INTERPRÉTATION GÉOLOGIQUE DES IMAGES "SAR"

DONNÉES DE L'OPÉRATION TITANIC



CEDM M280-COC-I

Rapports scientifiques et techniques de l'IFREMER

nº 4 - 1987

INTERPRÉTATION GÉOLOGIQUE DES IMAGES "SAR" système acoustique remorqué données de l'opération TITANIC

Pierre COCHONAT et Gilles OLLIER,

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer





K

Le rapport

INTERPRÉTATION GÉOLOGIQUE DES IMAGES "SAR" (SYSTÈME ACOUSTIQUE REMORQUÉ) DONNÉES DE L'OPÉRATION TITANIC

a été réalisé à L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

par Pierre Cochonat et Gilles Ollier,

Direction de l'environnement et des recherches océaniques Département géosciences marines

> Service de la Documentation et des Publications (SDP) **IFREMER - Centre de Brest** BP 70 29263 PLOUZANÉ

Tél. 98 22 40 13 - Télex 940627 F

ISSN. 0761-3970 © Institut français de recherche par l'exploitation de la mer, 1987 L'exploration des zones profondes de l'océan a vu se développer ces dernières années de nouvelles techniques et de nouveaux outils qui permettent aux géologues et aux géophysiciens une meilleure vision du fond et de sa structure interne : submersible profond le "Nautile", imagerie acoustique, moyens de prélèvements et de mesures *in situ*, imagerie sonar,...

Le développement du SAR, "Système Acoustique Remorqué", a été initialement prévu pour donner une image très haute résolution des fonds marins jusqu'à 6 000 mètres de profondeur, dans le cadre du programme Nodules. Mis en service en 1985, ce sonar latéral, équipé d'un pénétrateur de sédiments, a été utilisé à des fins scientifiques et appliqué dans différents contextes géodynamiques : subduction indonésienne, monts sous-marins de Polynésie, champs de nodules du Pacifique nord équatorial, marge armoricaine, etc.

Le rapport présenté ici est particulièrement intéressant dans la mesure où, pour la première fois, une couverture systématique d'une vaste zone a été réalisée à l'été 1985 pour la recherche de l'épave du "Titanic" et a permis d'établir une "*mosaïque*" sur laquelle l'analyse des structures est possible.

On trouvera donc ici, pour la première fois, une analyse géologique du modelé de grands fonds d'après ces images sonar d'une qualité exceptionnelle.

Les conclusions géologiques en sont très importantes et l'intérêt de cette technique d'exploration apparaîtra à l'évidence comme de premier ordre.

Bernard Biju-Duval

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

Lors de la recherche de l'épave du TITANIC, une zone de 300 km² située sur le talus continental de Terre-Neuve a été explorée à l'aide d'un Système Acoustique Remorqué (SAR). Ce système d'imagerie acoustique est constitué d'un poisson remorqué près du fond, équipé d'un sonar latéral (170-190 kHz) et d'un sondeur de sédiment (3 à 4 kHz). La portée du sonar est de 1000 m et 80 % de la zone étudiée a été couverte par 20 profils jointifs afin de construire une mosaïque d'images. Toutes les données ont été traitées à l'aide du logiciel TRIAS (programme de Traitement d'Images Acoustiques Sous-marines), qui permet de réaliser des corrections géométriques, des rehaussements de contraste, des constructions de mosaïques et des sorties à différentes échelles en vue de produire des documents utilisés pour l'interprétation géologique. L'analyse de ces images haute résolution (sonar et sondeur de sédiment) nous a permis de déterminer deux types de figures sédimentaires. Le premier type est interprété comme le résultat du transit (sillons d'érosion et canyon) et du dépôt (dunes dissymétriques) de sédiments gravitaires. L'origine du canyon et des dunes de gravier semble être à rattacher aux transports à haute énergie des périodes de bas niveau eustatique (Pléistocène), tandis que le couloir, constitué des figures d'érosion, est le résultat du passage de coulées boueuses (Holocène) chargées en matériaux grossiers. La seconde variété de figures sédimentaires (faciès rubanées et faciès à placage sédimentaire) est probablement le résultat de l'action de courant de fond local holocène ou actuel. Ces mécanismes de transit et de dépôt sédimentaire doivent encore être précisés, mais les résultats de la cartographie issue des données sonar latéral permettront de mener à bien, sur des objectifs précis, de futures études comme des prélèvements d'échantillons ou des plongées en submersible.

A 300 km² area of the continental slope of NEWFOUNDLAND at a water depth of about 4 000 m was surveyed using the deep sea acoustic imaging system, "Système Acoustique Remorqué", for the TITANIC wreck research. This system is equipped with a bilateral sidescan sonar (170 and 190 kHz) and a mud penetrator (3 to 4 kHz). The sonar range is 1 000 m, and 80 % of the studied area was covered on the basis of 20 lines, in order to build a mosaic of images. All the data have been processed by TRIAS system (submarine acoustic image processing software) which offers the possibility of geometrical corrections, image enhancement, mosaic mapping, images displays at different scale, in order to produce documents which are used as a basis of the geological interpretation. Analysis of these high resolution images (sonar and mud penetrator) has permitted to determine two kinds of seabed features. The first one is interpreted as the results of sediment gravity flow transit (erosional furrows and canyon) and deposit (asymetrical gravel waves). The origin of the canyon and the gravel waves appears to be related to high energy processes at a low eustatic level (Pleistocene), even though the typical instability corridor with erosional features seems to be dated as an holocene debris flow. The second type of seabed features is probably the result of the action of the local near-bottom undercurrent (sand ribbons and sediment patches) dated as an holocene sandy contourites. These transit and deposit processes still have to be precised, but the high resolution sonar mapping will allow us to carry out further investigations as sampling or submersible diving on accurate targets.

Remerciements

Le Commandant Derouët et l'équipage du navire océanographique "Le Suroit" ont mené à bien les travaux à la mer nécessaires à la réalisation de la mission TITANIC. Le personnel de GENAVIR a assuré, parfois dans des conditions difficiles, le bon fonctionnement du SAR, utilisé pour la première fois de manière intensive. Le chef de mission J.L. Michel nous a autorisé à utiliser les données obtenues pendant la campagne. M. Voisset (Département Géosciences Marines) nous a fourni d'utiles conseils sur les données SAR et nous a apporté son soutien pour l'utilisation des logiciels de traitement d'images SAR (TRIAS et GRINGO). J.M. Augustin et toute l'équipe du Département Informatique (D.L.S.) ont développé ces logiciels et nous ont assisté pour leur mise en œuvre. E. Le Drezen a réalisé le dépouillement des données de navigation avec B. Jegot et J.M. Raillard (Genavir) et a effectué un efficace travail pour le traitement des images. Les auteurs remercient également, pour les discussions constructives que nous avons eu avec eux, D. Piper (Bedford Institute of Oceanography, Nouvelle-Ecosse), G.A. Auffret et B. Savoye, ainsi que le bureau de dessin du Département "Géosciences Marines" qui a participé aux travaux de cartographie et à l'illustration de ce document.

CHAPITRE 1 - MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES

•	 1.1 Le "SAR" 1.2 Positionnement et réalisation de la couverture "SAR" 1.3 Le traitement des données "SAR" 1.4 Les données obtenues 	15 17 19 19
CHAPITRE 2 —	LA ZONE TITANIC	
	 2.1 Situation et bathymétrie 2.2 Contexte géologique . Géologie générale . Sédimentologie et hydrodynamisme . Stratigraphie . Conclusion 	21 21
CHAPITRE 3 —	DESCRIPTION DE LA ZONE COUVERTE PAR LA MOSAIQUE "SAR"	
	 3.1 Utilisation et interprétation de l'image . L'image sonar latéral . L'image sondeur de sédiment 	29
	 3.2 Présentation générale de la mosaïque La zone sud Le canyon La zone nord 	33
-	 3.3 Description des différents objets géologiques 3.4 Les dunes Les faciès rubanés Les faciès à placages sédimentaires Les mégarides Les arrachements superficiels 	35
	. Le canyon . La zone chaotique . Les figures d'érosion et les stries superficielles	
CHAPITRE 4 - 1	INTERPRÉTATION	
2	 4.1 Direction de courant et d'apport sédimentaire 4.2 Origine des différents objets géologiques Courant de densité et glissement en masse le long de la pente continentale des Grands Bancs de Terre-Neuve. Action des courants de contour 	53 55
4	4.3 Chronologie	58
		61
BIBLIOGRAPHIE		63

Figure 1	-	Situation de la zone TITANIC	10
Figure 2	-	Bathymétrie régionale de la zone TITANIC	13
Figure 3	-	Système acoustique remorqué (SAR), équipement de fond	14
Figure 4	-	Plan de navigation SAR	16
Figure 5	-	Schéma synoptique du traitement des données SAR	18
Figure 6	-	Carte bathymétrique de la zone	20
Figure 7	-	DSDP site 384	22
Figure 8	-	Circulation du Western Boundary Undercurrent (W.B.U.)	24
Figure 9	-	Mesures du W.B.U. dans le cadre du programme HEBBLE au sud-est de la Nouvelle-Écosse.	25
Figure 10	-	Situation des carottages superficiels à proximité de la zone TITANIC	26
Figure 11	-	Carte synthétique des faciès sonar de la zone TITANIC	30
Figure 12	-	Mosaïque de la zone étudiée	31
Figure 13	-	Dunes (sonar et sondeur).	34
Figure 14	-	Champs de mégarides (sonar)	36
Figure 15	-	Mégarides dans l'axe d'une dépression (sonar, sondeur, bathymétrie)	38
Figure 16	-	Faciès rubané (sonar, sondeur, bathymétrie).	40
Figure 17	-	Faciès rubané (sonar)	41
Figure 18	-	Faciès à placages sédimentaires (sonar)	42
Figure 19	-	Arrachements superficiels (sonar et sondeur)	43
Figure 20	-	Canyon avec glissements des flancs (sonar, sondeur, bathymétrie)	45
Figure 21	-	Canyon avec ravinements latéraux (sonar, sondeur)	46
Figure 22	-	Montage d'une mosaïque partielle sur le canyon.	47
Figure 23	-	Évolution morphologique du canyon du nord-est au sud-ouest (sondeur).	48
Figure 24	-	Passage de la zone sédimentaire à la zone chaotique (sonar, sondeur, bathymétrie).	49
Figure 25	-	Sillons d'érosion (sonar et sondeur)	51
Figure 26	-	Stries au contact des mégarides (sonar)	52
Figure 27	-	Direction des courants dans la zone TITANIC	53



Figure 1 - Situation de la zone TITANIC Location of TITANIC zone.

