

Distribution des formations superficielles intertidales de l'archipel de Chausey (Manche)

Jérôme Fournier* (1)
Laurent Godet (1)
Chantal Bonnot-Courtois (2)
Agnès Baltzer (3)
Bruno Caline (4)

Intertidal sediment distribution of the Chausey archipelago (The Channel, France)

Géologie de la France, n° 1, 2009, p. 5-17, 6 fig.

Mots-clés : Sédiment marin, Milieu littoral, Figures sédimentaires, Archipel de Chausey, Manche.

Key words: Marine sediment, Nearshore environment, Sedimentary features, Chausey Archipelago, English channel.

Résumé

La distribution des formations superficielles de l'estran de l'archipel de Chausey (Manche) a été établie à partir d'analyses granulométriques et calcimétriques d'échantillons sédimentaires prélevés sur l'ensemble du domaine intertidal et dans le proche domaine subtidal et de l'étude de la morphologie de l'estran et des petits fonds basée sur une mosaïque photographique associée à une campagne de prospection au sonar à balayage latéral. Cette étude a été menée dans le cadre du Programme National Environnement Côtier (PNEC) qui s'est déroulé de 2004 à 2007. En domaine intertidal, la répartition des faciès sédimentaires est complexe en raison du régime hydrodynamique particulièrement fort de la région, lié à l'amplitude exceptionnelle des marées (marnage de 14 m en vive eau). Le domaine infralittoral proche présente quelques accumulations de sables bioclastiques et terrigènes et de dépôts phycogènes (maërl) et zoogènes qui se rencontrent entre 5 et 15 m de profondeur. La multitude d'affleurements rocheux isolés, de platiers et la prédominance de sédiments grossiers sur l'ensemble du secteur cartographié témoignent de la puissance des agents hydrodynamiques dans cette zone (courants de marée et houles). D'autre part, l'archipel de Chausey offre une grande variété de formes sédimentaires dont des bancs de maërl à l'Est qui se développent dans des secteurs moins soumis aux fortes agitations. Il se caractérise aussi par la coexistence de deux systèmes de dépôts : l'un terrigène, d'origine proximale, localisé principalement dans la partie occidentale ; l'autre carbonaté, d'origine distale mais aussi proximale, situé dans la partie orientale. Cette production carbonatée est

*particulièrement abondante compte-tenu du milieu tempéré et de la présence de biocénoses intertidales comme les herbiers de phanérogame marine (*Zostera marina*) et des banquettes à lanices (*Lanice conchilega*), qui modifient localement les conditions de sédimentation.*

Abstract

The distribution of the superficial sedimentary deposits of the Chausey archipelago has been studied by means of grain size and carbonate content analysis on subtidal and intertidal facies. The landform analysis of intertidal and shallow-water areas was achieved using a combination of a mosaic of aerial photographs and side-scan sonar data. This study was part of the French National Coastal Environment Program (PNEC) which was conducted from 2004 to 2007. The extreme tidal regime of the study area, which has 14 m tidal range during high spring tides, induces strong tidal currents. The intertidal sedimentary deposits have a complex distribution linked to the wide range geomorphological diversity of the small islands. The subtidal zone shows various bedforms between 5 and 15 m water depths. The archipelago is characterized by numerous rocky outcrops and very coarse sediments widely distributed over the mapped area; this abrasion platform is submitted under very high hydrodynamic conditions and consequently has a poorly developed sedimentary prism. Two systems of deposit occurs: the first one, located in the western part of the archipelago, is proximal and terrigenous whereas the other one, dominating the eastern part of Chausey, is distal and has a high carbonate content. The Chausey carbonate production is extremely abundant given its temperate

(1) CNRS, UMR 7208 BOREA, CRESCO MNHN, 38 rue du Port-Blanc, 35801 Dinard cedex

(2) CNRS, UMR 8586 PRODIG, Laboratoire de Géomorphologie et Environnement littoral EPHE, 15 boulevard de la mer, 35800 Dinard

(3) Université de Caen Basse-Normandie, UMR 6143, M2C 2-4 rue des tilleuls, 14000 Caen

(4) TOTAL, CSTJF, Carbonate & Sedimentology Group, BA2083, av. Larribau, 64018 Pau cedex

*Auteur pour correspondance - Corresponding author: fournier@mnhn.fr

environment and the presence of intertidal benthic communities that may play an active role in the sedimentation such as seagrass meadows (*Zostera marina*) or worm bioherms (*Lanice conchilega*).

Introduction

Dans le cadre de plusieurs programmes scientifiques récents portant sur la distribution des habitats benthiques à l'échelle du golfe normand-breton (REBENT, PNEC, CNES-IFEN, Natura 2000) des campagnes de prospection de l'estran et des petits fonds ont été réalisées sur l'archipel de Chausey. La cartographie des formations superficielles concerne essentiellement le domaine intertidal, largement découvrant dans ce secteur à très fort marnage, mais aussi le proche domaine infralittoral et précisément les chenaux qui structurent l'archipel en trois ensembles distincts. Les techniques utilisées comprennent la cartographie de la zone intertidale par l'analyse d'une mosaïque ortho-photographique, des levés et des prélèvements sur le terrain et la reconnaissance des fonds des chenaux à l'aide d'un sonar à balayage latéral auquel ont été associés des prélèvements à la benne Shipek (Augris *et al.*, 1996).

L'objectif de cette étude est de décrire la nature et la morphologie de l'estran et des chenaux afin d'identifier les grandes structures morpho-sédimentaires qui caractérisent cet archipel assez peu étudié jusqu'alors. Après une présentation générale du site, les techniques utilisées seront décrites ainsi que l'origine des données ayant servi de base à l'élaboration de la carte morpho-sédimentaire (Fournier *et al.*, 2007a). Les principaux résultats obtenus sont interprétés en relation avec les caractéristiques hydrodynamiques du golfe normand-breton.

1. Géologie et bâti structural

L'archipel de Chausey est situé dans le golfe normand-breton à 5 milles à l'Ouest de Granville et à 10 milles au Nord de Saint-Malo (Fig. 1). Il a fait l'objet de plusieurs études concernant la géologie de son substratum rocheux (Doré *et al.*, 1988 ; Hommeril, 1967 ; Jonin, 1978). En revanche, la couverture sédimentaire de l'estran et des

fonds marins associés n'a fait l'objet que d'une seule étude menée par Fortin (1972). L'archipel s'étend d'est en ouest sur 12 km et du nord au sud sur 5,5 km. Il compte 52 îlots toujours émergés d'une superficie totale de 82 hectares (dont 49 pour Grande-Île) ; 38 îlots sont végétalisés et 14 des rochers nus. L'estran s'étend sur plus de 1 995 hectares et présente des caractéristiques géomorphologiques particulières qui s'expliquent par la géologie de l'archipel et les paramètres hydrodynamiques du golfe normand-breton (Le Hir *et al.*, 1986a).

L'archipel de Chausey constitue l'affleurement d'un massif intrusif de granitoïdes datés à 596 ± 12 Ma mis en place au Cadomien au sein de roches encaissantes briovériennes qui n'affleurent pas (Jonin, 1978). Il appartient au pluton fini-cadomien de la Mancellia (Doré *et al.*, 1988). Jonin (1978) a montré que le massif est constitué par une granodiorite avec injection centrale d'un granite porphyroïde tardif. Ce massif a été brisé en trois blocs par

