorsale qui arrive à proximité du Spitzberg s'explique à la fois par la géométrie de l'ouverture initiale et par les directions obliques de l'expansion. La structure et l'évolution de la marge continentale de l'Ouest du

Spitzberg ont été entièrement conditionnée par cette position particulière de la dorsale.

Le flanc oriental de la dorsale d'Atka a agi comme barrage en retenant les sédiments provenant de l'érosion du Spitzberg qui se sont accumulés alors sous la forme d'un large bassin sédimentaire se réduisant vers le Nord.

Au cours du Pliocène une phase tectonique semble avoir déformé les sédiments an-

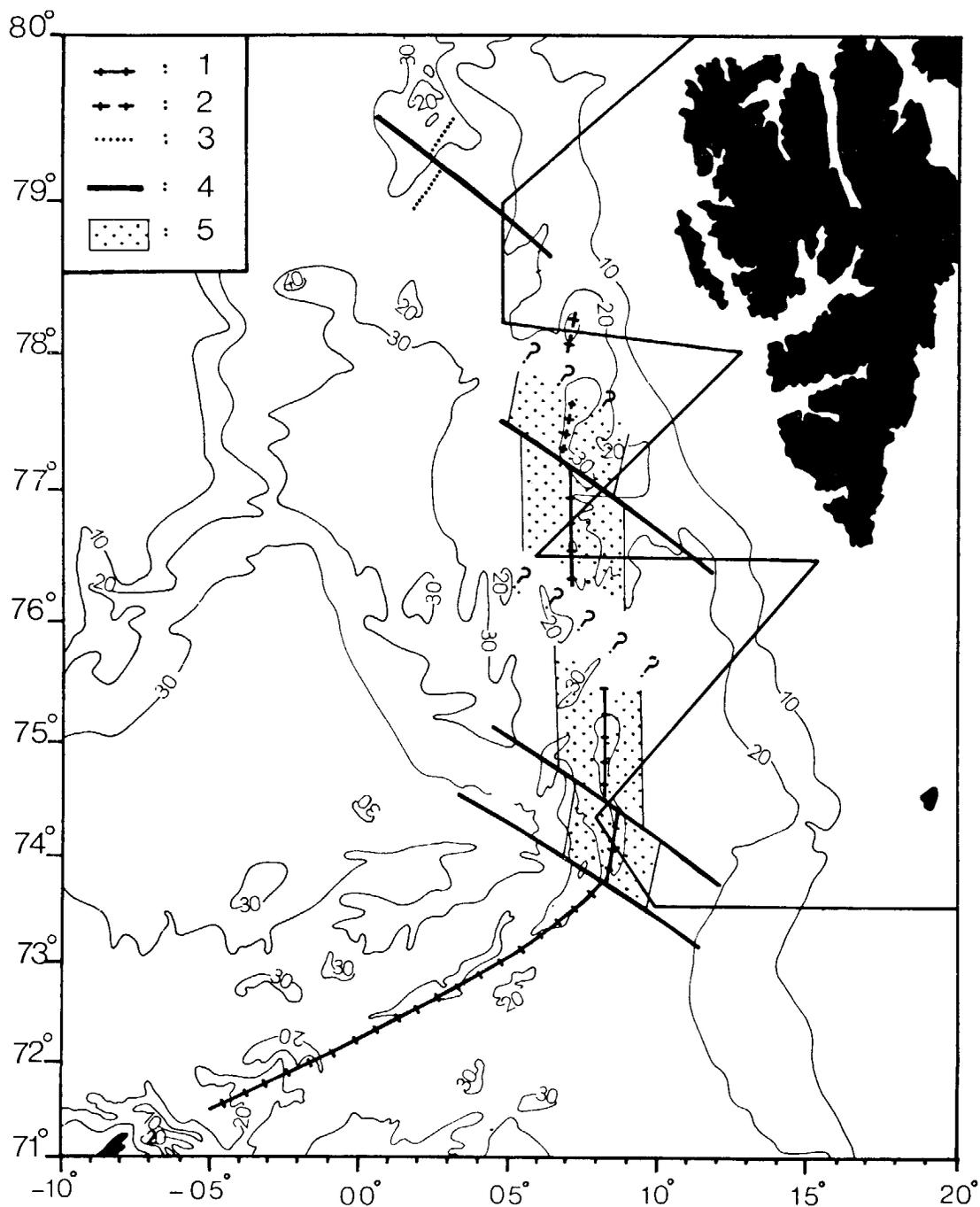


Fig. 8. Schéma interprétatif de la dorsale d'Atka. 1: l'axe de la dorsale d'Atka et du Moine; 2: prolongation probable de l'axe de la dorsale d'Atka; 3: position de la dorsale d'après Vogt *et al.* (1970); 4: zone de fracture possible; 5: croûte océanique créée durant les 5 derniers M.A.

térieurs plus particulièrement au contact de la dorsale, et ainsi permis la migration vers l'est de l'axe de sédimentation des dépôts postérieurs.

Cette phase peut être liée à une modification des phénomènes d'expansion au niveau de la dorsale, ou peut-être à un saut vers l'est de cette dorsale. Cette dernière explication pourrait mieux expliquer la position toujours légèrement dissymétrique de la vallée d'Atka telle qu'elle apparaît sur le schéma théorique de la figure 8.

