



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 487–494



Océanographic / Géologie marine

La vallée d'Ys : un paléoréseau hydrographique immergé en baie de Douarnenez (Finistère, France)

Gwénaél Jouet^a, Claude Augris^{b,*}, Bernard Hallegouët^c, Pascal Le Roy^a, Joël Rolet^a

^a Institut universitaire européen de la Mer, UMR 6538 « Domaines océaniques », place Nicolas-Copernic, 29280 Plouzané, France

^b Ifremer, « Géosciences marines », technopôle Brest-Iroise, BP 70, 29280 Plouzané, France

^c Université de Bretagne occidentale, département de géographie, BP 817, 29285 Brest cedex, France

Reçu le 6 janvier 2003 ; accepté le 1^{er} avril 2003

Présenté par Jean Dercourt

Résumé

L'interprétation de données de sismique réflexion acquises dans la baie de Douarnenez (Finistère) au cours de la campagne Canadou 2000 a permis la restitution de la morphologie du substratum et l'étude des remplissages sédimentaires. Le toit du substratum de la baie de Douarnenez révèle ainsi un réseau de paléovallées, entaillé lors de périodes d'émergence dans un soubassement sédimentaire briovérien et paléozoïque. Au cours des derniers interglaciaires, les invasions marines répétées déterminent la répartition des formations sédimentaires du domaine côtier, déposées successivement en conditions continentales, fluvio-estuariennes, puis marines. **Pour citer cet article :** G. Jouet et al., *C. R. Geoscience* 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Ys Valley: a submerged palaeoriver pattern in the Bay of Douarnenez (Brittany, France). Interpretation of the recent high-resolution survey, CANADOU 2000, in the Bay of Douarnenez (Finistère, France) allowed us to restore the morphology of the substratum and the sedimentary filling of the bay. The Brioverian and Palaeozoic substratum reveals a well-defined network of incised valleys as results of successive emergence stages of the Bay during the Quaternary. Valleys join in a westward-widened mean valley, called Ys Valley. The present-day sedimentary fill of the bay of Douarnenez appears mainly controlled by the Holocene rise and the consecutive highstand. It comprises fluvial and estuarine deposits filling up incised valleys and marine sedimentation extending out of the incised valleys. **To cite this article :** G. Jouet et al., *C. R. Geoscience* 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : baie de Douarnenez ; sismique ; Bretagne ; paléovallées ; paléorivages ; remplissages sédimentaires ; eustatisme ; Quaternaire ; France

Keywords : Bay of Douarnenez; seismic; Brittany; incised valley; palaeoshoreline; sedimentary filling; eustasy; Quaternary; France

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : Claude.Augris@ifremer.fr (C. Augris).

Abridged English version

This paper presents results based on the interpretation of the recent high-resolution survey, CANADOU 2000, in the bay of Douarnenez (Finistère, France). It allowed us to establish the morphology of the Palaeozoic substratum and the sedimentary filling of the bay.

1. Acquisition and methods

The site was surveyed using sparker system with numerical acquisition. 2400 km of seismic lines were recorded during the survey and provided a dense and full coverage of the bay. Data quality was enhanced by seismic processing (Sithere software, IFREMER). Numerical methods were used for seismic interpretation and allowed us to compute sedimentary thickness from respective locations of seafloor and acoustic basement. Elevation contour mapping of the acoustic basement was obtained by adding up the sedimentary thickness to the bathymetry corrected from tidal fluctuations. A kriging method was used for interpolation. The continental elevation contour mapping was finally merged with the marine contour mapping.

2. Incised valleys and marine terraces

Previous studies were incomplete or focused on the northern part of the Bay. They revealed a thin sedimentary cover, lying on a wide Brioverian eroded anticline fold, made of sedimentary and volcanic formations. This basement structure appeared affected by a regional N150 trending dextral strike-slip fault, the Kerforne fault. New results show that the Kerforne fault is not bounded by Tertiary basins, as was observed to the north and to the south of the bay (Chenal du Four, Bay of Concarneau). However, they reveal a well-defined network of incised valleys within the Brioverian substratum. Valleys extend from the North and the East of the bay and join into an ocean-ward widening and deepening mean valley, called the Ys valley. The notable incisions are interpreted as results of successive emergence stages of the bay during the Quaternary. Brioverian sedimentary formations were easily eroded. Incisions are connected to the present-day continental drainage basin surrounding the bay. Nevertheless, the weakness of the river channels leads to consider that