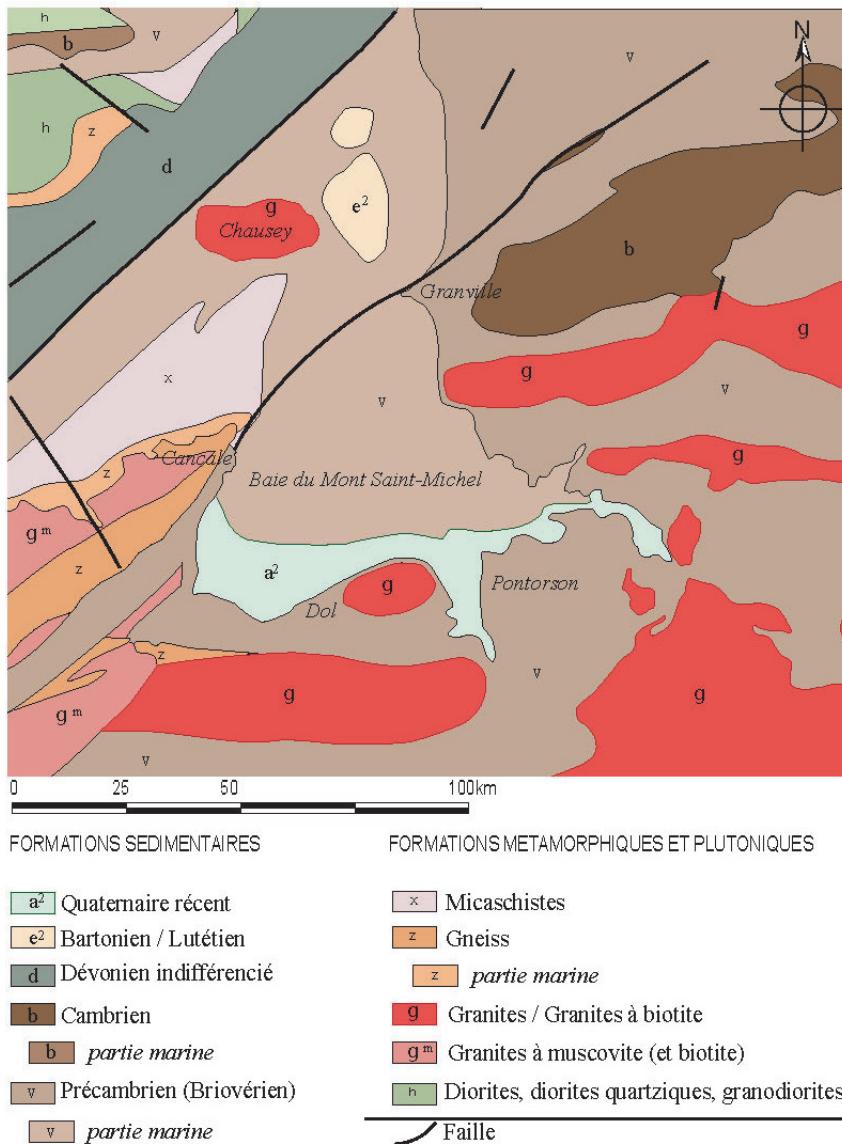


Fig. 1 - Carte géologique simplifiée du fond du golfe normand-breton (d'après Boillot *et al.*, 1974).
Fig. 1 - Geological map of the normand-breton gulf (from Boillot *et al.*, 1974).

un jeu de failles normales orientées SE-NW et son extension sous la mer correspond approximativement à l'isobathe -10 mètres (cote marine). Ces deux couloirs de failles sont empruntés actuellement par les grandes passes que sont le Chenal de Beauchamp à l'est et le Sund à l'ouest, profondes d'une dizaine de mètres au maximum. Le secteur occidental correspond au bloc le plus haut ; on y trouve les îlots les plus étendus et les plus élevés, dont Grande-Île (24 m). La granodiorite a été exploitée depuis plusieurs siècles pour la construction du Mont Saint-Michel et jusqu'à la reconstruction de la ville de Saint-Malo après la seconde guerre mondiale ; l'archipel constitue ainsi l'une des plus vastes carrières marines de France. De très nombreux fronts de taille sont encore visibles sur l'ensemble des platiers rocheux de Chausey.

Trois secteurs peuvent être distingués :

- le secteur oriental de l'archipel qui est composé de sables grossiers bioclastiques et ne compte que peu d'îlots ;
- le secteur central autour du Sund qui est formé de vase sableuse avec une fraction grossière lithoclastique très variable ;
- le secteur occidental, le plus élevé (20-30 m), qui compte de très nombreux îlots et îlots et présente des sédiments très hétérogènes, allant des sables vaseux et sables moyens coquilliers jusqu'aux sables grossiers lithoclastiques.

2. Contexte hydrodynamique

La marée est l'agent hydrodynamique majeur qui commande l'essentiel des mouvements des masses d'eau dans le golfe normand-breton. L'onde de marée venant de l'océan Atlantique est diffractée par l'effet barrière de la presqu'île du Cotentin, entraînant la formation d'une onde stationnaire qui augmente l'amplitude de la marée. Les amplitudes de marée croissent du nord du golfe normand-breton (6 m en vive-eau moyenne) vers la baie du Mont Saint-Michel (12 m en vive-eau moyenne). Les règles de distribution des sédiments marins du golfe normand-breton obéissent principalement à celles de la répartition des vitesses maxima des courants relevés en vive-eau. Partant des zones du large à forte énergie, les courants s'affaiblissent graduellement vers la baie du Mont Saint-Michel, amenant la mise en place de dépôts graveleux, puis sableux, voire vaseux selon un gradient granulométrique décroissant du Nord au

Sud (Bonnot-Courtois *et al.*, 2002) (Fig. 2). À l'échelle du golfe, les changements rapides de bathymétrie dans les secteurs de hauts-fonds (plateau des Minquiers, archipel de Chausey) engendrent des disparités de directions des vecteurs des courants résiduels qui se présentent sous la forme d'une succession de tourbillons anticycloniques et cycloniques (Garreau, 1993).

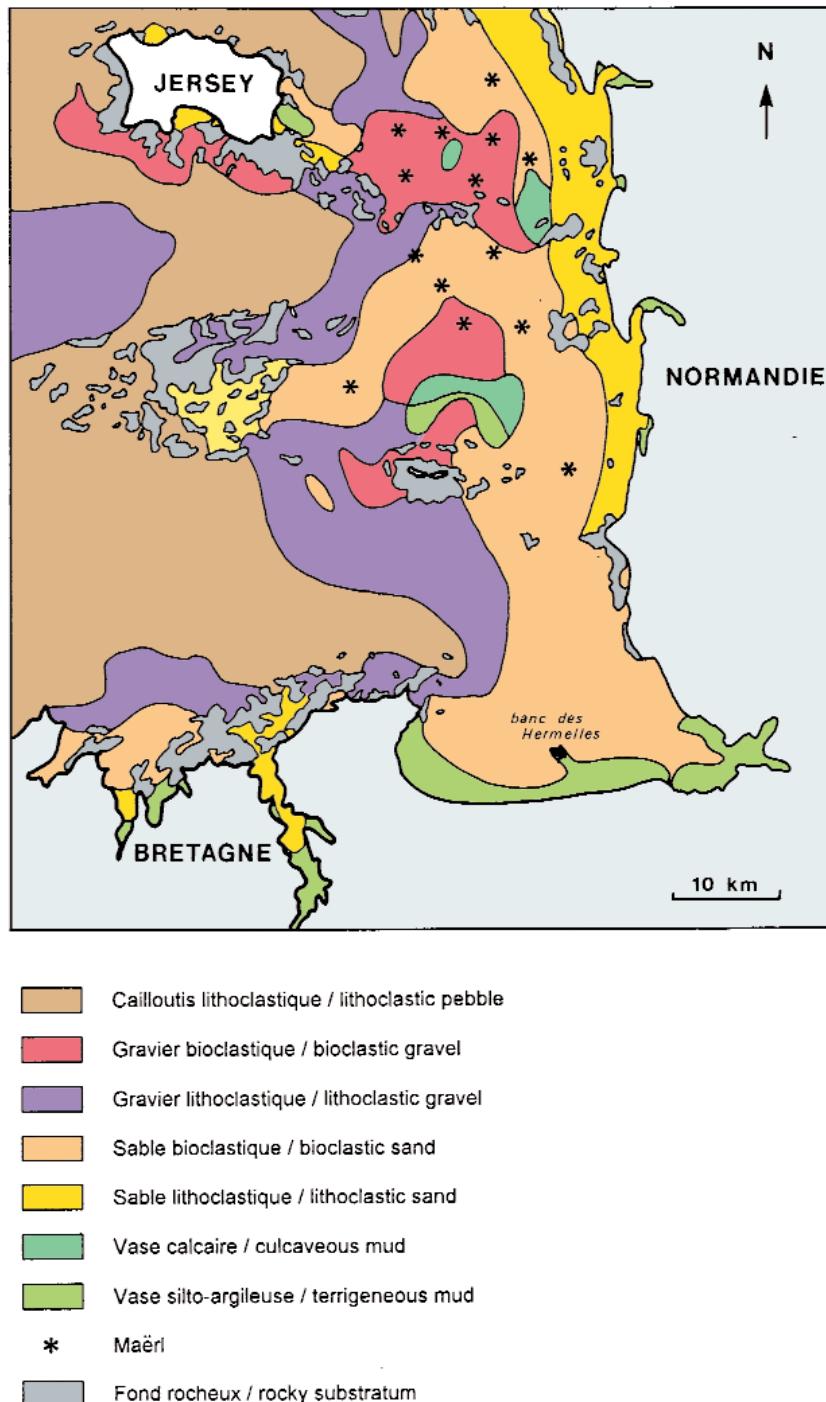


Fig. 2 - Localisation de l'archipel de Chausey et répartition des sédiments superficiels dans le golfe normand-breton (extrait de Vaslet *et al.*, 1979 in Bonnot-Courtois *et al.*, 2002).