INTRODUCTION

Cette opération avait pour but essentiel de rechercher l'épave du "TITANIC" dans un périmètre de 400 km² défini à partir de l'étude historique du naufrage. La zone de recherche se trouve dans l'Atlantique nord-est (Fig. 1 et 2), au sud-est des bancs de Terre-Neuve, au pied du Grand Banc.

Une reconnaissance par sonar latéral a été effectuée en juillet-août 1985 à bord du navire océanographique "Le Suroît", en utilisant un système acoustique remorqué, le SAR de l'IFREMER.

L'épave fut finalement découverte en septembre 1985, lors d'une autre campagne avec le N/O américain "KNORR". Ces deux missions ont été réalisées par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) et la WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTI-TUTION, au cours de l'opération "ÉTOILE BLANCHE" (White Star).

Lors de la mission TITANIC, 360 km de profils SAR ont été levés en 150 heures d'acquisition sur le fond durant 23 jours de travail sur zone. Ces données ont permis la construction d'une mosaïque d'images sonar qui couvre environ 300 km² de glacis continental. Une couverture sonar, aussi complète, de cette dimension, avec une telle résolution, par des fonds de presque 4000 m, est rarissime.

Comme la mosaïque TITANIC se situe sur le bas de pente du talus continental de Terre-Neuve, une exploitation à des fins scientifiques des données SAR de la mission a été réalisée dans le cadre du programme "stabilité des pentes" du département "Géosciences marines" de l'IFREMER. L'intérêt majeur de la mosaïque TITANIC réside dans le fait qu'elle montre de nombreuses figures de transport et d'érosion des sédiments dans un environnement moderne de pente continentale.

Après une description sommaire des moyens utilisés pour l'acquisition et le traitement des données, et une présentation des résultats détaillés de l'étude bibliographique de la zone, le rapport propose une description des différentes figures sédimentaires visibles sur la mosaïque et tente d'identifier, pour chacune d'elles, le processus d'érosion, de transport ou de dépôt qui a été à l'origine, en les resituant dans leur contexte géologique régional.



Figure 2 - Bathymétrie régionale de la zone TITANIC (d'après la carte GEBCO). Regional bathymetry of the TITANIC area (after GEBCO map).



Figure 3 - Système acoustique remorqué (SAR), équipement de fond. Deep towed SAR system.

CHAPITRE 1

MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNÉES

1.1 Le SAR (Système Acoustique Remorqué)

Le SAR est un poisson instrumenté et remorqué près du fond. Il s'agit d'un ensemble d'imagerie acoustique sous-marine de grand fond, constitué d'un dépresseur passif de 2 t, d'un poisson instrumenté (5 m de longueur, 1 m de diamètre, 2,4 t de poids) et d'un câble électroporteur coaxial de 8500 m de long (Fig. 3).

Le développement technologique du SAR a été mené par l'IFREMER en collaboration avec THOMSON CSF et ECA (A. Farcy et M. Voisset, 1985).

Le SAR peut fonctionner par 6 000 m de fond. Le poisson est équipé d'un sonar à balayage (170 et 190 kHz) et d'un sondeur de sédiment (3 à 4 kHz). Les autres capteurs sont un transpondeur de base longue OCEANO INSTRUMENTS, un capteur d'immersion, un cap magnétique et un loch électro-magnétique.

Les images sonar couvrent un couloir de deux fois 500 m de large avec une résolution moyenne d'ordre métrique. La vitesse moyenne d'évolution près du fond est d'environ 1 m/s à 70 m d'altitude.

Toutes les informations acquises dans le poisson sont transmises en temps réel par le cable coaxial et enregistrées sur bandes magnétiques afin d'être traitées ultérieurement. Elles sont également toutes visualisées en temps réel à bord sur deux imprimantes électrostatiques. Des restitutions des images sonar et du sondeur de sédiment peuvent être réalisées à différentes échelles.

Cette mission constitue la première utilisation opérationnelle et intensive du SAR. A l'issue de la mission, des modifications ont été apportées pour obtenir une meilleure fiabilité de l'acquisition et pouvoir travailler avec une portée élargie à 750 m.

Un magnétomètre grand fond, construit par le Laboratoire d'électronique et de technologie informatique (LETI) du Centre d'études nucléaires de Grenoble (CENG), a été remorqué derrière le SAR pendant toute la reconnaissance ; les données magnétiques ne sont pas traitées dans cette étude.



Figure 4 - Plan de navigation SAR. Location map of the SAR profiles.

1.2. Positionnement et réalisation de la couverture SAR

La mosaïque TITANIC (300 km^2) est constituée par vingt profils d'environ 20 km de longueur avec un recouvrement moyen de 15% entre deux profils. Pendant la mission, le SAR a été tracté à la vitesse moyenne de 0,67 m/s face à un fort courant de surface.

Le positionnement du SAR en temps réel a été réalisé grâce à la mise en œuvre d'un système de navigation acoustique à base longue. Dix balises acoustiques ont été mises en place et déplacées de façon à former alternativement quatre couloirs de 4 km de large et 20 km de long. Les données acquises par ce système se sont révélées insuffisantes pour obtenir une navigation précise. Cette dernière est indispensable pour le traitement ultérieur des images sonar, qui doivent être corrigées par la vitesse réelle du poisson.

Le fichier des données de navigation acoustique, nettement amélioré au rejeu, a été en partie complété à partir des données acquises sur le navire par le système LORAN C et de la position approximative de l'engin (distance oblique bateau-poisson connue).

Les images sonar, grâce au recouvrement de profils adjacents, ont parfois aidé la construction "manuelle" de ce fichier de données de navigation (Fig. 4).



Figure 5 - Schéma synoptique du traitement des données SAR

1.3 Le traitement des données SAR

Les données acquises avec le SAR sont traitées grâce au logiciel interactif TRIAS : Traitement des Images Acoustiques Sous-marines (J.M. Augustin, 1986). Ce logiciel permet d'effectuer les traitements suivants :

- le transfert avec décodage et démultiplexage sur disque VAX des données numériques acquises en temps réel sur bandes magnétiques 1600 bpi,
- les différentes corrections géométriques qui permettent de reporter les images sur un repère cartographique : correction d'altitude, correction de vitesse à partir de la navigation,
- le rehaussement de contraste : linéarisation de l'histogramme des valeurs des pixels,
- la suppression des défauts qui émanent des capteurs,
- la composition automatique de mosaïque,
- la sélection et l'édition à différentes échelles de sous-images.

Le logiciel GRINGO (Graphiques et Images Numériques Gérées par Ordinateur) permet d'effectuer des traitements d'images complémentaires et propose différentes possibilités d'édition.

Un schéma synoptique résume les différentes opérations réalisées pour le traitement des données (Fig. 5).

1.4 Les données obtenues

Les données obtenues sont les suivantes :

- les images sonar latéral,
- les images sondeur pénétrateur,
- les profils bathymétriques.

Les images sont éditées sur une imprimante laser avec une résolution de 10 pixels par mm et une gamme de 256 niveaux de gris. Les images sont construites selon un repère orthonormé.

Pour les images du sondeur de sédiment, une exagération de 6 à 10 est nécessaire pour mieux visualiser certains détails de la topographie et les différents réflecteurs. Les données brutes correspondent à 700 échantillons acquis pendant une durée de 200 millisecondes. La conversion temps-profondeur est effectuée en prenant une vitesse moyenne des ondes dans le sédiment de 1500 m/sec. Sachant que le poisson navigue à une altitude de 70 m, cela représente une pénétration théorique dans le sédiment d'environ 80 m.

Les profils bathymétriques sont obtenus par addition des valeurs de l'immersion et de l'altitude du poisson. L'immersion est mesurée par un capteur à pression hydrostatique et l'altitude est calculée à partir du temps aller-retour le plus faible sur les voies sonar. Ces données permettent donc de tracer des profils bathymétriques très précis et représentent une aide précieuse pour l'interprétation des images sonar latéral. Elles permettent également de constituer une carte bathymétrique ou de l'améliorer.



Figure 6 - Carte bathymétrique réalisée à partir des données SAR Bathymetric map (from SAR data)

CHAPITRE 2

LA ZONE TITANIC

2.1 Situation et bathymétrie

La zone étudiée est située au bas de la marge continentale du Grand Banc de Terre-Neuve par 3800 m de fond, à proximité de la plaine abyssale de SOHM, à l'ouest de la ride de Terre-Neuve. Dans la bathymétrie régionale, ce secteur d'étude correspond au fond d'une vallée sous-marine d'orientation N 220 qui entaille le glacis continental du Grand Banc (Fig. 2). La bathymétrie locale de la zone couverte par le SAR est connue grâce à la carte de Ryan (1982), qui a été établie à l'issue des missions précédentes de recherche de l'épave du "TITANIC". Une nouvelle carte bathymétrique de la zone a été réalisée à partir des levés SAR en utilisant les valeurs d'immersion et d'altitude du poisson (Fig. 6). Cette carte met en évidence, comme la carte de Ryan, un canyon qui occupe l'axe de la vallée sous-marine décrite précédemment. Au sud du canyon, la bathymétrie montre une pente faible (1 %) et régulière, orientée vers l'ouest.