other more important rivers as the Odet or the Aulne River could have been connected to the bay during the Quaternary. They are today separated from the bay by topographic thresholds: the Argol threshold (+65 m) for the Aulne River and the Guengat threshold (+83 m) for the Odet River. Furthermore, the incised Brioverian substratum displays a succession of small platforms bounded by 2-m-high scarps and located at depths of –40, –35, –26/28, and –17 m below the mean sea level. They are believed to correspond to wave-cut terraces resulting from Quaternary emergence stages. The straightness of the scarp edging the terraces at a depth of –17 m coincides with the prolongation of the Kerforne fault through the bay and could result from a late reactivation of the fault.

3. Sedimentary bay fill

The sedimentary bay fill was characterised from identification of six seismic units visible on seismic lines crossing the mean valley. They lead to consider a multiphase sedimentary filling. The first stage corresponds to seismic unit U1 that fills up the base of incisions. It is topped by a major erosional unconformity extending through the Brioverian substratum at the edge of the incisions. Heterogeneous seismic facies of U1 are interpreted as channel-lag deposits and could correspond to coarse fluvial deposits. The partially preserved U2 unit, located on the upper edge of the incised valley, is also interpreted as fluvial deposits, but older than U1 deposits. The second stage is illustrated by setting up of U3 and U4 units within the incised valley. They are lying over the units U1, U2 or directly over the acoustic basement. They are made up of large-scale sigmoidal cross-beddings, interpreted as point-bar deposits. Both sequences have an estimated thickness up to 15 m. The lack of inner erosional surface and the important size of the sedimentary structures suggest that they correspond to tidal estuarine point-bar deposits. They are probably made of bioclastic coarse sediments as it was recovered through analogue sedimentary structures in the Bay of Brest ('Rade de Brest') located a few kilometres north of the Bay of Douarnenez. The basal unconformity at the base of the U3 and U4 units is thus interpreted as a tidal ravinement surface. Both units could have developed during the Holocene ma-

rine transgression. The mean depth of the widened Ys valley is about -40 m and corresponds to the approximate depth of the sea level at 10 kyr BP. U3 and U4 units are unconformably topped by U5 and U6 units extending out of the incised system. Homogeneous seismic facies of U5 showing continuous and horizontal reflectors is interpreted as a uniform and low-energy sedimentary environment. Corresponding deposits are believed to be mud, associated to the highstand system tract developed after stabilisation of the sea level at the end of the transgression. The U6 seismic unit displays locally low angle clinofolds, whereas its basal surface could correspond to wave ravinement surface developing in response to passage of shoreline across the estuarine deposits. Corresponding deposits are mainly sandy, as recovered by dredging at the seafloor.

The sedimentary fill of the bay of Douarnenez appears mainly controlled by Holocene rise and consecutive highstand. It comprises fluvial and estuarine deposits filling up incised valleys. Marine sedimentation developed through the bay in response to the highstand sea level. This type of sedimentary filling was also observed in the Bay of Vilaine, in southern Brittany, and in the 'Rade de Brest', close to Douarnenez. Signs of tectonic activity seem reduced through the bay and mainly restricted to possible small reactivation of the Kerforne fault, as suggest by geometry of marine terrace observed on seismic profiles at -17 m.

1. Introduction

La reconnaissance par des méthodes géophysiques de la partie septentrionale de la baie de Douarnenez (anse de Morgat) avait révélé [2] une faible couverture de sédiments meubles sur un substratum paléozoïque structuré au cours de la période hercynienne. Une couverture un peu plus épaisse (supérieure à la dizaine de mètres), au sud de Morgat, dans le prolongement de la vallée de l'Aber, avait alors suggéré l'existence d'un bassin tertiaire, contrôlé par la faille Kerforne N150. Les résultats présentés ici, pour l'ensemble de la baie, excluent cette hypothèse et mettent en évidence un système cohérent de paléovalées incisées au cours des périodes de bas niveau marin, puis immergées et comblées à chaque interglaciaire.