Fig. 2 - Location of the Chausey archipelago and distribution of superficial sediments in the normand-breton gulf (extract from Vaslet *et al.*, 1979 in Bonnot-Courtois *et al.*, 2002).

À Chausey, le régime de marée est mégatidal, avec une amplitude atteignant 14 mètres lors des marées de vives-eaux exceptionnelles. En raison de ce très fort marnage, les courants sont particulièrement puissants et peuvent atteindre localement 3 m/s. Ils modèlent profondément l'estran et les petits fonds, en créant des figures sédimentaires variées (ripples-marks, structures linguoidales, ridins, rides et mégarides de 1 à 30 m de longueur d'onde, langues sableuses, queues de comètes...) en raison de la présence de la multitude d'îlots et d'écueils présents sur l'archipel. Ces courants contribuent, dans la partie orientale plus exposée, à la mise en place de vastes bancs de sables moyens à grossiers, souvent bioclastiques, nettement visibles sur les photographies aériennes. À l'inverse, on observe dans la partie centrale et surtout dans le secteur occidental, plus protégé des houles et des courants, des dépôts de sédiments plus vaseux.

Les roses de courant de marée, établies par le SHOM, présentent deux caractéristiques : au SE de l'archipel, entre Granville et Chausey, les courants sont de type giratoire ; au SSW de Chausey, ils sont de type alternatif, orientés selon un axe WNW-ESE avec une prédominance des courants de flot vers le SE. Même près du fond, les vitesses de courant sont suffisantes pour mettre en mouvement des sables grossiers, voire des petits graviers ainsi que des débris calcaires (maërl) de taille encore plus importante mais plus facilement mobilisables en raison de leur forme et leur densité (Ehrhold, 1999). Autour de l'archipel, la circulation résiduelle se présente sous forme de courants tourbillonnaires dont les vitesses ont été estimées à 10 m/s (Le Hir *et al.*, 1986b ; Garreau, 1993).

Les houles, mesurées entre 1990 et 1992 au large de Saint-Malo, ont une hauteur significative comprise entre 0,50 et 0,70 m, une période moyenne d'environ 5 secondes et proviennent majoritairement du secteur WNW (STNMTE, 1995).

3. Méthodologie

La cartographie des formations superficielles a été établie à partir de la photo-interprétation d'une mosaïque orthophotographique de 2002 (mission spéciale IGN 2002 FR 5539/100 C), validée par des campagnes de prélèvement réalisées entre 2002 et 2005 (Cotonnec *et al.*, 2005 ; Fournier *et al.*, 2005). Les photographies aériennes constituent un outil indispensable pour l'analyse géomorphologique des zones intertidales et les zones faiblement immergées (Bonnot-Courtois *et al.*, 2004, 2005a, 2005b). Les prises de vues ont été réalisées au moment de la basse mer de vive-eau du 13 août 2002 dans des conditions optimales d'observation des estrans alors très largement découverts. La morphologie des plages apparaît clairement et l'identification des structures morpho-sédimentaires a été possible même dans les petits fonds immergés inaccessibles au sonar.

L'échantillonnage a été effectué en 384 stations régulièrement réparties sur l'ensemble du domaine

intertidal et localisées à l'aide d'un GPS (MLR SP24XC) d'une précision de l'ordre de ± 5 m (Fig. 3). Les données photographiques, les observations de terrain et les résultats sédimentologiques sont intégrés dans un SIG (Système d'Information Géographique) utilisé pour l'élaboration des cartes. Les prélèvements ont été effectués à la seringue sur une épaisseur de 8 à 10 cm. L'analyse granulométrique classique a été effectuée sur colonne de tamis après séparation des fractions fines (< 40 µm) par tamisage sous eau. Les statistiques associées aux granulométries ont été calculées à l'aide du programme Gradistat 4.0 (Blott et Pye, 2001), modifié par Fournier (non publié) pour utiliser la norme AFNOR (Gradistat 4.1), via la méthode de Folk et Ward (1957). La classification granulométrique adoptée est analogue à celle de Wentworth (1922) (Textural Groups) et les faciès sédimentaires correspondants sont reportés en légende de la carte. Les teneurs en CaCO₃ des sédiments ont été déterminées par la méthode du calcimètre Bernard sur l'ensemble du sédiment et/ou sur la fraction fine quand elle était présente.

Les principaux chenaux de l'archipel ont été cartographiés à partir des données d'un sonar à balayage latéral associées à des prélèvements d'échantillons afin de calibrer les images acoustiques (Baltzer *et al.*, 2004, 2005). Le sonar à balayage latéral permet une reconnaissance en continu des fonds marins et fournit une image acoustique qui permet l'identification des différentes formations et la morphologie détaillée des figures sédimentaires (Augris et Clabaut, 2001). Le sonar utilisé est du type EdgeTech 270 TD dont la résolution horizontale est de l'ordre de 30 cm. Le sonar à balayage latéral émet, grâce à deux transducteurs situés de part et d'autre de son axe, une onde acoustique de très haute fréquence (100 kHz ou 500 kHz) qui se réfléchit sur l'interface eau-sédiment, pénétrant de quelques centimètres au maximum dans les sédiments. Les différents tons de gris sont fonction du coefficient de rétrodiffusion du fond. L'intensité de ce coefficient est liée à trois paramètres : la nature du fond, la topographie et l'état de compaction du sédiment.

Les images sont réalisées en continu le long de profils de navigation sub-parallèles et sont géoréférencées avec un GPS différentiel (Trimble Pathfinder Pro XRS). Les images acoustiques (traitées grâce aux logiciels Isis Sonar® et DelphMap®) ne donnent pas d'informations formelles sur la nature des formations superficielles rencontrées. L'ensemble de la zone prospectée au sonar latéral a fait l'objet de 26 prélèvements de sédiments à l'aide d'une benne de type Shipek afin d'associer aux différentes réponses acoustiques des classes de sédiment.