La partie de la mosaïque située au nord-ouest du canyon correspond à une topographie beaucoup plus tourmentée. En particulier, cette zone présente un certain nombre d'ondulations et d'escarpements qui semblent traduire un secteur privilégié pour l'action de l'érosion sous-marine et le transit des sédiments. Dans la partie sud-ouest, la profondeur maximum sur la zone étudiée est atteinte, soit environ 4000 m à proximité de la plaine abyssale.

2.2 Contexte géologique

Géologie générale de la zone

Deux éléments morphologiaues bien marqués prolongent vers la plaine abyssale le glacis continental du Grand Banc, où a été levée la mosaïque TITANIC. Ces deux éléments morphologiques sont deux rides bathymétriques connues sous le nom de ride de Terre-Neuve et de ride bathymétrique de l'anomalie J. C'est à l'intersection du flanc sud-ouest de la ride de Terre-Neuve et du flanc nord-ouest de la ride de l'anomalie J que se situe la mosaïque TITANIC (Fig. 2). La ride de Terre-Neuve et la ride de l'anomalie J correspondraient à des structures liées à l'ouverture de l'Atlantique nord (B.E. Tucholke et W.J. Ludwig, 1982; J.L Olivet et al., 1984). Ces deux axes structuraux servent de support à deux rides sédimentaires qui ont été façonnées par les courants de contour (L. Pastouret et al., 1975; rapport du DSDP site 384, 1975 ; J.L. Olivet et al., 1984). Le forage DSDP site 384, implanté sur la ride de l'anomalie, J nous renseigne sur la nature des formations géologiques de la région (Fig. 7). Environ 325 m de sédiments carbonatés, allant de l'Actuel à l'Aptien supérieur, ont été traversés. Malheureusement, les cinquante premiers mètres, représentant la sédimentation récente, n'ont pas été récupérés (DSDP site 384, 1975). La série sédimentaire repose sur un substratum igné et correspond à des carbonates de plate-forme qui auraient "subsidé" jusqu'à atteindre leur position actuelle (DSDP site 384, 1975).



Figure 7 - Deep sea drilling project (DSDP) - Site 384

Sédimentologie et hydrodynamisme

Deux agents hydrodynamiques majeurs influencent, depuis le Pléistocène, la sédimentation sur la pente continentale des bancs de Terre-Neuve. Il s'agit du "Western Boundary Undercurrent" (WBU) et des courants de turbidité provenant du plateau continental.

• Le Western Boundary Undercurrent (WBU)

Les masses d'eau véhiculées par ce courant proviennent des mers de Norvège et du Labrador (M.J. Richardson, 1981; R.A. Clarke, 1980). Elles sont déviées par la force de Coriolis vers la marge continentale nord-américaine le long de laquelle elles constituent un courant de contour occidental (R.H. Benson *et al.*, 1983).

Le WBU s'écoule vers le sud en suivant la partie inférieure de la pente continentale à une profondeur d'environ 3000 m (H.B. Zimmerman, 1972; L. Carter *et al.*, 1983). Le WBU a une direction parallèle à la marge nord-américaine, c'est ainsi qu'il est N 144-151 au large du Labrador (L. Carter *et al.*, 1985) et N 240 au large de la Nouvelle-Ecosse (H.B. Zimmerman, 1972). Il effectue une rotation autour du Grand Banc de Terre-Neuve (N.P. Fofonoff *et al.* 1985) ; dans le secteur de la mosaïque TITANIC et, plus généralement sur le flanc sud-ouest de la ride de Terre-Neuve, il prend (vraisemblablement) une direction N 290 (Ouest-Nord-Ouest) comme l'indique les mesures de N.P. Fofonoff *et al.*, (1985) ainsi que D. Schnitker, 1979 et D.A.V. Stow et J.P.B. Lovel, 1979 (Fig. 8).

Toutes les mesures effectuées sur le WBU indiquent une direction générale d'écoulement vers le sud. Cependant, la plupart des auteurs indiquent des renversements brefs du flux vers le nord pendant 1 journée ou 1/2 journée tous les 7 à 8 jours (L. Carter et T. Shaffer, 1983). La vitesse moyenne du WBU mesurée par différents auteurs est de l'ordre de 10 cm/sec. avec des maxima à 30 cm/sec. Il semble que ce courant puisse atteindre des vitesses assez importantes ; M.J. Richardson *et al.*, 1981, signalent des vitesses de 35 cm/sec. en moyenne avec, au large de la Nouvelle-Ecosse, des maxima mesurés de 73 cm/sec : programme HEBBLE (Fig. 9).

Ces variations locales de la vitesse du WBU peuvent s'expliquer par l'influence de la topographie du fond. H.B. Zimmerman, en 1972, cite l'exemple d'une accélération de ce courant en lien avec la topographie entraînant l'apparition de zone de non dépôt des sédiments sur la ride de la Nouvelle-Angleterre. La vitesse du WBU a également probablement varié au cours du temps pendant les périodes géologiques récentes, avec l'augmentation ou la diminution du niveau marin. La théorie qui prévaut généralement à ce sujet tend à indiquer que les courants de contour connaîtraient une baisse d'activité lors des époques de bas niveau eustatique (D.A.V. Stow et J.P.B. Lovel, 1979).



Figure 8 - Circulation du "Western Boundary Undercurrent" Circulation of the Western Boundary Undercurrent (after D.A.V. Stow and J.P.B. Lowell, 1979).

-		Longitude (W)	Water depth (m)	Duration (days)	Mean speed (cm/sec)	Maximum speed (cm/sec)	Mean velocity	
Stá- Latiti tion (N	Latitude (N)						Magnitude (cm/sec)	Direction (degrees, true)
F*	40°56.6	63°44.9	4158	.14.21	8.0	28.5	6.3	267
E*	40°37.1	63°23.4	4487	8.96	8.6	17.5	3.6	190
D*	40°15.5	63°00.0	4770	16.09	11.7	31.0	6.5	44
D	40°15.5	63°00.0	4770	230.41	12.2	39.2	6.9	254
С	39°47.5	62°47.4	4950	214.55	13.9	40.6	8.2	249
B*	39°33.0	62°27.6	5022	15.25	32.1	73.5	27.9	253
A*	39°09.8	61°37.7	5076	10.83	23.1	42.5	14.5	12



Figure 9 -Mesure de la vitesse et de la direction du WBU au large de la Nouvelle-Écosse.

Speed and direction of the WBU off Nova Scotia (HEBBLE programm after M.J. Richardson and al., 1981).



Figure 10 - Situation des carottages superficiels à proximité de la zone TITANIC. Location of superficial cores near the TITANIC area (after M. Allam and D.J.W. Piper, 1981 ; L. Pastouret and al., 1981)

• Les courants de turbidité

La présence, depuis le Pléistocène, de courants de densité dévalant la pente continentale de la marge nord-américaine, est attestée depuis longtemps par de nombreux auteurs (B.C. Heezen et al., 1954; D.J.W. Piper et al., 1984). L'activité majeure des courants de turbidité s'est située pendant les périodes de bas niveau eustatique, en particulier lors des périodes glaciaires (D.A.V. Stow et J.P.B. Lovel, 1979; H. Zimmerman, 1972; L. Pastouret, 1974). Ces courants de turbidité empruntent des canyons qui entaillent le talus jusque dans sa partie la plus profonde. La pente continentale du Grand Banc a donc sans doute été principalement modelée par les écoulements gravitaires des périodes glaciaires et nombre de structures actuelles de cette zone doivent être héritées de cette époque (D.J.W. Piper, 1983). Actuellement, avec un haut niveau marin, cette activité s'est ralentie, mais le courant de turbidité de 1929, qui s'est formé sur le talus du Grand Banc de Terre-Neuve à la suite d'un tremblement de terre, prouve qu'elle n'est pas complètement arrêtée (D.J.W. Piper, 1984). Le courant de turbidité de 1929 s'est propagé dans l'axe du chenal du Saint-Laurent à une vitesse qui a été estimée par B.C. Heezen et M. Ewing, en 1952, à 65 km/h dans sa phase initiale. Le matériel, qui a été transporté par le courant, s'est déposé sur le cône profond du Saint-Laurent jusqu'à une profondeur de 4 500 m (D.J.W. Piper, 1984). En 1984, D.J.W. Piper a proposé une cartographie des sédiments de l'éventail profond du Saint-Laurent et il apparaît que la zone TITANIC se situe approximativement à 150 km à l'est de la bordure orientale du lobe de dépôts sableux ("sandy depositional lobe") de cet éventail. Il est donc évident que la mosaïque TITANIC, sans être dans l'axe de l'éventail profond du Saint-Laurent, se situe quand même dans un contexte très favorable à la production d'évènements turbiditiques, qu'ils soient actuels ou plus vraisemblablement passés.

Stratigraphie

Il n'existe pas de carottage des formations superficielles dans le périmètre même de la mosaïque TITANIC. Cependant, une approche stratigraphique et sédimentologique de ces formations est possible grâce à une série de carottages d'une dizaine de mètres implantés comme la mosaïque TITANIC sur le flanc sud-ouest de la ride de Terre-Neuve. Ces carottes, présentées par M. Allan et D.J.W. Piper, en 1981, se situent dans un contexte bathymétrique et sédimentologique proche de celui de la zone étudiée (Fig. 10). La lithologie dominante des formations récentes (Holocène à Pléistocène supérieur) du secteur correspond à une alternance de bancs silteux et de bancs sableux. Les bancs sableux ont généralement une épaisseur de 5 à 15 cm, mais ils peuvent parfois atteindre une épaisseur plus importante : une carotte présente, par exemple, 3 m de sable à la base. Au-dessus de cette alternance de bancs silteux et de boues carbonatées avec un pourcentage égal de sable, de silt, et d'argile. Les faciès sableux et silteux ont été déposés pendant les époques de bas niveau marin des périodes glaciaires du Pléistocène, à l'occasion d'événements turbiditiques.