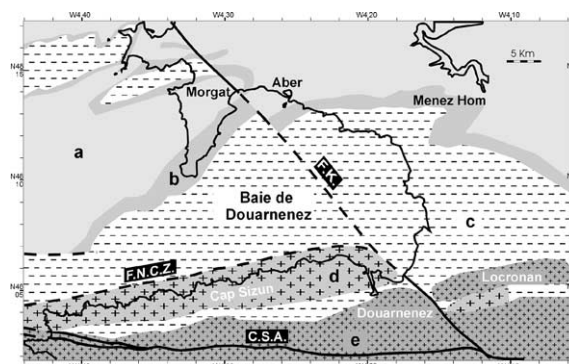


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de la baie de Douarnenez. Lithologie : (a) Paléozoïque indifférencié, (b) grès armoricain (Ordovicien inférieur), (c) schistes briovériens, (d) trondhjémite de Douarnenez, (e) leucogranite hercynien de Locronan. Fracturation : F.K., faille Kerforne ; F.N.C.Z., faille nord cap Sizun ; C.S.A., cisaillement Sud-Armoricain.

Fig. 1. Geologic map of the Bay of Douarnenez. Lithology: (a) Palaeozoic, (b) Ordovician sandstone of Brittany, (c) Brioverian shale, (d) Trondhjémite of Douarnenez, (e) Hercynian leucogranite of Locronan. Basement tectonics: F.K., Kerforne Fault Zone, F.N.C.Z., North Cap Sizun Fault Zone, C.S.A., South-Armorian Shear Zone.

2. Cadre géologique

La baie de Douarnenez est ceinturée par une ligne de hauteurs quasi-continue, armée au nord par la formation du Grès armoricain, d'âge Ordovicien inférieur, au sud par le massif leucogranitique hercynien de Locronan et par l'orthogneiss (trondhjémite) ordovicien de Douarnenez. Les formations sédimentaires et volcaniques plissées, du Briovérien supérieur, occupent la dépression centrale, qui correspond à un bombement anticlinal évidé par érosion. Ces formations sont prises en écharpe par une faille décrochante N150 dextre, dite accident Kerforne, jalonnée de bassins tertiaires entre la baie de Concarneau et le chenal du Four (Fig. 1). Au sud, la linéarité N80 des falaises du cap Sizun est imputable aux rejeux d'une faille hercynienne [6].

3. Acquisition et traitement des données

Les données de sismique Sparker (2400 km parcourus), acquises lors de la mission Canadou 2000 en baie de Douarnenez (Fig. 2), ont été améliorées à l'aide des logiciels de traitement sismique Sithere (Ifremer)

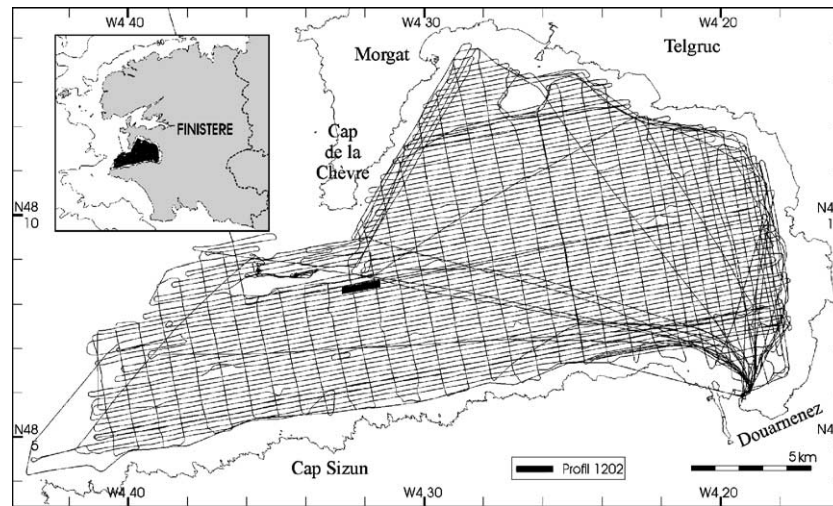


Fig. 2. Localisation des 167 profils de sismique réflexion (trait noir : profil 1202, interprété sur la Fig. 3).

