

# Premières observations sur la morphologie et les processus sédimentaires récents de l'Éventail celtique

Gérard AUFFRET <sup>a</sup>, Sébastien ZARAGOSI <sup>b</sup>, Michel VOISSET <sup>a</sup>, Laurence DROZ <sup>c</sup>, Benoît LOUBRIEU <sup>a</sup>,  
Pascal PELLEAU <sup>a</sup>, Bruno SAVOYE <sup>a</sup>, Jean-François BOURILLET <sup>a</sup>, Agnès BALTZER <sup>d</sup>,  
Sylvie BOURQUIN <sup>e</sup>, Bernard DENNIELOU <sup>a\*</sup>, Alain COUTELLE <sup>f</sup>, Nicolas WEBER <sup>g</sup>, Gilbert FLOCH <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centre de Brest de l'Ifremer, DRO/GM, BP 70, 29280 Plouzané, France

<sup>b</sup> Université Bordeaux I, DGO, avenue des Facultés, 33405 Talence, France

<sup>c</sup> Université de Bretagne Occidentale, IEM, place Copernic, 29280 Plouzané, France

<sup>d</sup> Centre de géomorphologie du CNRS, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen, France

<sup>e</sup> Université Rennes I, Géosciences, campus de Beaulieu, BP 15, 35042 Rennes, France

<sup>f</sup> Université de Bretagne Occidentale, sciences de la Terre, BP 809, 29285 Brest, France

<sup>g</sup> Géodésie-Géophysique, EPSHOM, 13 rue du Chatelier, BP 426, 29275 Brest, France

Reçu 27 avril 1999 ; révisé 6 juillet 1999 ; accepté 21 août 1999

## **Abstract – First observations on the morphology and recent sedimentary processes of the Celtic Deep Sea Fan.**

During the SEDIFAN 1 cruise we surveyed the bathymetry and the acoustic properties of the surface sediment of the Celtic Deep Sea Fan. We also collected Küllenberg cores in order to study recent sedimentary processes. From the bathymetry survey it is relatively easy to recognize the main areas of modern fan. The upper fan included a large sedimentary ridge which constitutes the right levee of the prominent meandering Whittard valley. After its confluence with the Shamrock valley the course of the Whittard valley is abruptly deflected to the south. At a short distance to the south the valley divides into two upper-fan channels, the Celtic channel to the west being the deeper one. This point constitutes the centre of a radiating pattern which is developed on a 150° quadrant and a radius of about 100 km. The acoustic imagery displays contrasted features, related to change in lithology within the first metre beneath the sea bottom and to the sea floor roughness. The Austell ridge exhibits a contrasted pattern of elongated areas with high and low acoustic backscattering levels. This pattern is related to the development of abyssal dunes, the amplitude of which is of metric order. Particularly remarkable is a lobe-shaped low back-scattering area in the western part of the middle fan, also noteworthy are a lineated facies to the west and a braided facies to the east of the fan. The laminated silty-clayey sequences deposited on the Whittard ridge and on the Trevelyan levee were deposited during the deglaciation. We interpret these as turbidity currents overflow deposits from the Whittard valley. At the end of isotopic stage 3 and during stage 2, the English Channel was a large plain flooded by the Channel River. During this period a broad delta developed at 100 m below the present-day depth and a wide spectrum of material was bound to be supplied to the deep sea and contributed particularly to the deposition of the Whittard ridge silty-clayey sequences. The stage 2 deposits are characterized by rhythmic levels enriched in monosulfides. These types of deposits are common in areas affected by fluvial discharges. Excluding the sedimentary ridge and the channel levees the surface deposits sampled with the Küllenberg corer are sandy. These sands are deposited in various contexts on the interfluvial between the western and eastern channels and at channel mouths. They were emplaced during high sea level stands as a result of high energy gravity processes. The precise sources of these sands have not yet been identified, however benthic foraminifers from included ooze pebbles have living depths of between 500 and 1000 m.