La superposition de dépôts fins d'origine pélagique sur une alternance plus détritique de sédiments pléistocènes supérieurs a été également décrite par L. Pastouret *et al.*, en 1974 sur une carotte (K9), prélevée cette fois-ci au nord de la ride de Terre-Neuve (Fig. 10) à 4 100 m de profondeur. Comme M. Alam et D.J.W. Piper, L. Pastouret attribue à des courants de turbidité les passées sableuses et siliceuses du Pléistocène supérieur ; il mentionne également le délestage de matériel détritique à partir de glace flottante comme origine possible de niveaux terrigènes au passage Pléistocène-Holocène.

Enfin, les études stratigraphiques effectuées sur cette carotte K9 ont permis à L. Pastouret et al. de proposer un taux de sédimentation, dans la région, de 17,7 cm/1 000 ans pour l'Holocène.

Conclusion

Le cadre morphologique et sédimentologique de la zone résulte de l'influence directe des alternances glaciaires-interglaciaires. Ces alternances de périodes glaciaires et interglaciaires font varier au cours du temps le caractère de la sédimentation régionale en modifiant les trois facteurs suivants :

- les courants de turbidité,
- les courants de contour,
- la sédimentation pélagique.

Lors des périodes glaciaires à bas niveau eustatique, l'influence des courants de turbidité provenant du continent est dominante et oblitère la sédimentation pélagique, ainsi que le rôle des courants de contour. Ces courants de turbidité empruntent des canyons qui entaillent le talus profondément jusque dans sa partie la plus profonde, l'érosion glaciaire étant très active ; le matériel qu'ils transportent est abondant et grossier. La pente continentale du Grand Banc a sans doute été profondément modelée par les écoulements gravitaires des périodes glaciaires et nombre de structures actuelles de cette zone doivent être héritées de ces périodes. La sédimentation inter-glaciaire voit, quant à elle, diminuer l'influence des courants de turbidité au profit de l'influence des courants de fond et de la sédimentation pélagique. L'essentiel de l'apport sédimentaire est alors pélagique et les dépôts sont donc pour la plupart moins abondants et moins grossiers (cas de l'Actuel). Néanmoins, les écoulements gravitaires ne semblent pas complètement absents lors de la période récente, comme le prouve le séisme de 1929 ; mais leur fréquence est moindre et leurs dépôts sont de granulométrie plus fine.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DE LA ZONE COUVERTE PAR LA MOSAIQUE

3.1 Utilisation et interprétation des images

L'image sonar latéral

L'image d'un sonar latéral correspond à la transcription des signaux acoustiques de haute fréquence réfléchis par le fond. Le balayage latéral permet de positionner les échantillons en fonction du temps aller-retour du signal. La morphologie et la nature des fonds induisent une rétrodiffusion plus ou moins élevée. Ce coefficient de rétrodiffusion est en fait la seule information quantitative traduite en niveau d'énergie pour chaque pixel, suivant une échelle de gris de 0 à 255 (codage sur huit bits). Les bas niveaux apparaissent en blanc ; les zones d'ombre sont donc visualisées en blanc, alors que les surfaces à forte rétrodiffusion apparaissent en gris, voire en noir.

Qualitativement, la rétrodiffusion varie avec les propriétés intrinsèques du sédiment (granulométrie, densité, porosité,...) mais elle est également dépendante de l'orientation de la facette réverbérante, c'est-à-dire de la morphologie fine des fonds. En l'absence de "vérité-terrain", comme c'est le cas pour les données de la mission TITANIC, l'interprétation est donc réalisée par analogie. La qualité des images obtenues grâce au SAR et la connaissance de contextes géomorphologiques comparables, notamment l'étude du cône du Saint-Laurent par D.J.W. Piper du Bedford Institute of Oceanography nous ont permis de proposer une interprétation géologique et sédimentologique complète qui souffre néanmoins d'un manque d'étalonnage.

L'image sondeur de sédiment

Les coupes obtenues à l'aide du sondeur de sédiment du SAR lors de la mission TITANIC n'ont apporté que peu de renseignements sur la géologie des formations superficielles de la zone. Ce résultat est vraisemblablement dû à la présence de niveaux grossiers, voire même consolidés qui ne peuvent pas être traversés par le signal trop haute fréquence (3.5 kHz), du sondeur de sédiment du SAR. Cette absence de pénétration s'est traduite, sauf cas exceptionnel, par des coupes sans réflecteurs internes nettement identifiables et dont seul l'aspect topographique a pu être utilisé. Cet aspect topographique a malgré tout été d'un grand intérêt pour préciser la morphologie des objets géologiques présents sur la mosaïque : par exemple le canyon (Fig. 21).



Figure 11 - Carte synthétique des faciès sonar de la zone TITANIC Synthetic map of the sonar facies TITANIC area.



Figure 12 - Mosaïque SAR de la zone étudiée SAR mosaic of the studied area

သ



3.2 Présentation générale de la mosaïque

Sur la mosaïque TITANIC, l'élément morphologique qui apparaît de la façon la plus évidente est un canyon déjà identifié sur les levés SEAMARC (W.B.F. Ryan, 1983). Ce canyon, orienté suivant une direction N 220, traverse de part en part la mosaïque qu'il divise en deux parties. Ces deux parties coincident pratiquement à deux zones morphogénétiques différentes qui s'étendent respectivement au nord et au sud du canyon (Fig. 11 et 12).

La zone sud

Cette zone correspond à une topographie calme et présente une certaine monotonie du point de vue des faciès sonar. Cette monotonie est toutefois interrompue par plusieurs figures sédimentaires.

- les dunes
- les mégarides
- les faciès rubanés
- les faciès à placages sédimentaires
- les arrachements superficiels

Le canyon

Le canyon à fond relativement plat possède des flancs souvent entaillés par un ravinement intense et présente des versants instables avec glissements en masse dont la base paraît recouverte par des dépôts plus récents (Fig. 20).

La zone nord

Les images sonar latéral de cette zone à topographie plus tourmentée que la zone sud montrent principalement une bande large de 6 à 8 km affectée par diverses structures linéaires superficielles traversant toute la mosaïque et orientées en moyenne N 200. Vers le Sud, ces structures linéaires recoupent de nombreuses lignes d'érosion régressive ainsi que des niches d'arrachement ; c'est pourquoi le terme de "zone chaotique" sera utilisé ultérieurement pour décrire cette partie de la mosaïque.

A l'extrémité nord-ouest de la mosaïque, la topographie semble redevenir semblable à celle de la zone sédimentaire calme du sud.





A - Sonar image B - Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10).

3.3 Description des différents objets géologiques

Les dunes

Les dunes * sont présentes dans la partie centrale de la zone sud et occupent des plages de 1 km de large et de 3 km de long dans un environnement sédimentaire calme. La forte rétrodiffusion acoustique de leur crête permet de penser que ces corps sont composés de matériaux grossiers.

Les images sonar de ces dunes sont particulièrement riches en informations (Fig. 13). Leur longueur d'onde de crête à crête est en moyenne de 60 m et les mesures sur l'ombre portée permettent de déterminer une hauteur moyenne de 3 m, ce que l'on peut vérifier sur la coupe sondeur de sédiment et sur le profil bathymétrique (Fig. 13). Les crêtes des dunes sont orientées en moyenne N 115 et elles sont grossièrement perpendiculaires aux courbes de niveau sur la rive gauche du canyon. Elles sont caractérisées par une structure dissymétrique avec un flanc court en forte pente, très rétrodiffusant à regard sud-ouest, et un flanc long à pente faible peu rétrodiffusant.

Ces dunes apparaissent très comparables aux "gravel waves" observées par D.J.W. Piper dans le cône du Saint-Laurent sur des images sonar Searmac. Dans cette zone, des prélèvements ainsi que des observations au moyen d'un submersible, ont permis de confirmer la nature graveleuse de ces corps sédimentaires, caractéristiques de la région (Piper, comm. pers.).

^{*} Nous avons choisi d'utiliser le terme descriptif de "dunes" pour les différencier des mégarides, sans précision complémentaire sur l'origine de ces corps sédimentaires qui reste incertaine en l'absence de toute "vérité-terrain".



0



40⁰m

Figure 14 - Champ de mégarides - Image sonar - Échelle 1/8000 Megaripples field - Sonar image - Scale 1/8000 S_E

Les mégarides

Des rides d'une hauteur moyenne de 1 à 2 m, avec une longueur d'onde de 10 à 20 m, apparaissent fréquemment sur les deux rives du canyon, avec apparemment la même dissymétrie que celle observée sur les dunes précédentes.

Pour des raisons purement descriptives, nous les avons regroupées sous le terme de "mégarides", bien qu'elles semblent morphologiquement et génétiquement très proches de ces dunes. Cependant, leur faible taille ne permet pas d'en faire une description très détaillée.

On les observe, surtout en rive droite du canyon, en plages pouvant aller jusqu'à 500 m de largeur. Ces plages ont tendance à s'étirer suivant une direction N 220 qui semble être la direction des courants responsables de la mise en place des des mégarides (Fig. 14).

Sur la rive gauche, ces mêmes mégarides prennent place systématiquement sur des points topographiquement bas (Fig. 15). Elles pourraient donc correspondre à des dépôts liés à une chenalisation. Leur nature et leur relation véritable avec les dunes très voisines restent difficiles à appréhender à la seule vue d'images sonar.