Fig. 2. Location of the 167 seismic reflection lines (black line: line 1202, interpreted in Fig. 3).

et de géostatistique Isatis. Après une normalisation du signal, des filtres fréquentiels ont été appliqués, afin de limiter la bande passante à 75–1200 Hz et de rehausser le rapport signal/bruit, dégradé par de mauvaises conditions météorologiques lors de l'acquisition en mer. L'atténuation du signal avec la profondeur a été compensée grâce à un gain linéaire (TVG), ajustant l'objectif à l'étude de l'épaisseur et de la structure des sédiments meubles, ainsi qu'à celle de la morphologie du substratum rocheux sous-jacent.

Les sismogrammes (Fig. 3) ont été interprétés par la méthode numérique interactive « Sithere » et conformément aux principes de la stratigraphie sismique [10]. La modélisation morphologique du toit du substratum est réalisée à partir de l'addition des épaisseurs sédimentaires et de la bathymétrie corrigée des variations temporelles de marée. Les isobathes obtenues sont interpolées par krigeage paramétré grâce à un traitement géostatistique et constituent un modèle numérique de terrain du toit du substratum rocheux sous-marin (Fig. 4).

4. La paléovallée d'Ys

Les études antérieures, basées sur la seule morphobathymétrie marine, décrivaient une surface faiblement pentée vers l'ouest et entaillée par deux talwegs,

identifiables sous la couverture sédimentaire, dans le prolongement des ruisseaux de Kervijen et de l'Aber [4,7]. L'accident Kerforne, dont les rejeux au Cénozoïque ont ouvert de petits fossés [12], n'était pas identifié en mer, entre Douarnenez et Crozon. Les données présentées ici ne révèlent pas de bassins tectoniques, mais montrent un ensemble de chenaux, entaillés dans une plate-forme d'érosion aux dépens des formations du soubassement briovérien. Ces chenaux confluent pour former la paléovallée principale, encaissée et évasée vers l'extérieur de la baie de Douarnenez (Fig. 4); nous proposons de la dénommer Ys. Les incisions observées, 20 m d'encaissement pour 700 m de largeur, correspondent à une érosion de type continental, lors de périodes d'émersion, dans un matériel peu résistant à l'érosion linéaire : les schistes briovériens [8].

Le bassin versant correspondant à la baie de Douarnenez n'est actuellement parcouru que par des ruisseaux à faible débit, tels ceux de Kervijen, de Névet, de Port Rhu et de l'Aber. Mais des cours d'eau plus importants, comme l'Aulne et l'Odet, ont pu autrefois contribuer à l'évidement du bombement du Porzay. Cependant, les seuils topographiques d'Argol (65 m) et de Guengat (83 m), s'ouvrant vers l'est, n'ont pas conservé de témoins d'anciens cours de l'Aulne et de l'Odet et semblent abandonnés depuis bien longtemps. Il faut donc envisager un encaissement récent du ré-