\* Correspondance et tirés à part: [Bernard.Dennielou@ifremer.fr](mailto:Bernard.Dennielou@ifremer.fr)

The gravity processes which eroded this marly ooze may have been triggered on the upper slope. The Celtic shelf is presently a high energy platform where the conjunction of storms and spring tides can lead to enhanced sediment transport from near-shore to the deep sea. The relict or palimpsest deposits of the glacial delta also constitute a large reservoir of sandy material which can also be subject to reworking. © 2000 Ifremer/CNRS/IRD/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**deep-sea fan / Quaternary / sediment / turbidity / palaeoclimate**

**Résumé** – Le programme Enam 2 (European North Atlantic Margin) concerne l'étude des processus sédimentaires quaternaires du Spitzberg au golfe de Gascogne. Dans le cadre de ce programme, la reconnaissance de l'Éventail profond celtique était l'objectif de la campagne Sedifan 1 au cours de laquelle nous avons établi la morphologie de l'éventail et obtenu une image acoustique des fonds sédimentaires. La morphologie permet de mettre en évidence une organisation en éventail. On note aussi le développement remarquable d'une ride sédimentaire au niveau de l'éventail supérieur. Les sédiments prélevés révèlent la présence de dépôts sableux, témoins d'une activité récente qui pourrait être liée à l'importance de l'hydrodynamisme sur les Grands Bancs de la plate-forme celtique. © 2000 Ifremer/CNRS/IRD/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**éventail profond / Quaternaire / sédiment / turbidité / paléoclimat**

## 1. INTRODUCTION

Les études sur les éventails profonds connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt, lié notamment au fait qu'ils constituent des réservoirs potentiels d'hydrocarbures. Il est bien connu que leur développement est contrôlé par de nombreux facteurs comme l'activité tectonique ou néotectonique, les variations du niveau marin et les changements climatiques. De nouvelles approches se développent [8] associant, d'une part, les études classiques des éventails qui concernent essentiellement les aspects architecturaux et lithologiques [18, 19] et, d'autre part, les nouvelles connaissances relatives aux changements climatiques qui furent particulièrement importants pendant le Quaternaire. Les objectifs du programme européen Enam 2 (European North Atlantic Margin) se situent dans ce cadre et concernent, entre autres, une comparaison entre les flux sédimentaires quaternaires des régions nordiques, fortement influencés par les calottes glaciaires, et ceux du golfe de Gascogne affectés à un moindre degré.

La mission Sedifan 1 (N.O. *L'Atalante*) avait pour objectif de confirmer l'existence d'un éventail profond, terme ultime des apports terrigènes issus de l'érosion du Nord-Ouest de l'Europe et transportés vers l'océan par le fleuve Manche, en période de bas niveau marin [2, 9].

Les résultats obtenus par sondages multi-faisceaux EM12, sismique et carottages Küllenbergl ont permis de confirmer la présence de l'éventail et d'en préciser l'extension, les caractéristiques morphologiques et la structure interne [5]. Les sédiments de cinq carottes ont été analysés afin de déterminer leurs teneurs en carbonate de calcium au moyen du calcimètre Bernard et leurs distributions granulométriques au moyen du microgranulomètre laser Coulter. La stratigraphie proposée, fondée sur l'identification des assemblages de foraminifères planctoniques, est calibrée en âge d'après la stratigraphie isotopique d'une carotte voisine [7, 15] et l'échelle de Martinson et al. [12].

## 2. RÉSULTATS

Le système sédimentaire de l'éventail (*figure 1*) est constitué :

- de la plate-forme continentale de la mer Celtique, qui s'étend de l'éperon d'Austell à l'éperon Berthois [3],
- d'une pente continentale profondément disséquée par un réseau hiérarchisé de canyons avec deux bassins versants de part et d'autre de l'éperon Brenot,
- d'un glacis continental comprenant un compartiment interne et un compartiment externe séparés par la ride de Whittard et l'escarpement de Trévélyan.