Figure 15 - Mégarides dans l'axe d'une dépression - Échelle 1/20000 A - Image sonar

B - Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)

C - Profil bathymétrique

Megaripples in a small valley axis - Scale 1/20000 A - Sonar image

B - Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)

C - Bathymetric profile

Les faciès rubanés

Dans la partie sud, des alignements très spectaculaires de 10 à 100 m de largeur et de plusieurs kilomètres de longueur, présentant un faible coefficient de rétrodiffusion, apparaissent suivant une direction régulière N 354. Les images sondeur et la topographie fine (Fig. 16) ne montrent aucun relief dans cette zone. Il s'agirait de rubans sédimentaires de granulométrie plus fine que l'environnement. Leur fraîcheur apparente témoignerait d'une mise en place récente.

En l'absence de toute vérification sur le terrain, on ne peut leur attribuer une constitution particulière. Mais, ces faciès semblent cependant très comparables aux rubans sableux ("sand ribbons") observés et décrits par Piper (1984). Ces rubans sableux seraient très superficiels (quelques cm), ils ont été observés lors de plongées par submersible en position de recouvrement des "gravels waves" dans la partie basse du cône du Saint-Laurent (Piper, *comm. pers.*).

Le détail des images (Fig. 17) nous permet d'identifier des formes du type "flute casts", ou "queue de comète", qui ne peuvent avoir été mises en place que par un courant de direction N 354. Cette direction est grossièrement parallèle aux courbes de niveau dans ce secteur.

Les faciès à placages sédimentaires

Il s'agit de taches de sédiments ("sediment patches") au faciès acoustique très proche de celui des rubans décrits précédemment. Ces taches apparaissent en plaques d'environ 100 m de diamètre (Fig. 18). La position et le début d'allongement de ces corps sédimentaires superficiels suggèrent un passage progressif vers les rubans sédimentaires du sud.

Les arrachements superficiels

La figure 19 montre l'image d'une falaise d'environ 10 m de hauteur maximum, très localisée, s'étendant sur environ 1 km de longueur au coeur d'une zone sédimentaire apparemment homogène et plate. Elle est interprétée comme un arrachement superficiel, dû probablement à l'érosion régressive et ne semble pas liée à un glissement de terrain en masse.





- A Image sonar
- B Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)
 C Profil bathymétrique

Striped facies - Scale 1/20000

A - Sonar image

- B Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)
- C Bathymetric profile



Figure 17 - Faciès rubané - Image sonar - Échelle 1/5000 Striped facies - Sonar image - Scale 1/5000







Figure 19 - Arrachements superficiels - Échelle 1/10000 A - Image sonar B - Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)

Superficial scarps - Scarpe 1/10000

A - Sonar image

B - Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)

Le canyon

Le tronçon de canyon qui traverse la mosaïque TITANIC a une longueur d'environ 9 km, la largeur de ce canyon varie sur ce tronçon de 300 m à 1 km avec la partie la plus étroite en amont et la partie la plus large en aval (Fig. 23). La profondeur du canyon est en moyenne d'une cinquantaine de mètres et il n'apparaît pas d'augmentation notable de cette profondeur d'amont en aval de la portion considérée (Fig. 23). Le trajet du canyon sur la mosaïque TITANIC est plutôt rectiligne, sauf vers l'aval où il est très légèrement méandriforme. Il subit un léger détournement vers l'ouest qui pourrait être lié à une accumulation sédimentaire sur son flanc sud-est. Cette accumulation sédimentaire constitue ici la partie rive gauche de la zone chaotique qu'il recoupe nettement. La mise en place du canyon, sous sa forme actuelle, apparaît donc comme postérieure à celle de la zone chaotique.

Le fond du canyon est très plat et toutes les coupes qui traversent ce canyon révèlent systématiquement une forme en U (Fig. 20, 23). Cette forme en U du canyon semble être liée à un remplissage sédimentaire visible sur certaines coupes au sondeur de sédiment (Fig. 20).

Une forme en V très évasée, ou une légère dépression affecte parfois le fond plat du canyon, traduisant une érosion récente, voire actuelle (Fig. 21). Les flancs du canyon sont le siège de glissements très nettement visibles, à la fois sur l'image sonar latéral et sur les coupes sondeur de sédiment (Fig. 20). L'examen des images sonar latéral montre que ces zones de glissement peuvent avoir une extension de plusieurs centaines de mètres le long du canyon (Fig. 20). La bordure du canyon est également affectée en certains endroits par des ravinements qui convergent vers l'axe de la vallée (Fig. 21). La présence de ces ravinements et de glissements des flancs du canyon sont très caractéristiques d'une instabilité des sédiments dans la zone. Enfin, l'examen des images sonar montre que le cours du canyon est affecté de nombreux linéaments, qui traduisent l'existence d'un contrôle structural important, en particulier dans la partie amont où la direction structurale N 55 ressort nettement.





- A Image sonar
- B Image sondeur de sédiment (exagération verticale 6)
- C Profil bathymétrique

Canyon with slides on sides - Scale 1/20000

- A Sonar image
- B Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 6)
- C Bathymetric profile



Figure 21 - Canyon avec ravinements - Échelle 1/10000 A - Image sonar

B - Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)

Canyon with gullies - Scale 1/10000 A - Sonar image

- B Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)





Figure 22 - Montage d'une mosaïque partielle sur le canyon Part of the canyon mosaic.



Figure 23 -Évolution morphologique du canyon du NE au SW - Échelle 1/20000 (exagération verticale 6).

Cross - sections through the canyon from NE to SW - Scale 1/20000 (vertical exaggeration 6).

Figure 24 -Passage de la zone sédimentaire sud à la zone chaotique -Échelle 1/20000

- A Image sonar
- B Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)
 C Profil bathymétrique
- Transition from south sedimentary zone
- to chaotic zone -
- Scale 1/20000
- A Sonar image
 B Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)
 C Bathymetric profile

La zone chaotique

Dans la partie sud-ouest de la région couverte par la mosaïque, de part et d'autre du canyon, une zone au faciès acoustique chaotique montre de nombreuses cicatrices d'arrachement reprises par des phénomènes d'érosion superficiels.

Le passage de cette zone chaotique à un environnement sédimentaire normal et calme est très bien marqué topographiquement (Fig. 24). Au sein de cette zone chaotique, on peut localement identifier des formes classiques de glissement de terrain avec niches d'arrachement en croissant et zone dépressionnaire vers l'aval. Il pourrait donc s'agir d'une zone instable présente sur les deux bords du canyon. Celui-ci présente, dans ce secteur, un fond plat et des bords francs, et recoupe nettement ces faciès chaotiques. Malheureusement, la mauvaise qualité des coupes sondeur ne permet pas, dans l'état actuel, d'étudier la structure interne de cet environnement perturbé.

Cette zone est également recoupée par des sillons d'érosion très visibles sur une grande partie de la mosaïque sur le flanc droit du canyon.



Erosions et stries superficielles

Une zone bien localisée traverse toute la mosaïque dans sa partie nord en formant une bande de 6 à 8 km de large. Elle est caractérisée par des structures linéaires qui correspondent à deux types de figures sédimentaires :

- les sillons d'érosion,
- les stries superficielles.

Les sillons d'érosion (Fig. 25), déjà signalés par W.B.F. Ryan, traversent la mosaïque du nord au sud (direction N 195). Il s'agit de dépressions grossièrement rectilignes d'une quinzaine de mètres de large qui semblent avoir une origine assez récente, puisqu'elles ne sont pas comblées par des dépôts sédimentaires et qu'elles recoupent la topographie perturbée de la zone chaotique. Cependant, elles ne semblent pas affecter le flanc gauche du canyon. La figure 25 montre que ces sillons entaillent des sédiments indurés stratifiés qui semblent apparaître à l'affleurement sur l'image sonar. Cela signifierait qu'ils sont associés à une activité érosive intense ayant décapé la couverture sédimentaire meuble.

Les stries superficielles présentes dans la partie nord sont perçues grâce aux qualités de résolution du SAR. Cependant, il est difficile d'en donner une description détaillée. Les images (Fig. 26) font penser à un épandage superficiel en lignes divergentes dans le sens de la pente (N 205). Elles correspondraient donc à des dépôts récents de faible épaisseur constitués de matériaux à rétrodiffusion légèrement plus forte que celle de leur environnement sédimentaire. Sur l'image présentée (Fig. 26) elles recouvrent effectivement un champ de mégarides.



Figure 25 - Sillons d'érosion - Échelle 1/10000

A - Image sonar

B - Image sondeur de sédiment (exagération verticale 10)

Erosional furrows - Scale 1/10000

- A Sonar image B Sub-bottom profiler image (vertical exaggeration 10)



Figure 26 - Stries au contact de mégarides - Image sonar - Échelle 1/10000 Striae closed megaripples - Sonar image - Scale 1/10000

CHAPITRE 4

INTERPRÉTATION

4.1 Directions de courants et d'apport sédimentaire

Les directions de courants qui sont à l'origine des différentes formes (canyon, dunes, mégarides, stries, sillons d'érosion, rubans), décrites au chapitre précédent, sont reportées sur le schéma de la figure 27.



Figure 27 - Directions des courants dans la zone Titanic Current directions in the Titanic zone

Quatre directions d'apport peuvent être distinguées sur ce schéma :

- une direction moyenne N 200 qui correspond au grand couloir constitué des stries et sillons d'érosion,
- une direction N 220 qui est celle du canyon,
- une direction N 354 donnée par les faciès rubanés,
- une direction N 205 donnée par les dunes.

La direction d'apport obtenue à partir des dunes a pu être déterminée à la faveur de leur structure dissymétrique. Elles présentent, en effet, systématiquement un flac court à regard sud-ouest et un flanc long à regard nord-est, ce qui indique qu'elles ont été mise en place par un courant s'écoulant vers le sud-ouest.