4. Résultats

4.1. Le domaine intertidal

La cartographie des formations superficielles intertidales montre deux domaines sédimentaires, séparés par une ligne NW-SE partant du Nord de Plate-Île vers le Sud d'Aneret (Fig. 4). La partie occidentale, nettement plus

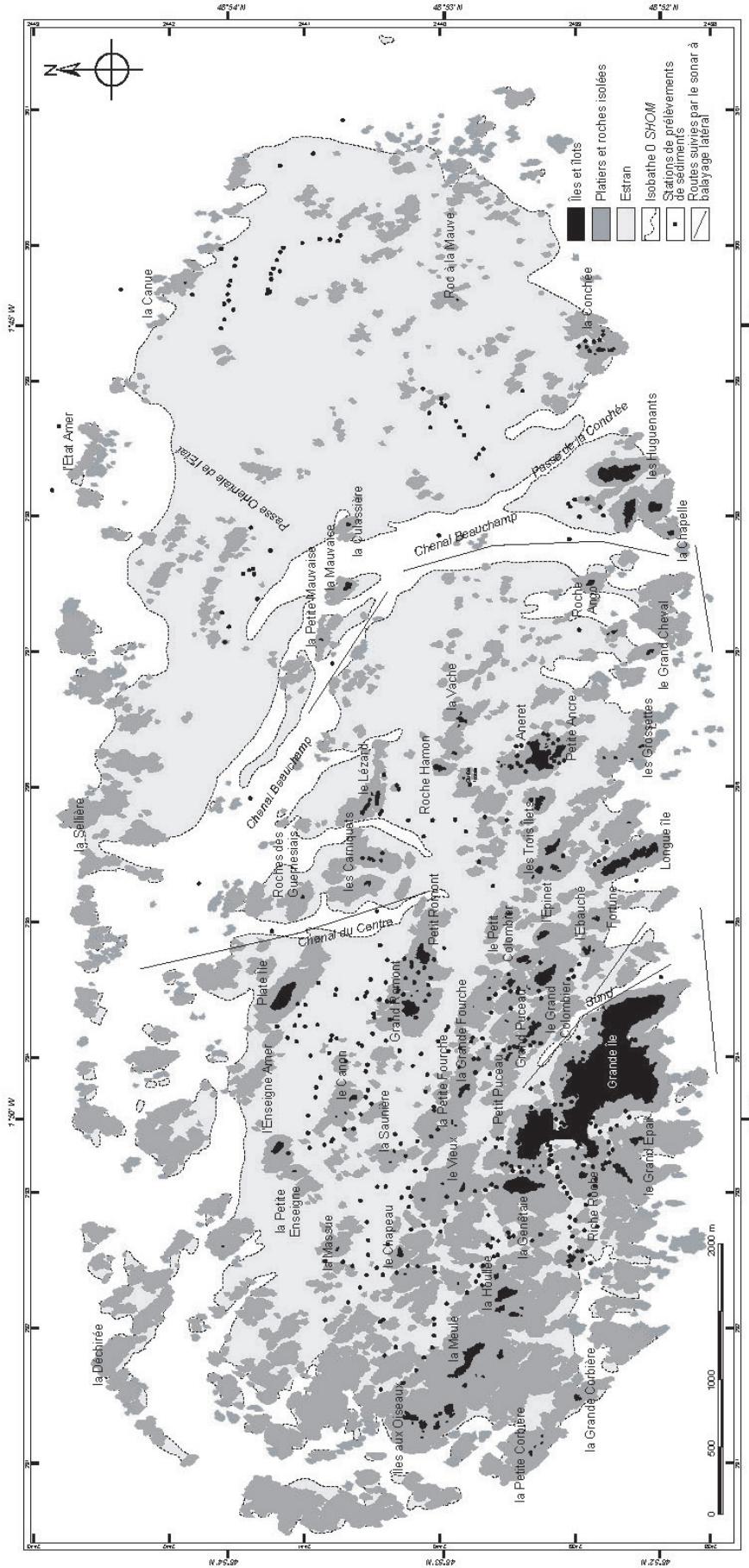


Fig. 3 - Plan de positionnement des données : prélèvements sédimentologiques et transects par sonar latéral.
Fig. 3 - Location map for the sedimentological samples and the side-scan sonar data.

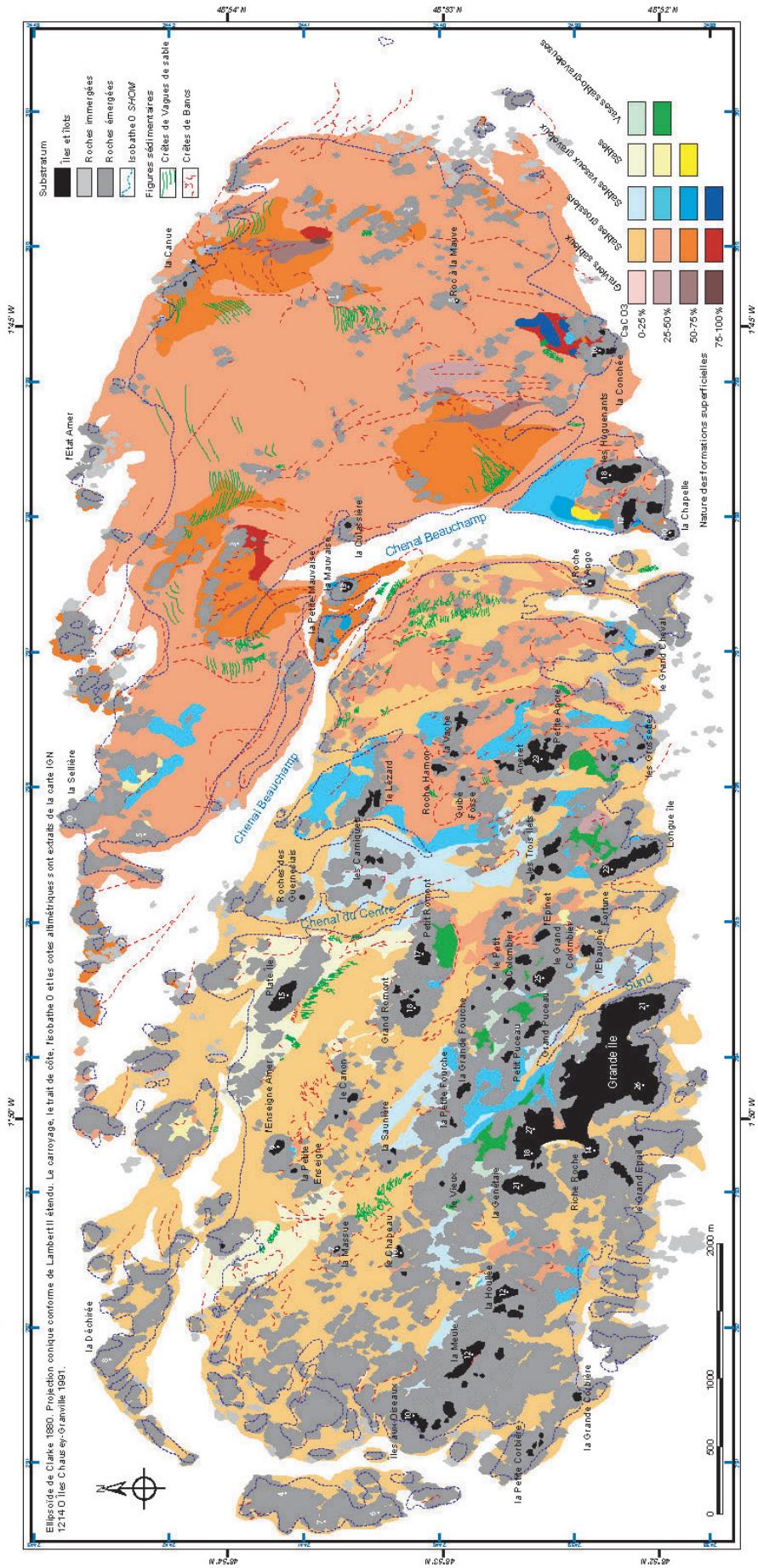


Fig. 4 - Morpho-sédimentologie des formations superficielles de l'archipel de Chausey.

Fig. 4 - Morpho-sedimentology of superficial deposits of the Chausey archipelago.

protégée par des platiers rocheux et des îlots, présente des dépôts à dominante silico-clastique issus du remaniement des arènes. La granulométrie de ces sédiments est très variée puisque l'on passe des silts autour du Sund à des sables grossiers près du Chapeau notamment, les sables moyens à grossiers étant dominants dans ce secteur. La partie orientale, relativement uniforme, comprend pour l'essentiel des sédiments grossiers biolithoclastiques et bioclastiques qui sont proches de ceux rencontrés dans le domaine subtidal peu profond.

Le secteur occidental est presque entièrement recouvert de sables et de vases lithoclastiques. Les sables, fins au Nord-Est, grossiers au Nord-Ouest, graveleux au Sud, enserrent complètement les vases qui ne se maintiennent que dans la partie centrale, abritée des courants de marée et des houles. Cette vase sableuse comporte une fraction grossière de graviers et peut ponctuellement passer (secteur du Grand Puceau/Grand Colombier) à un sable vaseux enrichi en carbonates (CaCO_3 jusqu'à 50 %). En outre, au débouché du chenal du Sund, se situe un dépôt vaseux exceptionnellement riche en calcaire ($\text{CaCO}_3 > 75\%$).