La carte bathymétrique (*figure 2*) illustre l'organisation générale du dispositif morphologique constituant l'Éventail profond celtique. Une importante ride sédimentaire, la ride de Whittard, correspond à la levée droite du chenal méandrique de la vallée sous-marine Whittard. Après sa confluence avec la vallée sous-marine Shamrock, la vallée Whittard bifurque vers le sud. L'ombilic, situé entre la terminaison sud-ouest de la ride de Whittard et l'est de l'escarpement de Trévélyan, constitue le point central d'un dispositif distal en éventail qui se déploie selon un arc de 150° et un rayon d'environ 100 km, de part et d'autre des deux chenaux principaux, à l'ouest le chenal celtique et, à l'est, le chenal Chabert. À la divergence entre ces chenaux, le chenal Chabert se

trouve en position perchée, d'une dizaine de mètres, par rapport au chenal celtique.

L'imagerie acoustique révèle des faciès acoustiques différenciés (*figure 3*) qui correspondent à des niveaux variables de la réverbération acoustique, fonction de la rugosité du fond (sa variabilité topographique) et des propriétés physiques des sédiments (distributions granulométriques et structures sédimentaires) dans le premier mètre sous l'interface eau-sédiment.

Les faciès de la ride Whittard présentent une variabilité correspondant à la présence de dunes abyssales d'amplitude métrique. Un faciès clair « la tache blanche » (correspondant à un bas niveau de réverbération acoustique), centré sur le chenal celtique est