Les dunes, le canyon et le couloir attestent donc de l'existence d'une direction de transport sédimentaire privilégiée, globalement orientée vers le sud-sud-ouest (entre N220 et N195). Cette direction indique un transit de sédiments du talus vers la plaine abyssale de SOHM. Ce transit sédimentaire se fait à la faveur des pentes locales comme dans le cas du couloir d'érosion ou bien en suivant le fond de la vallée sous-marine qui a été décrite précédemment (cas du canyon). La direction N354 donnée par les faciès rubanés ne peut être, par contre, la conséquence de tels processus. En effet, cette direction de transport parallèle aux contours est incompatible avec l'effet de pente décrit précédemment. Ces faciès rubanés résultent vraisemblablement de l'action du courant de fond local, qui est WBU.

4.2 Origine des différents objets géologiques

L'analyse des directions de courant, déduites des objets visibles sur la mosaïque, indique clairement deux processus de transport des sédiments sur la zone TITANIC :

- un processus, apparemment majeur, lié à des phénomènes de type gravitaire,
- un processus, plus discret, lié à l'action d'un courant de contour.

Courants de densité et glissement en masse le long de la pente continentale du Grand Banc de Terre-Neuve.

L'examen de la bathymétrie régionale montre que la mosaïque TITANIC se situe à l'axe d'une importante vallée sous-marine qui prend naissance en haut du talus du Grand Banc et se prolonge jusqu'à la plaine abyssale de SOHM (Fig. 2). Le fait que cette dépression soit parallèle à la ride de l'anomalie J indique que sa mise en place a été guidée par l'existence de ce trait structural régional. Comme c'est souvent le cas, le transit des sédiments et l'érosion ont eu une action privilégiée le long de cet axe structural majeur. Le canyon TITANIC occupe le fond de la vallée décrite précedemment. Ses flancs assez redressés (pente 70 %) et sa profondeur relativement importante (50 m en moyenne) témoignent d'une érosion et d'un transit sédimentaire importants. Compte tenu de son orientation, il est fort probable que ce canyon résulte de l'action de courants de turbidité transitant ou ayant transité du plateau continental vers la plaine abyssale de SOHM.

Le couloir, qui contient les stries et les sillons, a une orientation légèrement différente (N 205 - N 195) de celle du canyon (N 220). Dans le contexte bathymétrique régional, ce couloir se situe sur le flanc ouest de la grande vallée parallèle à la ride de l'anomalie J. Ce couloir, compte tenu de sa direction, résulte du transport de sédiment sur la pente, mais il témoigne de l'existence de mouvements gravitaires différents de ceux qui ont emprunté le canyon. Dans le cas de ces derniers, l'écoulement est, par définition, "chenalisé", même si des débordements peuvent se produire, alors que, dans le cas du couloir, il s'agit plutôt d'un glissement de matériaux qui se propage le long de la pente avec une forte extension latérale (7 km environ). Ce couloir se caractérise par la présence de nombreux glissements. Les sillons d'érosion ont vraisemblablement été provoqués par les particules les plus grossières contenues dans les matériaux se déplaçant sur la pente. Les niches d'arrachement, de forme arquée, ouvertes vers l'aval et les glissements associés sont le résultat de l'instabilité des sédiments superficiels. Les cicatrices laissent apparaître des niveaux stratifiés consolidés qui pourraient correspondre au substratum sédimentaire plus ancien existant sous le niveau de décollement. Celles-ci représentent les zones de départ de matériaux qui transitent sur la pente.

Il est probable que de telles cicatrices existent à l'amont, en dehors de la zone couverte par la mosaïque. Il s'agit donc d'un système composite où les glissements du type "slump", au départ, se succèdent géographiquement et peut-être chronologiquement, pour former le couloir caractérisé par son instabilité. Les stries observées au nord constitueraient dans ce cas le front d'un dépôt superficiel récent et de moindre énergie. L'arrivée sur le fond de la

vallée du matériel sédimentaire ayant transité par le couloir correspond sur les images sonar à l'arrêt des sillons d'érosion au contact du canyon et à l'apparition d'un faciès chaotique représentant la zone de dépôt des sédiments. Le processus gravitaire lié au couloir est donc restreint au flanc ouest de la vallée qui est parallèle à la ride de l'anomalie J. Son efficacité de transport semble donc moindre que celle des turbidites qui ont transité par le canyon à l'axe de la vallée. Ce type de transport gravitaire à capacité de transport moindre (quelques dizaines de km d'après D.A.V. Stow, 1985), associé à des glissements de terrain et à des sillons d'érosion sans chenalisation, est probablement à rattacher au faciès "debris-flow" *.

Il va de soi que les arguments utilisés précédemment pour attribuer à une coulée boueuse l'origine du couloir à cicatrices et à linéation de la mosaïque TITANIC sont essentiellement morphologiques. C'est pourquoi il est envisagé une campagne de prélèvements et d'observations sur le fond, par submersible, afin de confirmer ou d'infirmer les interprétations proposées à partir des images sonar latéral. Dunes et mégarides indiquent, elles aussi, une direction de courant le long de la pente et leur origine est donc à rechercher également dans l'action de processus gravitaire. Compte tenu de leur granulométrie supposée, proche de celle des "gravel waves", décrites par Piper, il est nécessaire de faire intervenir, pour la formation des dunes, des courants à haute énergie. Pour l'instant et en l'absence d'observations de la structure interne de ces corps, il est difficile de les relier à un type d'écoulement gravitaire particulier : turbidite ou coulée boueuse. Cette description de la structure interne des dunes pourrait être faite à l'occasion d'observation *in situ* à l'aide d'un submersible.

Les dunes passent localement dans la partie sud de la mosaïque à des mégarides. Peut-être est-ce là l'indice d'une origine commune, déjà suggérée par la similitude des directions de courant déduite de ces deux types de corps sédimentaires.

Les effets de deux types de processus gravitaire sont donc nettement visibles sur la mosaïque TITANIC :

- un processus de type turbiditique, au sens strict, qui est à rattacher à la présence du canyon,
- un processus de type coulée boueuse, d'une efficacité de transport moins grande sur le précédent, et qui correspond au couloir à linéation de la partie nord de la mosaïque.

Les dunes et les mégarides sont, de par leurs directions, à rattacher également à un processus de transport le long de la pente ; mais des prélèvements et des observations *in situ* sont nécessaires pour préciser ce processus.

^{*} Le terme "debris-flow" est généralement utilisé pour décrire un matériel boueux contenant des matériaux plus grossiers (graviers et galets). Le terme français, "coulée boueuse", sera donc utilisé dans le reste du texte pour "debris-flow".

Action des courants de contour

Les faciès rubanés de la zone sud permettent donc de déduire une direction de courant grossièrement nord-sud (moyenne mesurée N 354) pouvant résulter de l'action du WBU. Ce courant est, en effet, un des éléments hydrodynamiques majeurs dans la région. Localement, les plongées du submersible américain ALVIN, qui ont eu lieu sur l'épave du TITANIC en juin 1986, ont permis de constater la présence d'un courant de fond de direction nord-ouest et de vitesse de l'ordre de 30 cm/sec, proche de la vitesse moyenne mesurée sur le WBU (P.R. Ryan, 1986).

La fraîcheur apparente des faciès rubanés sur les images sonar est également en accord avec une action récente des courants de fond. Ce faciès, analogue aux "sands ribbons" décrits par Piper dans le cône du Saint-Laurent, est probablement du à une mise en suspension de matériaux fins redéposés suivant des linéations parallèles aux lignes de courant. Habituellement, ce phénomène est déclenché par la présence d'obstacles topographiques près du fond. Ce genre d'obstacles n'a pas été décelé sur les images SAR, mais la présence de blocs erratiques est très probable dans le contexte géologique régional. En particulier, de tels blocs peuvent être déposés par les icebergs. Le passage latéral très net des faciès rubanés aux faciès à placage sédimentaire tend à prouver que ces deux types de figures sont très liés génétiquement. Bien que le mécanisme d'évolution d'une figure à l'autre puisse difficilement être compris à la seule vue des images sonar, il paraît évident que les faciès à placage sédimentaire découlent également de l'action d'un courant de contour.

La présence de matériel grossier au sommet des dunes est également à relier à l'action du courant de contour. Il s'agit en fait d'un phénomène de vannage des sédiments qui a déjà été décrit par plusieurs auteurs (Shanmugam, 1982 ; Stow et Lovel, 1979). Le sommet des dunes est plus sensible à l'action des courants et les particules les plus fines sont entraînées, ne laissant subsister que les plus grossières. Ce phénomène de vannage expliquerait donc la rétrodiffusion plus importante de la crête des dunes par rapport à leur base.

4.3 Chronologie

La sédimentation et la topographie dans l'environnement de la zone TITANIC ont été trés influencées, lors du dernier million d'années, par les alternances glaciaire - interglaciaire. Les grands traits morphologiques, tel le canyon qui traverse la mosaïque, ont été vraisemblablement mis en place lors de la dernière période glaciaire ("Wisconsinian"), entre 200 000 et 10 000 ans.

Lors de cet épisode glaciaire, le canyon a entaillé profondément le glacis continental en permettant un transit sédimentaire important à l'occasion d'événements turbiditiques fréquents. Après la période wisconsinienne, et jusqu'à aujourd'hui, en relation avec la remontée du niveau eustatique, le transport des sédiments sur la pente continentale a fortement régressé et les canyons sont entrés dans une phase de comblement.