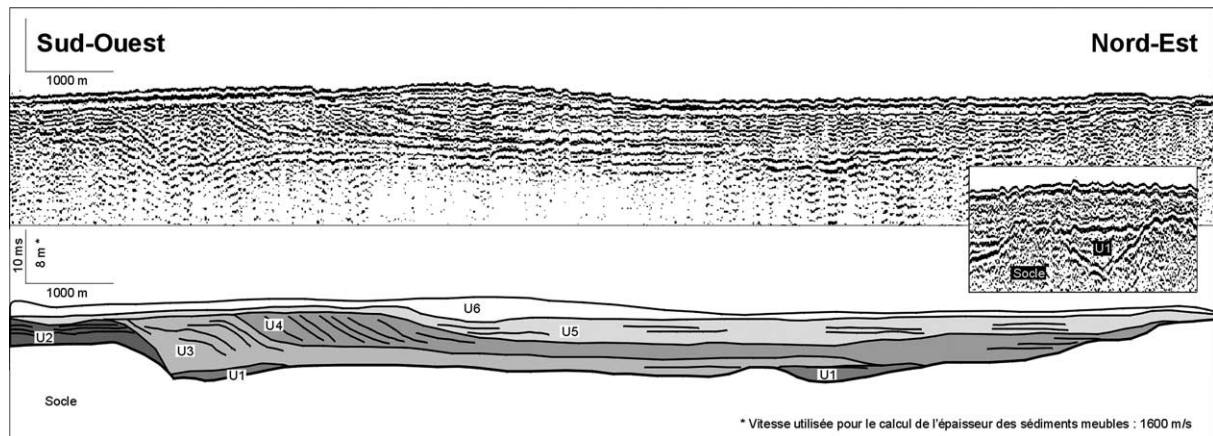


Fig. 3. Sismogramme type (profil 1202 localisé sur la Figs. 2 et 4) illustrant la succession complète des unités sismiques rencontrée dans la vallée d'Ys (le profil traité en haut et l'interprétation en bas).

Fig. 3. Representative seismogram (line 1202 located in Figs. 2 and 4), showing the complete stacking of seismic units seen through the Ys valley (top: processed line, bottom: interpretation).

seau hydrographique de la baie de Douarnenez, pendant les régressions marines associées aux glaciations du Quaternaire [7,11].