Tenant compte de ces conclusions, un schéma du tracé de cette dorsale est proposé sur la figure 8 sur laquelle l'expansion provenant des 5 derniers M. A. ainsi que les directions possibles de zone de fractures ont été reportées.

### Rémerciements

Nous remercions l'équipe et le personnel scientifique qui, à bord du N.O. Jean Charcot, ont permis l'acquisition des données au cours de la campagne Nestlante II. J. Bonnin et X. Le Pichon étaient chefs de la mission organisée par le COB/CNEXO. Des discussions avec G. Boillot et X. Le Pichon ont facilité l'élaboration de ce travail. P. Beuzart, G. Pautot et J. C. Sibuet ont lu et critiqué cet article.

### Bibliography

- Avery, O. E., Burton, G. D., et Heirtzler, J. R.: 1968, 'An Aeromagnetic Survey of the Norwegian Sea', *J. Geophys. Res.* **73**, 4583-4600.
- Burov, Y. P.: 1970. B. Harland (ed.), *Peridotite Inclusions and Bombs in the Trachybasalts of Sverre Volcano in Vestspitsbergen, in Geology of Spitzbergen 1965*, Nat. Lending Lib. for Sci. and Techn., pp. 267-279.
- Dietz, R. S. et Shumway, G.: 1961, 'Arctic Basin Geomorphology', *Bull. Geol. Soc. Am.* **72**, 1310-1330.
- Eggvin, J.: 1963, *Bathymetric Chart of the Norwegian Sea and Adjacent Areas*, Fiskeridirektoratets Havforskning Institut, Bergen, Norway.
- Eldholm, O. et Talwani, M.: 1973, 'Structure and Development of the Jan Mayen Ridge' (abstract), *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* **54**, 324.
- Emelyanov, E. M., Litvin, V. M., Levchenko, V. A., et Martynova, G. P.: 1971, 'The Geology of the Barents Sea', in F. M. Delany (ed.), *The Geology of the East Atlantic Continental Margin*, 2. Europe Rep. No. 70/14. Inst. Geol. Scien., pp. 2-15.
- Goldschmidt,.: 1911, 'Petrographische Untersuchung einiger Eruptivgesteine von Nordwest Spitzbergen', *Vid. Selk. Skr. I, Mat. Nat. KI.*, 9.
- Harland, W. B.: 1969, 'Contribution of Spitsbergen to Understanding of Tectonic Evolution of North Atlantic Region', *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.* **12**, 817-852.
- Herron, E. M. et Talwani, M.: 1972, 'Magnetic Anomalies on the Reykjanes Ridge', *Nature* **238**, 390-392.
- Horsfield, W. T. et Maton, P. I.: 1970, 'Transform Faulting Along the De Geer Line', *Nature* **226**, 256-257.
- Johnson, G. L.: 1971, *The Tectonics and Geology of the Norwegian-Greenland Sea*, Thesis, University of Copenhagen,
- Johnson, G. L. et Eckhoff, O. B.: 1966, 'Bathymetry of the North Greenland Sea', *Deep Sea Research* **13**, 1161-1173.
- Johnson, G. L. et Heezen, B. C.: 1967, 'Morphology and Evolution of the Norwegian-Greenland Sea', *Deep Sea Research*, **14**, 755-771.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., et Bonnin, J.: 1973, *Plate Tectonics*, Elsevier. 300 pp.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., et Sibuet, J. C.: 1974, 'Opening of the Norwegian and Arctic Seas and Reconstruction of Continents Before the Opening of the North Atlantic' (sous presse).

STRUCTURES GÉOLOGIQUES DE LA MARGE CONTINENTALE À L'OUEST DU SPITZBERG

- Leroy, J. M.: 1948, 'Hydrographic Surveys in the Coast of North East Greenland', *Am. Geogr. Soc. Sp. Pub.* **30**, 277-297.
- Lowell, J. D.: 1972, 'Spitsbergen Tertiary Orogenic Belt and the Spitsbergen Fracture Zone', *Bull. Geol. Soc. Am.* **83**, 3091-3101.
- Orvin, A. K.: 1940, 'Outline of the Geological History of Spitsbergen', *skr. om Svalbard og Ishavet*, 78.
- Ostenso, N. A. et Wold, R. J.: 1971, 'Aeromagnetic Survey of the Arctic Ocean, Techniques and Interpretations', *Marine Geophys. Res.* **1**, 178-219.
- Phillips, J. D., Fleming, H. S., et Feden, R.: 1973, 'Aeromagnetic Study of the Greenland and Norwegian Seas', *Geol. Soc. Am., abstracts with programs for 1973*, 767-768.
- Pitman, W. C. et Talwani, M.: 1972, Sea floor Spreading in the North Atlantic, *Bull. Geol. Soc. Am.* **83**, 691-646.
- Sykes, L. R.: 1965, 'The Seismicity of the Arctic', *Seism. Soc. Am. Bull.* **55**, 519-536.
- Talwani, M., Windisch C. C., et Langseth, M. G.: 1971, 'Reykjanes Ridge Crest: a Detailed Geophysical Study', *J. Geophys. Res.* **76**, 473-517.
- Talwani, M. et Eldholm, O.: 1972, 'Continental Margin off Norway: A Geophysical Study', *Bull. Geol. Soc. Am.* **83**, 3575-3606.
- Vogt, P. R., Ostenso, 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.