Le canyon TITANIC, avec son fond très plat résultant de l'accumulation holocène des sédiments pélagiques, est un bon exemple de cette phase de comblement en cours. Néanmoins, toute activité érosive actuelle ou récente ne semble pas complètement absente du canyon puisqu'on constate la présence d'une légère dépression en forme de V sur le fond de celui-ci. Au nord-ouest de la mosaïque, la limite très nette qui existe entre les stries et une zone sans linéation (Fig. 26) indique clairement une mise en place des stries postérieurement au dépôt des sédiments superficiels de la zone sans linéation. Compte tenu de ce critère et du caractère assez superficiel des stries et des sillons d'érosion (sillon d'érosion : 1 m de profondeur environ), il apparaît difficile de considérer les sillons d'érosion et les stries comme très anciens. Il est plus logique de leur attribuer un âge holocène, voire actuel, en les rattachant aux phénomènes gravitaires qui, même en période de haut niveau eustatique, affecte ou ont affecté la pente continentale de la règion. Des structures linéaires du type sillons d'érosion sont d'ailleurs déjà connus dans l'environnement du cône du Saint-Laurent et D.J.W. Piper les interprète comme des traces d'érosion liées au glissement de 1929. Ces sillons d'érosion ne semblent plus exister sur le flanc gauche du canyon. Leur disparition liée à un recoupement par le canyon n'est donc pas réellement un critère chronologique, elle correspond simplement à la perte de capacité érosive de la coulée boueuse lors de son arrivée sur le fond de la vallée.

L'ensemble des figures (stries, arrachements, érosion regressive, sillons d'érosion) comprises à l'intérieur de la zone à linéation est, cela a été mentionné plus haut, le résultat de processus d'érosion et d'instabilité le long de la pente. Mais bien que récent (Holocène), il faut insister sur le fait que des coulées boueuses ont pu intervenir plusieurs fois au cours de la dernière période géologique pour aboutir au "paysage actuel" du fond dans la zone à linéation de la mosaïque TITANIC. L'examen de la mosaïque, dans le véritable couloir d'érosion qu'est cette zone, semble en effet montrer une superposition des phénomènes gravitaires. S'il semble à peu près sûr de rattacher au Pléistocène supérieur le canyon, et à l'Holocène, voire à l'Actuel, les coulées boueuses, il est plus difficile de replacer dans le temps les dunes et les mégarides. Apparemment, sur la mosaïque, l'extension des dunes apparaît assez limitée mais il est possible que celles-ci n'affleurent localement qu'à la faveur d'une fenêtre dans les sédiments superficiels et qu'elles aient, en réalité, une extension beaucoup plus importante. Cet aspect chronologique de la formation des dunes ne pourra être tranché que lors d'observations "in situ". La mise en place de ces dunes a nécessité, on l'a vu au paragraphe précédent, l'intervention de courants à haute énergie, en liaison avec des événements gravitaires le long de la pente continentale.

De tels événements ont eu lieu, de façon très fréquente, au Pléistocène supérieur et, de façon beaucoup plus rare, à l'Holocène, même si des événements récents assez violents ont pu être accompagnés de courants très forts (plus de 60 km/h pour le courant de turbidité de 1929). Ces dunes peuvent donc être aussi beaucoup plus récentes et dater seulement d'événements du type "glissement du Grand Banc de 1929". Il est intéressant de noter que, dans l'environnement de l'éventail profond du Saint-Laurent D.J.W. Piper attribue à l'évènement de 1929 l'origine de dunes identiques à celle de la mosaïque TITANIC.

Enfin, un ultime mécanisme façonne les dunes et leur donne leur apparence actuelle : leurs crêtes sont vannées par les courants de contour holocènes.

L'âge des mégarides reste, comme pour les dunes, très incertain. Néanmoins, dans la partie nord de la mosaïque, elles semblent antérieures au couloir résultant des coulées boueuses (Fig. 26).

Les faciès rubanés et à placage sédimentaire ont été attribués à l'action des courants de contour actuels, en particulier à celle du WBU.

En conclusion, la chronologie des événements sédimentaires au cours des derniers 200 000 ans dans la zone TITANIC est donc la suivante :

- Entre 200 000 et 10 000 ans (Wisconsinian : épisode glaciaire) :
 - . mise en place du canyon.
 - . transit de turbidites en grand nombre par ce canyon.
 - . création de dunes et de mégarides lors de ces événements turbiditiques ?
- Depuis 10 000 ans et jusqu'à l'Actuel (Holocène : épisode interglaciaire) :
 - . coulées boueuses des sédiments superficiels sur les flancs de la vallée parallèle à la ride de l'anomalie J, provoquant un léger détournement du canyon vers le nord-ouest.
 - . baisse de la fréquence des événements turbiditiques transitant par le canyon en liaison avec la remontée du niveau eustatique.
 - . glissement des flancs du canyon.
 - . tendance au comblement du canyon.
 - . création de dunes et de mégarides à l'occasion d'événements gravitaires ?

- Actuellement

- . formation des faciès rubanés et à placage sédimentaire.
- . vannage des dunes par le courant de contour.
- . processus gravitaires actuels ?

CONCLUSION

L'apport essentiel de cette étude par rapport aux études traditionnelles des environnements sédimentaires actuels "profonds" est incontestablement d'ordre cartographique. Il a été en effet possible, grâce à l'utilisation du sonar latéral SAR, de dresser une carte interprétative des principaux éléments géologiques et sédimentologiques récents d'un secteur de pente continentale relativement étendue (300 km2).

L'attention avec laquelle ont été traités les problèmes de navigation, pendant le levé SAR et au moment du rejeu des images, confère à cette cartographie une bonne précision dans le positionnement des objets géologiques représentés. Cette qualité du positionnement a permis d'obtenir des mesures de directions structurales et surtout sédimentaires qui ont été capitales dans le cadre de cette étude. Il a été possible, en particulier, à partir des mesures de direction de figures sédimentaires, de déduire les directions de courant qui ont été à leur origine. Compte tenu de l'absence de prélèvements sur la zone et de la mauvaise qualité des enregistrements sondeur de sédiments 3.5 kHz, la cartographie proposée est essentiellement fondée sur la morphologie des objets. Il n'empéche que, même en l'absence de carottages et de coupes sismiques de bonne qualité, la haute résolution de l'image sonar latéral SAR a permis, sur la zone explorée, de mettre en évidence des figures sédimentaires et des objets géologiques jusque là inconnus.

Il s'agit principalement du couloir d'érosion de la partie nord de la mosaïque, des faciès rubanés et à placage sédimentaire de la partie sud et des dunes et mégarides. Le couloir d'érosion aurait comme origine le passage d'une ou plusieurs coulées boueuses chargées de matériaux grossiers. Les dunes et mégarides seraient également à relier à des évènements gravitaires, actuellement impossibles à caractériser plus précisément. Les faciès rubanés et à placage sédimentaire résultent de l'action du courant de contour local, le Western Boundary Undercurrent (WBU). Le canyon, qui traverse la mosaïque, avait, quant à lui, été reconnu précédemment lors de levés bathymétriques, mais sa morphologie a pu être précisée à l'aide des images sonar. Les images montrent également que de nombreux accidents structuraux décalent la direction originelle du canyon. Les différents indicateurs de courant identifiés sur la mosaïque (canyon, dunes, mégarides, sillons d'érosion) témoignent d'une intense activité du transit sédimentaire le long de la pente de cette partie du glacis continental du Grand Banc de Terre-Neuve, pour les périodes récentes (Pléistocène supérieur et Holocène).

Les relations chronologiques entre les différents événements, qui sont à l'origine des figures sédimentaires décrites dans ce rapport, restent cependant à préciser. En effet, s'il semble clair de pouvoir attribuer aux périodes glaciaires les turbidites ayant emprunté le canyon et plutôt à l'Holocène et à l'Actuel des processus du type coulées boueuses, il est plus difficile de donner un âge aux événements qui ont pu mettre en place dunes et mégarides. Un point de l'étude qui reste également à préciser concerne la nature des sédiments dans la région.

En effet, la succession des dépôts récents est mal connue, ainsi que la granulométrie des matériaux. Les quelques carottes décrites par différents auteurs et la nature de la réponse acoustique des sédiments nous permet de penser que des sédiments fins holocènes recouvrent des sédiments plus grossiers pléistocènes. Cette approche générale de la lithologie locale des formations superficielles n'est pas suffisante pour comprendre le mode de mise en place de certains corps. La compréhension de la formation des dunes, par exemple, nécessite des prélèvements très précis et des observations *in situ*. Le mécanisme du passage latéral des faciès à placage sédimentaire au faciès rubanés reste également un problème non résolu qui nécessiterait une observation *in situ*. Les relations entre les événements gravitaires mis en évidence dans cette étude et l'appareil turbiditique du Saint-Laurent, situé à une centaine de km à l'ouest de la zone explorée doivent être étudiées.

Nombre de figures sédimentaires (dunes, sillons d'érosion) décrites sur la zone d'étude, ont, en effet, également été identifiées dans l'environnement de l'éventail profond de cet appareil ; elles traduisent des conditions hydrodynamiques semblables de mise en place.

Cette campagne d'exploration par sonar latéral a permis de montrer l'intérêt de la zone pour l'étude des transits sédimentaires sur les pentes. Il est prévu de continuer, dans les deux ans qui viennent, l'exploration de ce secteur du glacis continental de Terre-Neuve. Une première campagne franco-canadienne devrait avoir lieu en 1987 afin de procéder à un levé sismique et à des carottages. Ultérieurement, l'étude de la zone devrait se poursuivre par une série de plongées du submersible "NAUTILE".