Ces dépôts vaseux sont généralement colonisés par des algues vertes (*Vaucheria* spp., *Enteromorpha* spp.) et une phanérogame marine (*Zostera noltii*) qui exercent une rétention préférentielle des particules fines pouvant aller jusqu'à la formation de mattes d'épaisseurs variables. Les secteurs les plus élevés sont colonisés par plusieurs espèces halophiles typiques du schorre (*Salicornia* spp., *Suaeda vera*, *S. maritima*, *Spergularia media*, *Limonium vulgare*, *Aster tripolium*, *Atriplex portulacoides*...).

Le secteur oriental est composé de sables grossiers à forte teneur en carbonate. Les bancs sableux situés au sud de La Canue, par exemple, contiennent 50 à 70 % de maërl qui comprend soit des colonies denses de *Lithothamnium corallioïdes* sous forme de fragiles arbuscules, soit de *L. calcareum*, le plus souvent à la périphérie des nappes, qui génère des nodules de type oncolithe. En général, la proportion de maërl vivant n'atteint qu'exceptionnellement 50 % du total du maërl dragué. Elle est proche de 20 à 30 % au nord de l'archipel et ne dépasse pas 15 % au Sud-Est de l'archipel. La zone de maërl vivant se situe donc essentiellement au nord de l'archipel comme l'a déjà montré Ehrhold (1999). Ces accumulations phycogènes peuvent atteindre près de 8 m d'épaisseur dans la zone située au sud de la Canue constituante des bancs orientés selon un axe NW-SE, dans le sens de la composante résiduelle du flot. L'emprise totale des bancs bioclastiques ($\text{CaCO}_3 > 50\%$), situés dans l'Est de l'archipel, représente une surface de 212 hectares environ. L'épaisseur de ces bancs est très variable dans le temps et dans l'espace mais est toujours pluri-métrique, le banc dit de « La Canue » étant le plus important de tous.

La partie orientale des îles Chausey est prise en écharpe par ces dépôts bioclastiques, mais ils ne sont réellement phycogènes qu'en quelques points et surtout à l'entrée nord du chenal de Beauchamp. Les autres dépôts

sont zoogènes avec, localement, des placages de sable grossier litho-bioclastique ou, au centre du platier, de sable litho-vaseux. Au Nord-Est, des dépôts fins de type sablons sont liés aux installations mytilicoles.

4.1.1. Faciès sédimentaires

L'ensemble du domaine intertidal et proche subtidal de l'archipel de Chausey comprend plusieurs faciès principaux allant des vases sableuses aux graviers présents dans les bancs de l'Est.

Les vases sablo-graveleuses, dont le mode principal est inférieur à 63 µm, ont un taux moyen de calcaire oscillant entre 15 et 20 %. Localement, certaines vases présentent un taux proche de 25 à 50 %, notamment à la périphérie des deux principales vasières de haut estran de l'archipel : autour du Sund et celle localisée au Sud du Petit Romont, près du Grand Colombier, à l'Est de Longue Île et au Sud d'Aneret. Ces vasières ne sont pas pures et contiennent presque systématiquement une part importante de sables moyens à grossiers, voire des graviers. La vasière située au Nord de Grande-Île et à l'Est du Grand Puceau est recouverte par un fucus vasicole *Fucus lutarius*.

Le groupe des sables fins (63-250 µm) et moyens (250-500 µm) a une teneur en calcaire comprise entre 30 et 50 % ; seules deux zones situées de part et d'autre du Vieux ont des teneurs inférieures à 30 %, tandis qu'à l'Ouest des Huguenants, ces valeurs s'élèvent à plus de 50 %. Ces sables se situent généralement à proximité immédiate des vasières précédemment décrites, mais à des niveaux bathymétriques inférieurs. Leur répartition est plus dispersée que celle des vasières. Leur principale extension se trouve dans un vaste secteur de part et d'autre de Plate-Île et sous forme de petites taches isolées au Sud de l'Epinet et au Nord du Grand Romont.

Les sables vaseux à graviers, dont le mode principal est compris entre 200 et 500 µm, peuvent avoir des teneurs en vase extrêmement variables (entre 2 et 30 %), et des teneurs en carbonates entre 10 et 95 %. Ces sédiments se répartissent en plusieurs points de l'archipel sous forme de bandes plus ou moins continues. Quatre principaux secteurs peuvent être identifiés. Le secteur situé autour du Sund comprend des sables vaseux-graveleux qui ont des taux de carbonates compris entre 10 et 50 %. Comme pour les sables fins et moyens, ces faciès sont localisés à des niveaux bathymétriques plus bas que les vasières précédemment décrites. Le secteur situé près des îlots de l'Ouest (Île aux oiseaux, La Meule, La Houlée) est plus morcelé et est composé de sédiments moins carbonatés (20 % en moyenne). Le secteur central situé au Nord de Longue-Île jusqu'aux Roches des Guernesiais et d'Aneret jusqu'au Lézard constitue un ensemble continu généralement plus fortement bioclastique (30 % en moyenne). Enfin, le secteur situé au nord des Huguenants, colonisé par un herbier de phanérogame marine (*Z. marina*), possède un taux de carbonate pouvant atteindre 60 %. D'autres secteurs, moins étendus, se localisent au Nord de l'archipel (Sud de

la Sellière) et au Nord de la Conchée. Ce dernier secteur est tout à fait remarquable du fait de sa teneur exceptionnellement élevée en CaCO_3 (85 %).

Les sables grossiers, constitués par la classe granulométrique comprise entre 500 µm et 2 mm, sont les sédiments dominants de l'archipel et couvrent, de loin, la plus grande superficie. On peut séparer cet ensemble en deux sous-ensembles. Le secteur occidental est très largement dominé par des sédiments avec un taux de carbonates compris entre 5 et 25 %, exception faite de larges secteurs plus bioclastiques situés à l'Est du Petit Colombier, autour de la Roche Hamon et à l'Est d'Aneret/Petite Ancre. Ce dernier secteur fait la transition avec le secteur oriental à sédimentation nettement plus bioclastique (25 à 75 % de carbonates) qui peut atteindre des teneurs de 80 à 95 % vers la Canue, la Conchée et au Nord de la Mauvaise.

Les graviers sableux, dont le mode principal est supérieur à 2 mm, se localisent dans la partie orientale de l'archipel et forment des bancs orientés nord-sud. Il s'agit du banc de la Canue et celui situé à l'Ouest du Roc à la Mauve. Les taux de carbonates sont élevés, supérieurs à 25 %, mais atteignent généralement 50 à 75 %. Les sables de l'extrémité sud du banc de la Canue contiennent près de 90 % de carbonates.

4.1.2. Figures sédimentaires

L'interprétation de la mosaïque orthophotographique met en évidence la morphologie et l'orientation des figures sédimentaires de l'estran de l'archipel (Fig. 5). Ces figures sédimentaires peuvent être classées en deux types : les figures transversales qui se caractérisent par une succession de lignes de crêtes perpendiculaires aux courants et à la houle et les figures longitudinales qui s'allongent parallèlement au courant de marée qui les génère (Reineck et Singh, 1980).

Les figures transversales sont constituées par des rides et des mégardes dont la longueur d'onde peut être extrêmement variable : de l'ordre de quelques dizaines de centimètres avec une amplitude de 5 à 20 cm à plusieurs dizaines de mètres (jusqu'à près de 30 m) avec une amplitude d'ordre métrique. La présence et la morphologie des rides dépendent principalement de la granulométrie des sédiments et de l'hydrodynamisme local. Les champs de rides inframétriques sont localisés, pour l'essentiel, dans les sables fins à moyens du secteur oriental de l'archipel. Quelques champs sont toutefois visibles au nord du Chenal du Centre et du Sund dans des sédiments identiques. Les secteurs à mégardes se situent généralement à proximité des grands chenaux de marée et se développent préférentiellement sur les sédiments moyens à grossiers. Les plus développés peuvent s'observer au Sud de Plate île et au nord de la Passe de la Conchée. Leur profil transversal est généralement dissymétrique, caractéristique d'une influence marquée des courants de marées. L'étude des séries de photographies aériennes anciennes (1923 à 2002) montre que ces systèmes de mégardes sont localisées exactement au même endroit et possèdent les mêmes

caractéristiques (longueur d'onde et extension) et ce malgré les aménagements mis en place progressivement sur l'estran (mytiliculture et vénériculture).