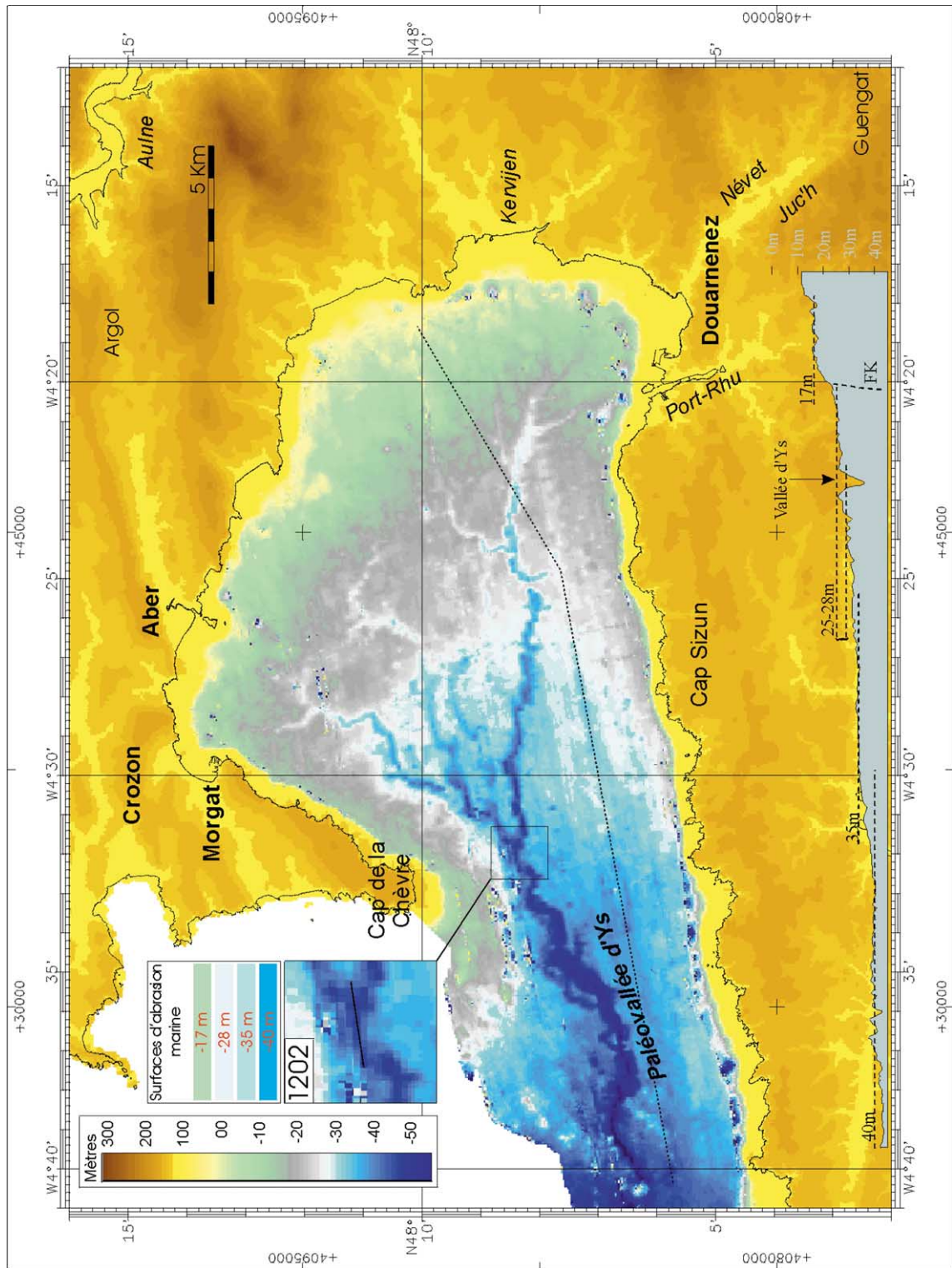
5. Les plateformes immergées

La morphologie du toit du substratum de la baie révèle aussi une succession de plate-formes peu couvertes de sédiments. Leurs niveaux, situés vers -40 m, à -35 m, à $-25/28$ m et à -17 m, sont interprétés comme des surfaces d'abrasion marines étagées (plattiers), circonscrites chacune par un ressaut de 1 à 2 m, à regard ouest. Il s'agit vraisemblablement de paléorivages établis lors de différents épisodes de stationnement de la mer au cours du Quaternaire. Le ressaut à -17 m, peu festonné, est situé dans le prolongement de la faille Kerforne, dont il pourrait témoigner d'un rejeu vertical.

6. Identification des unités sismiques

Six unités ont pu être individualisées à l'échelle de la baie, sur la base de la reconnaissance des faciès sismiques, des terminaisons des réflecteurs internes et de la détermination de leur forme externe. Le profil de référence, localisé au sud du cap de la Chèvre, montre l'empilement de ces unités (Fig. 3).

Au-dessus du socle briovérien, caractérisé par des réflexions chaotiques et discontinues, l'unité 1 (U1) constitue la base du remplissage sédimentaire et présente un caractère discontinu. Cette unité, dont l'épaisseur maximum atteint 8 m, nettement discordante sur le socle acoustique, montre une série de réflecteurs en biseaux d'agradation, comblant essentiellement la base des incisions dans le substratum. Son toit, à forte réflectivité acoustique, présente une géométrie plane et horizontale, affectée ponctuellement par des incisions secondaires. L'unité U2, de faible épaisseur (5 m au plus), est constituée par un ensemble de réflecteurs concordants, relativement continus, avec de fortes amplitudes et apparaissant localement en bordure du paléochenal principal. Les unités concordantes, U3 et U4, constituent l'essentiel du comblement des paléochenaux et leur base, délimitée par une surface de truncature, repose sur U1 ou U2, ou directement sur le substratum. L'épaisseur cumulée de ces unités varie entre 5 et 15 m. Leur faciès se caractérise essentiellement par des réflecteurs obliques, définissant des progradations de type sigmoïde au sein des sinuosités des paléochenaux. Les réflecteurs sont prolongés localement par des agradations, en position latérale sur les berges. La continuité et l'amplitude des réflecteurs internes de U4, plus homogène que U3, permettent de différencier ces deux unités, qui ne sont pas séparées par une discordance distincte érosive. Les unités U5 et U6 repré-



sentent les derniers épisodes de remplissages sédimentaires ; elles sont largement représentées dans la baie, et comblent les irrégularités du substratum, en dehors des chenaux. Discordantes sur les unités précédentes, leur puissance cumulée croît vers l'extérieur de la baie de 1 à 6 m. U5 est constituée par un ensemble de réflecteurs continus et horizontaux, alors que l'unité U6 est localement marquée par des cliniformes internes peu pentés, constituant un nappage superficiel de 1 à 3 m, au toit de U5.

7. Les épisodes du remplissage

L'analyse des remplissages sédimentaires des chenaux sur la base de l'interprétation des faciès sismiques nous amène à considérer un comblement polyphasé.