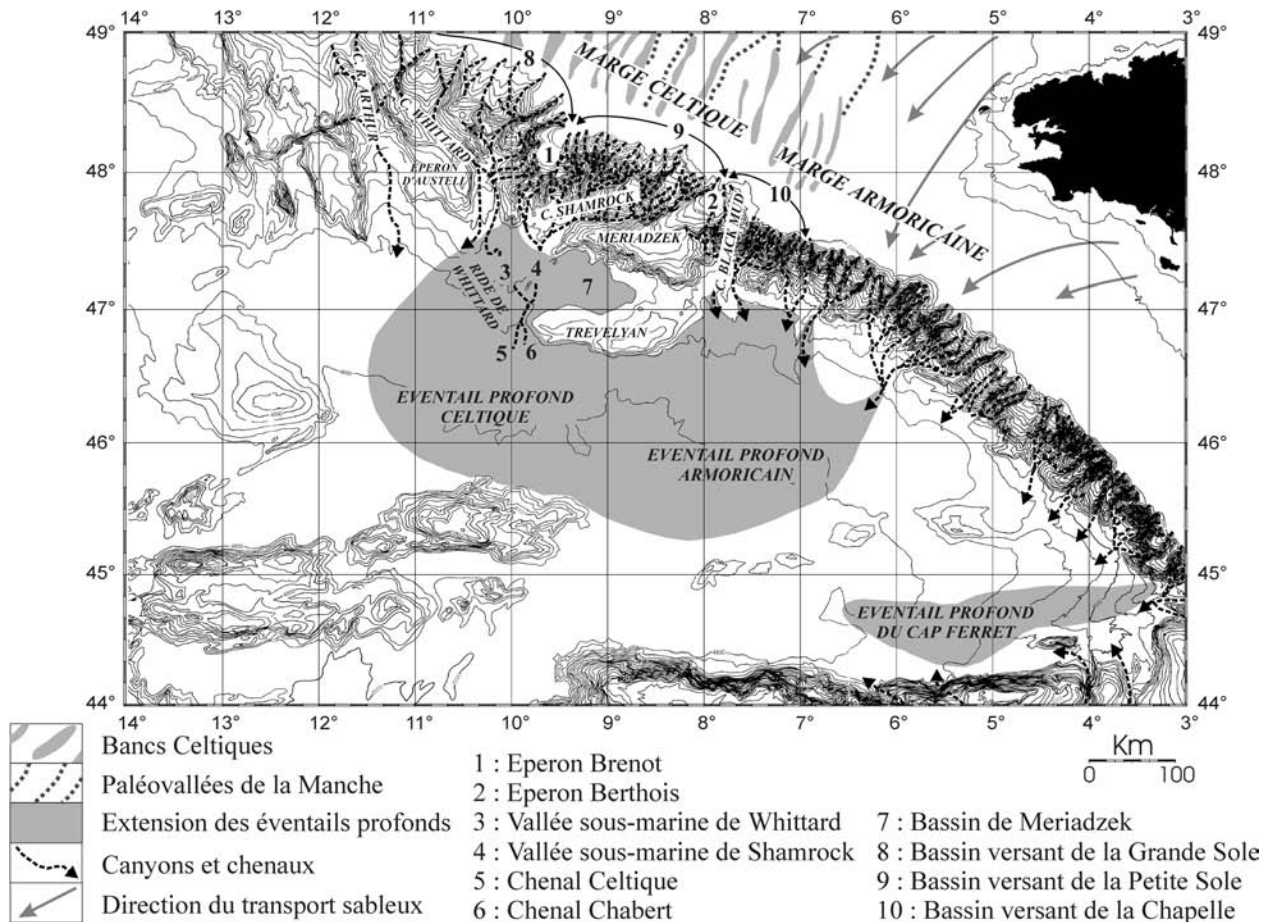


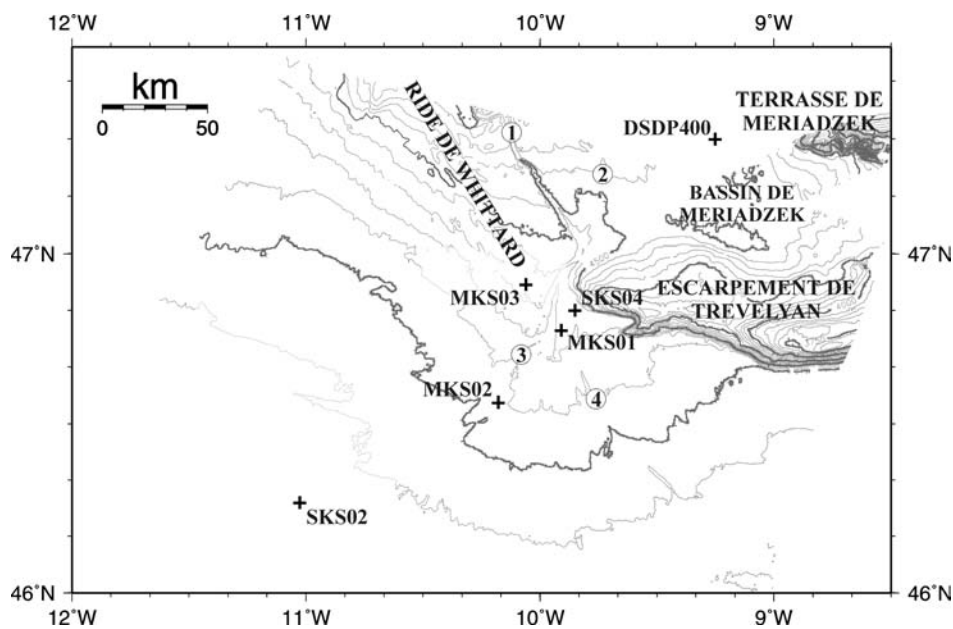
Figure 1. Cadre physiographique général des marges du golfe de Gascogne.

Figure 1. Physiographic framework of the Bay of Biscay continental margins.

**Tableau I.** Stratigraphie des carottes (les taux de sédimentation sont exprimés en cm/1 000 ans, la présence de sable est indiquée par un astérisque).

**Table I.** Core stratigraphy (accumulation rates are expressed in cm/1 000 years, the presence of sands is indicated by an asterisk).

Stades isotopiques	Stratigraphie européenne	Âges BP	Taux de sédimentation				
			MKS03	SKS04	MKS01	MKS02	SKS02
1	Holocène Sup.	0	4	13*	21*	>14*	10*
	Holocène Inf.	7 000					
	Wurm 4 (Dryas récent)	10 000					
	Wurm 3/4 (Bölling-Alleröd)	11 000	63				>6*
2	Wurm 3	12 050					
		24 110	>6*				