Les figures longitudinales sont de plusieurs types et comprennent les traînées sableuses, les rubans et les bancs. Ces figures sont de bons indicateurs indirects de la direction des courants de marée. Les rubans se localisent généralement derrière des îlots et/ou platiers rocheux comme celui, particulièrement bien développé, de l'Enseigne Amer et se développent à la manière de « queue de comète ». Leur direction est principalement nord-sud ou WNW-ESE. La morphologie particulièrement complexe de l'archipel offre de nombreux exemples de bancs sableux et de traînées sableuses. Le banc le plus développé se situe au Sud de la Canue, où il atteint plus d'un kilomètre de longueur et découvre à chaque marée du fait de sa hauteur (Fig. 5). Ces figures s'orientent selon un axe WNW-ESE dans la partie septentrionale de l'archipel et pivotent ensuite pour prendre une direction Nord-Sud.

4.2. Le domaine infralittoral

La prospection au sonar latéral a permis d'identifier les principales figures sédimentaires des trois chenaux majeurs de l'archipel (Fig. 6).

4.2.1. Le chenal du Sund

Cinq faciès acoustiques ont été reconnus :

- 1) un *faciès gris soutenu irrégulier* présentant un relief à bord noir délimitant une ombre portée blanche (fig. 6B/6D). Cette réponse acoustique caractérise un ressaut morphologique qui est la signature d'un affleurement rocheux, comme par exemple, les rochers situés en bordure du sud de Grande-Île et de l'Ebauché ;
- 2) un *faciès gris foncé avec un aspect irrégulier* (fig. 6C) révèle un fond marin assez dur qui correspond à un platier rocheux dépourvu de sédiments ;
- 3) un *faciès gris clair homogène* (fig 6C) qui correspond à des sédiments fins vaseux situés en périphérie des banquettes à *Lanice conchilega*. Ce faciès est recoupé par des sédiments plus grossiers répartis en rubans dans lesquels des systèmes de rides s'organisent ;
- 4) un *faciès gris très foncé* (fig. 6A) qui se subdivise en deux sous-faciès : le « texturé granuleux » correspond aux couvertures d'algues (principalement *Ascophyllum nodosum*) (fig. 6A) situées sur les platiers rocheux et les blocs dans le secteur méridional de Grande-Île et le « texturé lisse » qui signe les herbiers de *Zostera marina* (fig. 6A) ;
- 5) un *faciès gris très clair et lisse* (fig. 6A) qui correspond à du sable moyen. Le contact des herbiers avec ce faciès est très net.

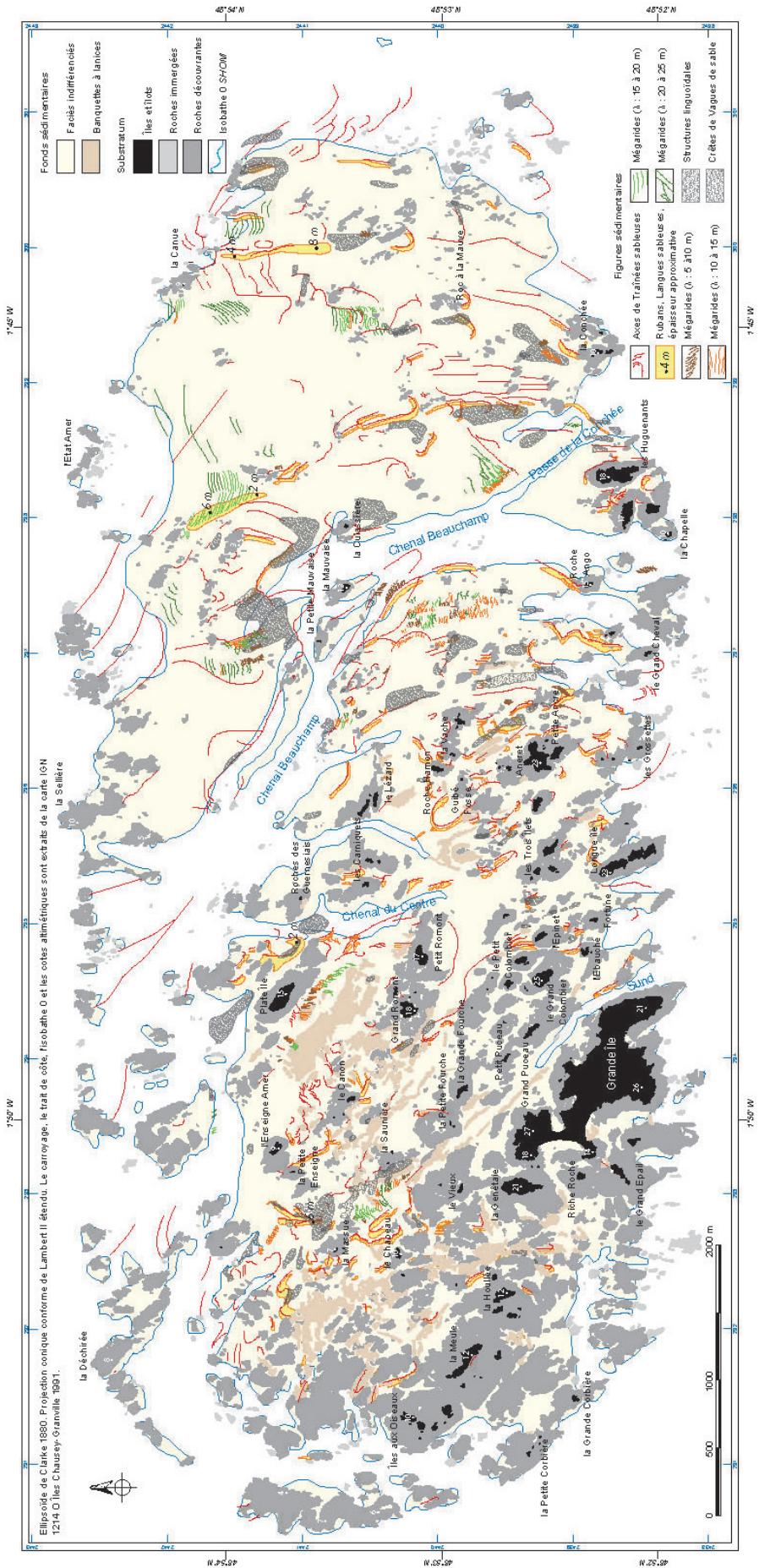


Fig. 5 - Figures sédimentaires de l'archipel de Chausey.