Une première étape correspond à la mise en place de l'unité U1, comblant les incisions du substratum. Son toit est limité par une surface érosive majeure, affectant aussi le soubassement briovérien. Les faciès sismiques hétérogènes de cette unité évoquent des dépôts grossiers, de fonds de talwegs, sables et cailloutis. Ces formations peuvent être interprétées comme des dépôts résiduels, *lag deposits*, transportés par traction en conditions fluviales [1,14]. L'unité U2, partiellement conservée et située en bordure de chenal principal, peut être interprétée également comme résultant de conditions de dépôt fluviale, mais rattachée à un autre épisode.

La deuxième étape correspond à la mise en place des unités U3 et U4, qui apparaissent génétiquement liées. Leur géométrie en barres progradantes vers le sud-est, sur le profil type (Fig. 3), traduit un comblement de chenaux méandriformes au sein de rives convexes, où se déposent des sédiments grossiers, dans un milieu d'énergie élevée. Leur importance et leur présence cantonnée essentiellement à la partie

aval évasée du système chenalissant, soulèvent des interrogations sur leur genèse. D'éventuels dépôts fluviaux d'épaisseur décimétrique, mis en place dans un régime méandriforme, présenteraient des surfaces d'érosion importantes, associées aux dernières régressions. L'absence apparente de ces surfaces rend difficile d'envisager un dépôt dans des conditions fluviales, et conduit plutôt à considérer une mise en place dans des conditions estuariennes, associée à une dynamique tidale. Au cours de la dernière transgression, la mer envahissant les vallées a alors imposé des mécanismes de dépôt proches des conditions fluviales [1]. Ainsi, la formation de barres de méandre devenait possible, bien que, dans ce cas, le matériel constituant ces structures sédimentaires présentât un caractère marin. Ceci a été observé au sein de carottes recoupant des barres de méandres de chenaux sous-marins de l'Aulne à travers la rade de Brest, au nord de la presqu'île de Crozon [9]. Ces dépôts correspondent donc aux unités U3 et U4, limitées à la base par une surface de ravinement tidale, incisant localement les formations sous-jacentes au sein du paléochenal. La profondeur moyenne de la zone évasée, comblée par les dépôts de *point bar*, se situe à -40 m, niveau où la mer a marqué un stationnement il y a environ 10 000 ans [3].

La troisième étape correspond aux dépôts des unités U5 et U6. L'unité U5 est interprétée comme un milieu de dépôt uniforme, associé à un faible hydrodynamisme. Elle peut être considérée comme une formation de haut niveau marin, constituée de matériel fin d'origine marine et de nature argileuse, mise en place lors de la stabilisation du niveau marin en fin de transgression. L'unité superficielle U6 représente le remaniement de matériel sableux sous l'action de la houle. Sa discordance basale matérialise la surface de ravinement de la houle dans des conditions proches de celles de l'Actuel.

Fig. 4. Modèle numérique de terrain de la baie de Douarnenez. Le domaine marin représente le toit du substratum rocheux (trait noir : profil 1202 interprété sur la Fig. 3, F.K. : faille Kerforne). Le relief de l'arrière-pays environnant a été établi à partir des cartes IGN. *Remarque : les formations superficielles et les altérites sont peu épaisses dans cette région ; le modèle numérique de terrain donne une bonne représentation du relief rocheux terrestre.*

Fig. 4. Numerical field model of the Bay of Douarnenez. The marine domain corresponds to the rocky substratum lines (black line: profile 1202 interpreted in Fig. 3). Present-day continental relief has been established from IGN data ('Institut géographique national', France). Note that superficial formations and weathered and decayed rocks are very thin in this domain; the continental numerical field model is in good agreement with the basement relief plot.

8. Conclusion

Le fond marin de la baie de Douarnenez se présente comme une surface faiblement pentée, avec de rares accidents rocheux et quelques dépressions dans le prolongement apparent du réseau hydrographique terrestre. Son substratum rocheux, essentiellement Briovérien, est affecté par l'accident Kerforne, dont l'activité récente a engendré, plus au sud, une succession de fossés tectoniques. Contrairement à la baie de Concarneau [5], la morphologie du substratum de la baie de Douarnenez ne montre pas de bassin tertiaire. La faille Kerforne n'y a eu que des rejeux limités, se traduisant entre autres par des anomalies dans le tracé du réseau hydrographique, ainsi qu'une relative linéarité du paléorivage vers -17 m.