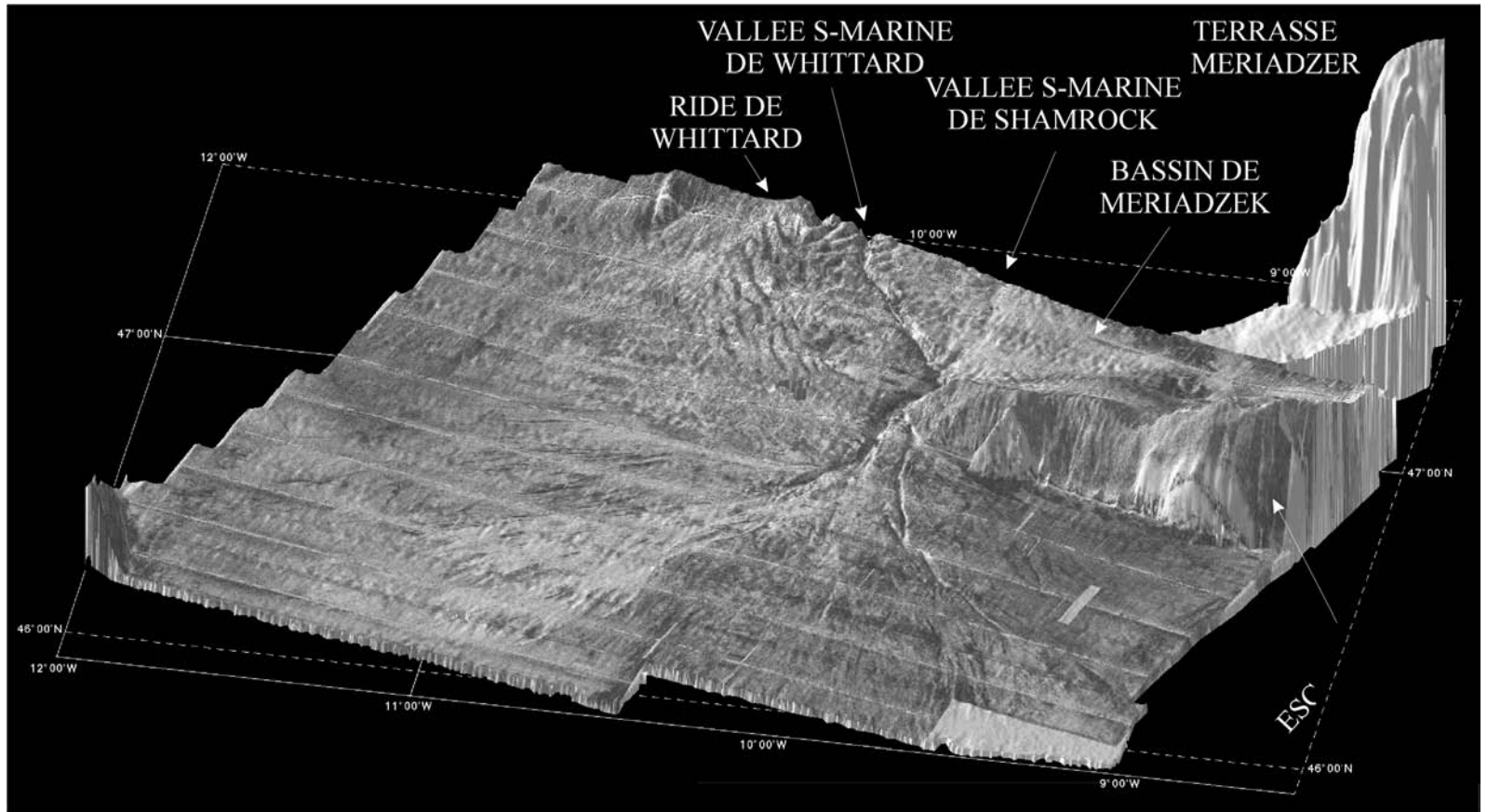
**Figure 2.** Bathymétrie de l'éventail profond celtique et localisation des carottes étudiées : (1) vallée sous-marine de Whittard, (2) vallée sous-marine de Shamrock, (3) chenal celtique, (4) chenal Chabert.

**Figure 2.** Bathymetric map of the Celtic Deep Sea Fan with core locations : (1) Whittard valley (2) Shamrock valley (3) Celtic channel, (4) Chabert channel.

particulièrement remarquable par son contour évoquant la superposition de plusieurs lobes.

L'étude de cinq carottes, dont la stratigraphie est

résumée dans le *tableau I*, a permis une reconnaissance préliminaire de la nature des dépôts superficiels de l'éventail (*figure 4*).