Il sera vraisemblablement nécessaire au cours de ces deux campagnes d'élargir le périmètre d'exploration afin de replacer cette étude dans le contexte sédimentologique régional, en particulier par rapport au cône profond du Saint-Laurent.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen J.R.L. (1980) Sand waves : a model of origin and internal structure. Sedimentary geology, 26, p 281-328.
- Augustin J.M. (1986) Logiciel de traitement des images acoustiques des sonars latéraux. Rapport IFREMER.
- Ballard R.D. (1986) A long last look at Titanic. National Geographic, december 1986.
- Barrie J.V., Lewis C.F.M., Fader G.B., King L.H. (1984) Seabed processes on Northeastern Grand Banks of Newfoundland; modern reworking of relict sediments. *Marine geology*, 57, p 209-227.
- Benson R.H., Delgrosso R.M., Steineck P.L. (1983) Ostracode distribution and biofacies, Newfoundland continental slope and rise. *Micropaleontology*, 29 (4), p 430-453.
- Bulfinch D.L., Ledbetter M.T. (1984) Deep Western Boundary Undercurrent delinated by sediment texture at base of North American Continental Rise. *Geo-marine letters*, 3, p 31-36.
- Carter L. (1979) Significance of unstained and stained gravel on the Newfoundland Continental Slope and Rise. *Journal of sedimentary petrology*, 10, p 25-65.
- Clarke R.A., Hill H.W., Reiniger R.F., Warren B.A. (1980) Current system south and east of the Grand Banks of Newfoundland. *American Meterological Society*, 10, p 25-65.
- Cremer M., Faugeres J.C., Gonthier E., Monteiro H. (1984) Levée de débordement turbiditique - ride de contourite : similitude et caractères distinctifs de deux types d'accumulations sédimentaires profondes. 10ème Réunion annuelle des Sciences de la Terre. Société Géologique de France, p 159.
- Farcy A., Voisset M. (1985) Acoustic imagery of sea-floor. Ocean 85, San Diego, p 1005-1012.
- Fofonoff N.P., Hendry R.M. (1985) Current variability near the southeast Newfoundland Ridge. American Meteorological Society, 15, p 963-984.
 - Genesseaux M., Foucault A. (1984) L'éventail sédimentaire profond du Var (mer Ligure) : stratigraphie acoustique. 10^e Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Société Géologique de France, p 253.
- Gradstein F.M., Grant A.C., Jansa L.F. (1977) Grand Banks and J -anomaly Ridge : a geological comparison. *Science*, 197, p 1074-1076.

- Grant A.C. (1977) Multichannel seismic reflection profiles of the continental crust beneath the Newfloundland Ridge : *Nature*, 270, no 5632.
- Grant A.C. (1979) Geophysical observation bearing upon the origin of the Newfoundland Ridge. *Tectonophysics*, 59, p 71-81.
- Heezen B.C., Ewing M. (1952) Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks earthquake. American Journal of Science, 250, p 849-873.
- Heezen B.C., Ericson D.B., Ewing M.E. (1954) Further evidence for a turbidity current following the 1929 Grand Banks earthquake. Deep-sea research, 1, p 193-202.
- Heezen B.C., Drake C.L. (1964) Grand Bank slump. Bulletin of The American Association of Petroleum Geologists, 48 (2), p 221-233.
- Heezen B.C, Johnson G.L., Hollister C.D. (1969) The Northwest Atlantic mid-ocean canyon. Canadian Journal of Earth Sciences, 6, p 1441-1453.
- Hendry R.M. (1965) Deep circulation of the Gulf Stream at 50°W. Progress in Oceanography. 14, p 191-207.
- Hill P.R. (1984) Sedimentary facies of the Nova Scotian upper and middle Continental Slope, Offshore Eastern Canada. Sedimentology, 31, p 293-309.
- Hill P.R. (1985) Facies and sequence analysis of nova scotian slope muds : VS hemipelagic déposition. Fine-grained sediments deep water processes and facies. *Geological Society of London, Special Publication*, 14, p 311-318.
- Hill P.R., Piper D.J.W., Normark W.R. (1983) Pisces 4 submersible dives on the continental slope at 63°W. Current research, part A, *Geological Survey of Canada, Paper* 83-1A, p 65-69.
- Hill P.R. (1983) Morphology of a small area on the Scotian Slope at 63°W. Marine Geology, 53, p 55-76.
- Ledbetter M.T., Balsam W.L. (1985) Paleoceanography of the deep Western Boundary Undercurrent on the North America Continental Margin for the past 25 000 YR. *Geology*, 13, p 181-184.
- Lowe L. (1982) Sediment gravity flow : Depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 52 (1), p 279-297.
- Mahmood A., Piper D.J.W. (1981) Detrital mineralogy and petrology of deep-water continental margin sediments off Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, p 1336-1345.
- Mountain D.G., Shuhy J.L. (1980) Circulation near the Newfoundland Ridge. Journal of Marine Research, 38 (2), p 205-213.
- Mutti E. (0) (1980) Turbidites et cones sous-marins profonds. Cours Ecole Nationale Supérieure des Pétroles et des moteurs, CES Geologie-Géophysique.

- O'Leary D.W. (1986) The munson-nygren slide : A major lower-slope slide off Georges Bank. Marine Geology, 72, p 101-114.
- Olivet J.L., Bonnin J., Beuzart P., Auzende J.M. (1984) Cinématique de l'Atlantique Nord et Central. Publication du Centre National pour l'Exploitation des Océans, Rapport scientifique no 54.
- Parson L.M., Masson D.G., Pelton C.D. (1984) Seismic stratigraphy and structure of the East Canadian Continental Margin between 41 and 52°N. Canadian Journal of Earth Sciences., 22, p 686-703.
- Pastouret L., Auffret G.A., Hoffert M., Melguen M., Needham H.D., Latoutche C. (1974) -Sédimentation sur la Ride de Terre-Neuve. *Cananadian Journal of Earth Sciences.*, 12, p 1019-1035.
- Pereira C.P.G., Piper D.J.W., Shor A.N. (1985) Seamarc 1 mid range side scan sonar survey of Flemish Pass, east of the Grand Banks of Newfoundland. *Geological survey of Canada, open file*.
- Piper D.J.W. (1982) Le cône Laurentien. Revue de l'Institut Océanographique de Bedford, ch. 3, p 59-62.
- Piper D.J.W., Stow D.A.V., Normark W.R. (1984) The Laurentian fan : Sohm Abyssal Plain. Geo-Marine Letters, 3, 141-146.
- Piper D.J.W., Shor A.N., Farre J.A., O'Connell S., Jacobi R. (1985) Sediment slides and turbidity currents on the Laurentian Fan: side scan sonar investigations near the epicenter of the 1929 Grand Banks earthquake. *Geology*, 13, p 538-541.
- Reading H.G. (1981) Sedimentary facies along tidal current transport paths. in Sedimentary environments and facies, ch 951, p 217.
- Reineck H.E., Singh I.B. (1980) Sand ribbons. in Depositional sedimentary environments part. 2, p 377-378.
- Reineck H.E., Singh I.B. (1980) Hydrodynamics factors and bedforms in water. in Depositional sedimentary environments part. 1, p 14-17.
- Richardson M.J., Winbush M., Mayer L. (1981) Exceptionally strong near-bottom flows on the Continental Rise of Nova Scotia. *Science*, 213, p 007-000.
- Robb J.M., Kirby J.R., Hampso, J.C., Gibson R., Hecker B. (1983) Furrowed outcrops of eocene chalk on the lower Continental Slope offshore New Jersey. *Geology*, 11, p 182-186.

Ryan P.R. (1986) - The Titanic revisited. Oceanus, 29 (3).

- Ryan W.B.F.(1982) Imaging of submarine landslides with wide-swath sonar. Symposium Nato.
- Ryan W.B.F. (1983) The use of mid-randge side-looking sonar to locate the wreck of the Titanic. Subtech' 83, Paper nº 11-4.

- Schnitker D. (1979) The deep water of western North Atlantic during the past 24 000 years, and the re-initiation of the Western Boundary Undercurrent. *Marine Micropaleontology*, 4, p 265-280.
- Shaffer C.T., Asprey K.W. (1981) Significance of some geotechnical properties of Continental Slope and Rise of Northeast Newfoundland. *Cananadian Journal of Earth Sciences*, 19 (1), p 153-161.
- Shaffer C.T., Tan F.C., Williams D.F., Smith J.N. (1984) Late glacial to recent quaternary stratigraphy, and sedimentary processes : Newfoundland Continental Slope and Rise. *Cananadian Journal of Earth Sciences*, 22, p 266-282.
- Shanmugam G., Moiola R.J. (1982) Eustatic control of turbidites and winnowed turbidites. *Geology*, 10, p 231-235.
- Shor A.N., Farre J.A. (0) Seabed instability near the epicentre of the 1929 Grand Banks earthquake. Geological Survey of Canada, open file report 11.
- Slatt R.M. (1977) Late quaternary terrigenous and carbonate sedimentation on Grand Bank of Newfoundland. *Geological Society of America Bulletin*, 88, p 1357-1367.
- Stow D.A.V. (1979) Contourites : their recognition in modern and ancient sediments. Earth Sciences Reviews, 14, p 251-291.
- Stow D.A.V. (1985) Deep-sea clastics : where are we and where are we going ? Geological Society of London, Special Publications, p. 67-93.
- Styvitski J.P.M., Fader G.B., Josenhansh W., Maclean B., Piper D.J.W. (1982) Seabed investigations of canadian east coast and artic using Pisces 4. *Geoscience Canada*, 10 (2).
- Tucholke B.E., Vogt P.R., Demars K.R., Galehouse J.S. (1979) Site 384 : The cretaceous/ tertiary boundary, Aptian reefs, and the J-anomaly Ridge. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 43, p 107-132.
- Tucholke B.E., Ludwig W.J. (1982) Structure and origin of the J-anomaly Ridge, Western North Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research 87 (B11), p 9389-9407.
- Vilks G., Buckley D., Keigwin L. (1985) Late quaternary sedimentation on the Southern Abyssal Plain. Sedimentology, 32, p 69-82.
- Wang Y., Piper D.J.W., Vilks G. (1982) Surfaces textures of turbidite sand grains, Laurentian Fan and Sohm Abyssal Plain. International Association of Sedimentologists.
- Zimmerman H.B. (1972) Sediments of the New England Continental Rise. Geological Society of America Bulletin, 83, p 3709-3724.