Le paléorelief mis en évidence sous les sédiments montre un relief en creux insoupçonné, incisé en période d'abaissement du niveau de la mer, par l'encaissement d'un vaste réseau hydrographique, formant à l'origine un seul bassin versant pour l'ensemble de la baie et sa ceinture terrestre. Les formations remblayant ce paléoréseau fluvial se sont déposées en conditions estuarienne et marine. Cette configuration de remplissage mixte, déjà décrite en Bretagne du Sud [13], s'apparenterait également à celle de la rade de Brest, au nord de la presqu'île de Crozon [9]. L'influence marine est aussi marquée par l'érosion de platiers et le façonnement de paléofalaises, autant de témoins de stationnements de la ligne de rivage au cours du Quaternaire.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements, pour leur aide et leur conseils, à Marina Rabineau, Ronan Apprioual, Alain Normand, Yves Plusquellec et Pascal Talec.

Références

- [1] G.P. Allen, H.W. Posamentier, Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde Estuary, France, *J. Sediment. Petrol.* 63 (3) (1993) 378–392.
- [2] C. Augris, E. Houlgatte, J. Rolet, Carte des sédiments superficiels et carte géologique de la baie de Douarnenez : partie septentrionale, échelle 1:15 000, Ifremer, département du Finistère, 1988.
- [3] E. Bard, B. Hamelin, M. Arnold, L.-F. Montaggioni, G. Cabioch, G. Faure, F. Rougerie, Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Nature* 382 (1996) 241–244.
- [4] L. Collin, Les vallées sous-marines de la côte ouest du Finistère, *Bull. Soc. Océanogr. France* 78 (1934) 1361–1376.
- [5] Y. Delanoë, L. Lehebel, J.-P. Margerel, J.-P. Pinot, La baie de Concarneau est un bassin tectonique dans lequel d'épais dépôts du Lutétien supérieur ont été conservés, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 281 (1975) 1947–1950.
- [6] A. Guilcher, Le relief de la Bretagne méridionale de la baie de Douarnenez à la Vilaine, thèse, Paris, 1948, 682 p.
- [7] B. Hallegouët, La presqu'île de Crozon : évolution géomorphologique, *Historien-Géographe* 318 (1989) 141–148.
- [8] F. Hinschberger, R.-B. Pauvret, Les fonds marins de l'Iroise et de la baie de Douarnenez (Finistère) ; reconstitution d'un réseau hydrographique immergé, *Norvis* 58 (1968) 213–225.
- [9] N. Marty, Apports de la sismique très haute résolution à l'étude du système de paléovallées en rade de Brest, DEA, université de Bretagne occidentale, Brest, 1994, 41 p.
- [10] J.R. Mitchum, P.R. Vail, J.B. Sangree, Stratigraphic interpretation of seismic reflection pattern in depositional sequences, in: C.E. Payton (Ed.), *Seismic Stratigraphy, Application to hydrocarbon exploration*, *Am. Assoc. Petrol. Mem.* 26 (1977) 117–134.
- [11] R. Musset, La formation du réseau hydrographique de la Bretagne occidentale, *Ann. Géogr.* 246 (1934) 561–578.
- [12] Y. Plusquellec, J. Rolet, J.-R. Darboux, Carte géol. France (1:50 000), feuille Châteaulin (310), BRGM, Orléans, 1999.
- [13] J.-N. Proust, D. Menier, F. Guillocheau, P. Guennoc, S. Bonnet, D. Rouby, C. Le Corre, Les vallées fossiles de la baie de la Vilaine : nature et évolution du prisme sédimentaire côtier du Pléistocène armoricain, *Bull. Soc. géol. France* 172 (6) (2001) 737–749.
- [14] B.A. Zaitlin, R.W. Dalrymple, R. Boyd, The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change, in: R.W. Dalrymple, R. Boyd, B.A. Zaitlin (Eds.), *Incised-valley systems: origin and sedimentary sequences*, in: *SEPM Spec. Publ.*, Vol. 51, 1994, p. 391.