**Figure 3.** Vue en perspective de l'éventail profond celtique avec projection sur la surface du niveau de réverbération acoustique mesuré par le sondeur multi-faisceaux EM12.

**Figure 3.** Perspective views of the Celtic Fan with projection on the surface of the reverberation level as measured by the EM12 multi-beam sounder.

### 3. DISCUSSION

Avec une superficie voisine de 25 000 km<sup>2</sup>, l'éventail profond celtique est de taille moyenne. Dans la typologie des éventails [18] deux critères sont retenus, à savoir le dispositif géométrique contrôlant l'alimentation de l'éventail et la texture des matériaux qui l'alimentent.

Le dispositif géométrique de l'éventail ne correspond à aucun des types identifiés par Reading et Richards [18]; il associe des caractéristiques des systèmes multi-sources (alimentation) avec ceux des systèmes à source unique (dépôt). Le système d'alimentation est typiquement multi-sources, chacune des sources correspondant à la tête d'un canyon qui s'enracine à un niveau variable par rapport à la rupture de pente du plateau continental [3]. L'ensemble des émissaires alimentés par ces sources convergent dans les deux

vallées sous-marines de Whittard et Shamrock qui confluent en amont de l'ombilic de Trévélyan. Il faut souligner le développement considérable de la ride sédimentaire de Whittard qui s'est effectué pendant la phase d'évolution quaternaire de l'éventail [5].

Cette ride asymétrique, du même type que celle du Cap-Ferret [4] et du Var [6], constitue un site de dépôt privilégié.

Les séquences argilo-silteuses à lamines prélevées sur la ride (MKS03) ont été déposées de la fin du stade 2 au début du stade 1, c'est-à-dire dans des conditions de bas niveaux et lors de l'amorce de la remontée du niveau marin (cycle d'ordre 4). Nous attribuons la mise en place de ces séquences au débordement de courants de turbidité ou bouffées de densité [16] s'écoulant dans la vallée de Whittard. À la fin du stade isotopique 3 et lors du stade isotopique 2, la