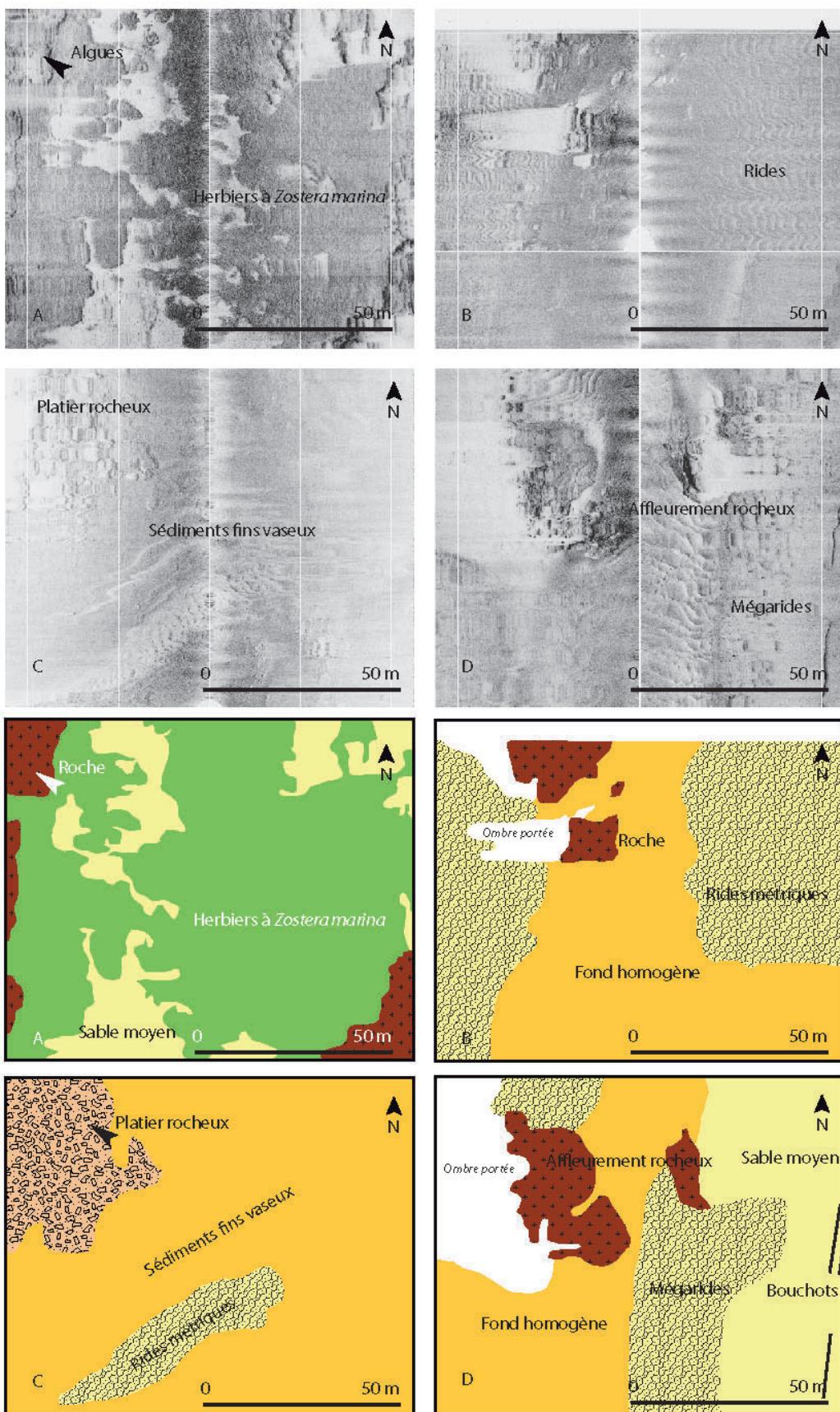


Fig. 6 - Sonogrammes du chenal du Sund.

Fig. 6 - Sonograph of the channel of Sund.

4.2.2. Le chenal du Centre

Ce chenal est situé à l'Ouest de la Roche des Guernesiais au Nord et entre Fortune et Longue-Île au Sud. Quatre réponses acoustiques non illustrées permettent de distinguer :

- 1) un faciès *rocheux* déjà décrit précédemment et qui correspond à des rochers épars ;
- 2) un faciès *foncé/lisse* qui correspond à une banquette à *Lanice conchilega*, en surélévation topographique puisque sa bordure noire signe un ressaut morphologique ;
- 3) un faciès *cailloutis* qui correspond à la présence de plusieurs petits rochers et blocs au pied de l'affleurement rocheux ;
- 4) un faciès *lisse* qui correspond à du sable vaseux. De petites flèches sableuses, s'étirant en arrière des rochers isolés, sont modelées par des rides métriques.

4.2.3. Le chenal Beauchamp

Il s'agit du plus important et du plus profond des trois chenaux (-12 m). Il emprunte successivement deux directions NW-SE puis N-S qui coïncident avec la paléovallée fluviatile creusée dans l'axe d'une fracture du socle. Les mêmes faciès acoustiques que précédemment ont été reconnus. À l'extrême méridionale, des rubans de sable se surimposent à un fond plus lisse que l'on retrouve tout le long du chenal et qui correspond à une accumulation de coquilles de crépidules (*Crepidula fornicata*).

5. Synthèse et conclusion

5.1. Unités morpho-sédimentaires

Les trois unités structurales de l'archipel contrôlent la distribution des sédiments superficiels de la zone intertidale et des petits fonds :

- a - le bloc occidental, le plus haut, compte de très nombreux îlots (dont Grande-Île) et platiers rocheux. Les sédiments sont le plus souvent grossiers (sable graveleux et sable grossier) et peu carbonatés (< 30 %) ;
- b - le bloc central, le plus vaste, est couvert en majorité de sables moyens avec des teneurs moyennes en carbonates (entre 30 et 50 %) ;
- c - le bloc oriental le plus bas, compte peu d'îlots et de platiers rocheux. Il est composé des sédiments les plus grossiers (sables grossiers et graviers) et les plus carbonatés (teneur moyenne en CaCO₃ supérieure à 50 % pouvant atteindre 85 %).

La juxtaposition de ces trois unités morpho-sédimentaires correspond à une évolution progressive du paysage sédimentaire entre deux pôles :

a - le pôle silico-clastique rocheux de la partie occidentale caractérisé par un paysage sédimentaire varié et hétérogène :

- . large spectre granulométrique depuis les graviers jusqu'aux vases,
- . mosaïque de petits corps sédimentaires séparés par de nombreux îlots et vastes platiers rocheux,
- . signature autochtone des sédiments sableux majoritairement composés de minéraux (quartz et feldspath) provenant de l'érosion du granite,
- . présence discrète mais récurrente d'une fraction bioclastique composée principalement de bivalves et secondairement de gastéropodes (surtout les littorines (*Littorina* spp., *Gibbula* spp.) et les troques (*Calliostoma zizyphinum*)) ;

b - le pôle bioclastique sableux de la partie orientale présentant des faciès plus homogènes modélisés en nombreuses figures sédimentaires :

- . sédiments sableux moyens à grossiers, localement riches en coquilles entières de bivalves et de débris de maërl,
- . un ensemble de bancs sableux de géométrie et taille variables localement développés en « queue de comète » à l'abri des rares îlots rocheux,
- . rubans de mégardes construits par les courants de marée et remodelé superficiellement par la houle et les vagues de tempête. Formation locale de flèches et de cordons sableux,
- . signature allochtone des sédiments. Les bioclastes et coquilles de mollusques, les débris de maërl et les graviers de micaschistes soulignent l'origine allochtone des sédiments,
- . richesse exceptionnelle des sédiments en calcaire ;

c - l'unité morpho-sédimentaire centrale constitue la charnière entre les deux pôles sédimentaires. Elle se caractérise par des traits communs aux paysages silico-clastique et bioclastique.

La distribution des sédiments de l'archipel de Chausey se caractérise par des gradients granulométriques directement guidés par la dynamique tidale à laquelle s'ajoute l'influence secondaire de la houle qui remodelle la morphologie et accentue le développement des bancs sableux.

5.2. Interactions bio-sédimentologiques

Certaines biocénoses jouent un rôle sur la sédimentation intertidale, notamment :

- les herbiers à zostères (*Z. marina*, *Z. noltii*) : ces végétaux jouent un rôle actif dans la sédimentation en favorisant les atterrissages puis le maintien en place des particules sableuses et argileuses. Les surfaces colonisées par ces herbiers peuvent être importantes et soumises à des variations spatio-temporelles significatives. Ainsi, entre 1924 et 1953, la surface de l'herbier est passée de 763 à 60 ha pour remonter

ensuite à 164 ha en 1982. Après une période de relative stabilité jusqu'en 1992 où l'herbier s'étendait sur 179 ha, les surfaces couvertes ont nettement progressé pour atteindre, en 2002, 343 ha (Godet *et al.*, 2008a). En 2008, les herbiers de *Z. marina* sont toujours en forte expansion à Chausey ;

- les banquettes à lanices (*Lanice conchilega*) : de denses colonies de ces vers tubicoles piègent le sable entre le réseau de tubes. Ce polychète a la particularité de sélectionner préférentiellement les particules bioclastiques pour édifier son tube arénacé (Fournier *et al.*, 2007b ; Godet *et al.*, 2008b ; Toupoint *et al.*, 2008) ;
- les velours à Vauchérie (*Vaucheria spp.*) : ces algues vertes contribuent à stabiliser les vasières intertidales ;
- les gazon à *Fucus lutarius* : cette algue brune vascicole vit à moitié enfouie dans la vase. La longueur des frondes est en moyenne de 5 à 20 cm. C'est sur l'archipel de Chausey que se trouve la station la plus étendue à *F. lutarius* (2 ha) sur le littoral français où elle a longtemps été considérée comme endémique ;
- « l'usine à carbonates » : en zone subtidale, elle est formée par le maërl (*Lithothamnium calcareum*) et les crépidules (*Crepidula fornicate*) alors qu'en zone intertidale, les autres gastéropodes et les bivalves y contribuent de façon notable.