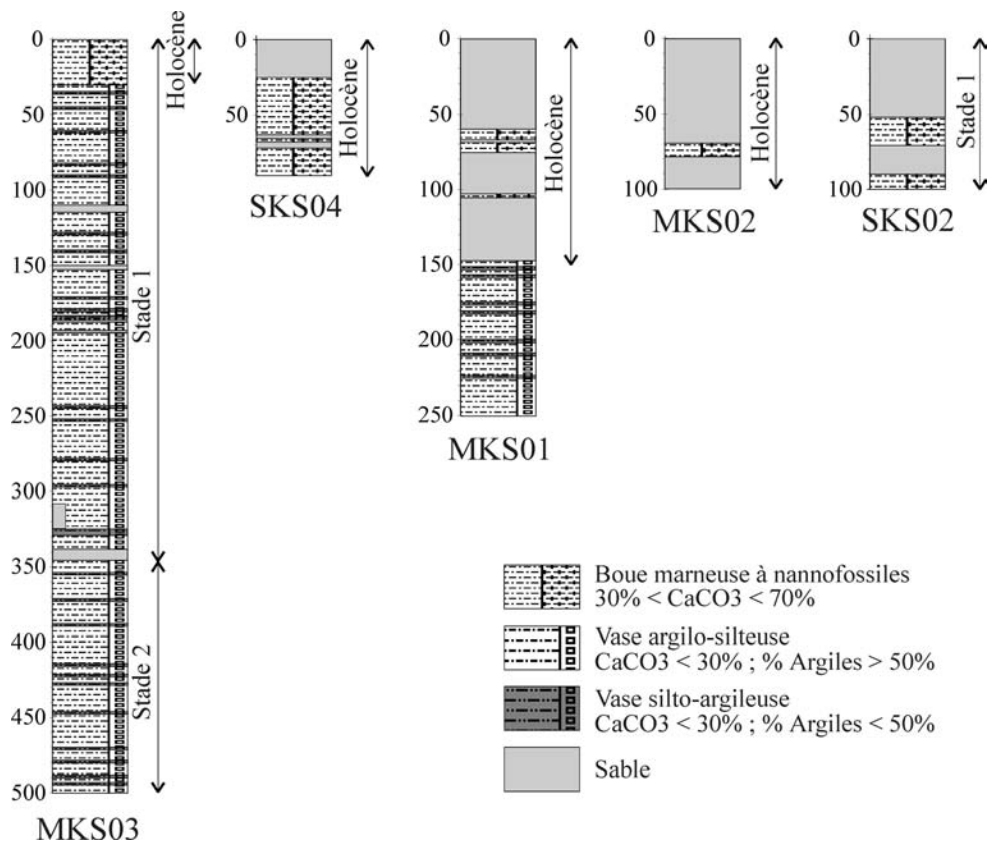


Figure 4. Lithologie et stratigraphie des carottes étudiées.

Figure 4. Lithology and stratigraphy of the studied cores.

Manche émergée était une vaste plaine parcourue par le fleuve Manche [9, 11] qui développait un large delta sur la plate-forme continentale [17].

Les dépôts silto-argileux du stade isotopique 2, sont caractérisés par des niveaux enrichis en monosulfures qui peuvent être associés à des environnements soumis à de forts apports fluviaux tels l'éventail profond du Rhône [13] et l'éventail profond d'Amazonie [14]. Ces niveaux, bien marqués dans le domaine profond du golfe de Gascogne [10], sont particulièrement bien développés sur la ride de Whittard.

Les sables du stade isotopique 1, bien classés avec une médiane comprise entre 170 et 220  $\mu\text{m}$ , ne montrent pas de structures sédimentaires. Ils sont présents dans des situations variées : sur l'interfluve central dans la zone de divergence entre les chenaux ouest et est et au débouché des chenaux (*figure 3*). Nous avons signalé antérieurement, sur la tache blanche la présence d'apports sableux d'origine littorale et d'âge holocène [1]. Ces sables ont donc été mis en place dans des conditions de haut niveau marin par des événements gravitaires de haute énergie : coulées sableuses ou turbidites. La source de ces sables n'est pas identifiée, mais les foraminifères benthiques des galets de boue marneuse inclus dans les sables, suggèrent que ces galets ont été érodés à des profondeurs comprises entre 500 et 1 500 m. Les processus gravitaires responsables de l'érosion pourraient donc avoir été déclenchés à la rupture de pente du plateau continental. Compte tenu de la morphologie particulièrement accidentée de la pente continentale, on peut également penser que l'écoulement des courants gravitaires s'est accompagné de périodes successives de dépôt et d'érosion.

#### 4. CONCLUSION

L'éventail profond celtique peut être considéré comme un exemple combinant du point de vue morphologique des caractères d'un modèle à plusieurs sources avec ceux d'un modèle à source unique. Dans son histoire récente, il a évolué d'un contexte glaciaire, caractérisé par une alimentation argileuse à silto-sableuse typique d'éventails profonds situés en rebord de marge passive sous forts apports fluviaux (le fleuve Manche), à une alimentation sableuse épisodique au cours de l'Holocène, impliquant no-

tamment la mobilisation des sables déposés lors des périodes de bas niveaux, dans un environnement deltaïque, au voisinage de la rupture de pente du plateau continental.

Ces données complètent vers l'aval les connaissances des systèmes paléofluviales de la Manche et de la mer d'Irlande : un éventail profond s'est développé depuis le Miocène moyen, essentiellement dans des conditions de bas niveaux marins. Ce système reste actif dans les conditions actuelles de haut niveau marin, selon des modalités qui devront être précisées quant aux sites de départ et aux modalités du déclenchement de ces processus gravitaires.

#### Remerciements

Les auteurs remercient pour leur coopération lors de la campagne Sedifan1, le commandant, les officiers et les marins du N.O. *L'Atalante* et C. Ravenne pour ses critiques constructives. Cet article est une contribution du programme Enam2 (Mast3) de l'Union européenne.

#### REFERENCES

- [1] Auffret G.A., Environnement morphologique et sédimentologique, in : peuplements profonds du golfe de Gascogne, Pub. Ifremer, 1985, pp. 71–99.
- [2] Auffret G.A., Pujol C., Baltzer A., Bourillet J.F., Müller C., Tisot J.P., Quaternary sedimentary regime on the Berthois Spur (Bay of Biscay), *Geo-Mar. Let.* 16 (1996) 76–85.
- [3] Bourillet J.-F., Loubrieu B., Atlantique nord-est, Bathymorphologie de la marge des entrées de la Manche, échelle 1/250 000 (éd.), Ifremer, 1995.
- [4] Cremer M., Approches géologique et géophysique des accumulations turbiditiques ; l'éventail profond du Cap-Ferret (golfe de Gascogne), la série des Grès d'Anot (Alpes-de-Haute-Provence), thèse État, univ. Bordeaux-I, 1983, 344 p.
- [5] Droz L., Auffret G.A., Savoye B., Bourillet J.-F., L'éventail profond de la marge celtique : stratigraphie et évolution sédimentaire, *C. R. Acad. Sci. Paris* 328 (1999) 173–180.
- [6] Droz L., Les éventails sous-marins profonds : structure et évolution sédimentaire, diplôme habil. dir. rech., univ. P.M.-Curie, 1991 254 p.
- [7] Duplessy J.C., Delibrias G., Turon J.L., Pujol C., Duprat J., Deglacial warming of the Northeastern Atlantic Ocean: correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent, *Paleoeco., Paleoclim., Paleoeco.* 35 (1981) 121–144.
- [8] Flood R.D., Piper D.J.W., Amazon fan sedimentation: the relationship to equatorial climate change, continental denuda-

- tion, and sea-level fluctuations, in: Flood R.D., Piper J.W., Klaus A., Peterson L.C. (éd.), *Proc. Oc. Dril. Prog., Sc. Res.*, 155, 1997, pp. 653–675.
- [9] Gibbard P.L., The history of great northwest European rivers during the past three million years, *Phil. Trans. R. Soc. London*, 1988, B318, pp. 559–602.
- [10] Grousset F., Étude géologique du Quaternaire terminal de la zone Meriadzek Trévélyan (golfe de Gascogne), *Bull. IGBA* 31 (1977) 75–122.
- [11] Lericolais G., Évolution Plio-Quaternaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime périglaciaire, thèse univ. Bordeaux-I, 1997, 265 p.
- [12] Martinson D.J., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C., Shackleton N.J., Age dating and the orbital theory of the ice ages, Development of a high resolution 0–300 000 years chronostratigraphy, *Quat. Res.* 27 (1987) 1–29.
- [13] Monaco A., Aloisi J.C., Bouye C., Got A., Mear Y., Bellaiche G., Droz L., Mirabile L., Mattiele L., Maldonado A., Le Calvez Y., Chassefiere B., Nelson H., Essai de reconstitution des mécanismes d'alimentation des éventails sédimentaires profonds de l'Ebre et du Rhône (Méditerranée occidentale), *Bull. IGBA* 31 (1981) 99–109.
- [14] Normark W.R., Damuth J.E., Sedimentary facies and associated depositional elements of the Amazon Fan, in : Flood R.D., Piper J.W., Klaus A., Peterson L.C. (éd.), *Proc. Oc. Dril. Prog., Sc. Res.*, 155, 1997, pp. 611–651.
- [15] Pujol C. Les foraminifères planctoniques de l'Atlantique nord au Quaternaire. *Ecologie-Stratigraphie-Environnement*, Mém. IGBA, 1980, 10, 1–254.
- [16] Ravenne C., Beghin P., Apport des expériences en canal à l'interprétation sédimentologique des dépôts de cônes détritiques sous-marin, *Rev. IFP* 38 (1983) 279–297.
- [17] Reynaud J.-Y., Tessier B., Proust J.-N., Dalrympe R., Bourillet J.-F., De Batist M., Lericolais G., Berné S., Marsset T., Architecture and sequence stratigraphy of a late Neogene incised valley at the shelf margin, southern Celtic Sea, *J. Sed. Res.* 69 (1999) 352–364.
- [18] Reading H.G., Richards M., Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system, *AAPG Bull.* 78 (1994) 792–822.
- [19] Shanmugam G., Moiola R.J., Types of submarine fan lobes: model and implications, *AAPG Bull.* 75 (1991) 156–179.