En conclusion, le modèle sédimentaire de l'archipel de Chausey se caractérise par :

- un système « dominé tidal » avec une influence secondaire de la houle ;

- la coexistence de deux systèmes de dépôts, l'un terrigène d'origine proximale, l'autre carbonaté d'origine proximale et distale ;
- une production carbonatée abondante compte-tenu du climat tempéré (association type Foramol et algue rouge) se traduisant par la mise en place d'importantes accumulations sédimentaires préférentiellement dans l'est de l'archipel, secteur plus calme d'un point de vue hydrodynamique ;
- la présence de biotopes intertidaux qui jouent un rôle actif sur la sédimentation (piégeage, sélection des particules, consolidation du substrat vaseux ou sableux, maintien en place des sables et vases).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier plus particulièrement M. Le Vot (EPHE, Dinard) pour l'ensemble des analyses granulométriques et calcimétriques, N. Toupoint (MNHN, Dinard) et C. Guérin (INTECHMER, Cherbourg) pour leur contribution à la cartographie. Merci également à ceux qui ont participé aux campagnes de prélèvements sur le terrain : T. Abiven (CEL Basse-Normandie) ; L. Brigand et S. Le Berre (UBO, Brest) ; A. Caline, A. Dréau et H. Gloria (EPHE, Dinard) ; A. Cotonnec et V. Dubreuil (Univ. Rennes 2) ; G. Frébourg et M. Fuchs (Univ. Genève) ; F. Lelong (CNRS, Caen) ; F. Olivier (MNHN, Dinard) ; J.-M. Rousset (École Centrale, Nantes). La traduction du résumé en anglais a été assurée par A. Curd (ANAMP, Brest). Nous tenons aussi à remercier les deux correcteurs anonymes pour leur suggestions qui ont permis l'amélioration du manuscrit et des illustrations.

Références

- Augris C., Clabaut P. (2001) – Cartographie géologique des fonds marins côtiers. Exemples le long du littoral français. Éditions Ifremer, Plouzané, 75 p.
- Augris C., Hamon D., Mazé J.P., Bonnot-Courtois C., Garreau P., Guénoc P., Guénolé A., Houlgate E. (1996) – Atlas thématique de l'environnement marin en baie de Saint-Brieuc. Éditions IFREMER, Plouzané, 65 p.
- Baltzer A., Bonnot-Courtois C., Fournier J., Rousset J.-M., Schoorens J. (2004) – Réponses acoustiques de différents faciès morphosédimentaires d'une lagune côtière et d'une flèche littorale. Exemple de Sables d'Or en baie de Saint-Brieuc (Bretagne Nord). In VIII Journées nationales Génie Côtier Génie Civil, UTC, CETMEF, CFL, Compiègne, vol. 4, instrumentation et mesures, p. 1-8.
- Baltzer A., Rousset J.M., Lelong F., Fournier J. (2005) – Reconnaissance au sonar latéral des principaux chenaux des îles Chausey (Cotentin) – mai 2005. Rapport DIREN, Université de Caen, M2C CNRS, Caen. 30 p.
- Blott S., Pye K. (2001) – Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth, Surface, Processes and Landforms, 26, p. 1237-1248.
- Boillot G., Lefort J.-P., Cresard A., Musellec P. (1974) – Carte géologique de la Manche au 1/1 000 000. BRGM-CNEXO, Orléans.
- Bonnot-Courtois C., Augris C., Blanchard M., Houlgate E. (2002) – Répartition des formations superficielles du domaine marin côtier entre le Cap Fréhel et Saint-Malo (Côtes d'Armor – Ille-et-Vilaine). *Géologie de la France*, 3, p. 31-42.
- Bonnot-Courtois C., Caline B., L'Homer A., Le Vot M. (éds.) (2002) – La baie du Mont Saint-Michel et l'estuaire de la Rance. Environnements sédimentaires, aménagements et évolution récente. Bulletin du Centre de Recherche Elf Exploration et Production, Pau, n° 26, 256 p.
- Bonnot-Courtois C., Fournier J., Dréau A. (2004) – Recent morphodynamics of shell banks in the western part of Mont Saint-Michel Bay (France). Géomorphologie : relief, processus, environnement, 1, p. 65-80.

Bonnot-Courtois C., Fournier J., Baltzer A. (2005a) – Complémentarité des photographies aériennes et des images sonar pour l'analyse des structures bio-morpho sédimentaires du littoral. in « Milieux littoraux : perspectives nouvelles », dir. P. Durant & L. Goeldner-Gianella, éd. L'Harmattan, Paris, p. 13-28.

Bonnot-Courtois C., Fournier J., Rollet C., Populus J., Guillaumont B., Loarer R. (2005b) – Cartographie bio-morpho-sédimentaire des estrans dans le cadre du Réseau Benthique (complémentarité des orthophotographies littorales et des données Lidar). Photo-interprétation, 41(2), p. 13-27, p. 35-39.

Cotonnec A., Fournier J., Gouéry P., Mokrani M., Anselme B., Dréau A., Dubreuil V., Panizza A., Talec P. (2005) – Utilisation de données SPOT5 pour la cartographie des habitats benthiques littoraux : application à l'archipel des îles Chausey (golfe normand-breton, France). Norois, 196, p. 37-50.

Doré F., Dupret L., Lautridou J.P., Hommeril P. (1988) – Notice explicative de la feuille Granville à 1/50 000. Éditions BRGM, Orléans, 55 p.

Ehrhold A. (1999) – Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal : exemple de la baie du Mont Saint-Michel. Thèse de doctorat, Université de Caen, 294 p.

Folk R.L., Ward W.C. (1957) – Brazos River bar: a study in the significance of grain parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, p. 3-26.

Fortin J. (1972) – Les sédiments et la dynamique sédimentaire dans l'archipel des îles Chausey (Manche). Thèse de Doctorat, Université de Caen, 65 p.

Fournier J., Baltzer A., Bonnot-Courtois C., Godet L., Guérin C., Le Vot M., Olivier F., Retière C. (2005) – Morpho-sedimentary and benthic habitats mapping of Chausey archipelago from remote sensing, airborne and acoustic data. MESH-Malo Interreg IIIb NW MESH Mapping European Seabed Habitats, IFREMER, Saint-Malo, 31 p.

Fournier J., Caline B., Godet L., Baltzer A., Le Vot M., Abiven T. (2007a) – Cartographie morpho-sédimentaire des formations superficielles de l'archipel de Chausey (golfe normand-breton). 11^e Congrès français de sédimentologie, Publ. ASF, n° 57, Caen, p. 130.

Fournier J., Olivier F., Toupoint N., Godet L., Le Vot M., Caline B. (2007b) – Signature morpho-sédimentaire des bioherms à *Lanice conchilega* (Pallas, 1766) de la baie du Mont Saint-Michel. 11^e Congrès français de sédimentologie, Publ. ASF, n° 57, Caen, p. 129.

Garreau P. (1993) – Hydrodynamics on the North Brittany coast: a synoptic study. *Oceanologica Acta*, 16(5-6), p. 469-477.

Godet L., Fournier J., Van Katwijk M., Olivier F., Le Mao P., Retière C. (2008a) – Before and after wasting disease in common eelgrass *Zostera marina* along the French Atlantic coasts: a general overview and first accurate mapping. *Diseases of Aquatic Organisms*, 79, p. 249-255.

Godet L., Toupoint N., Olivier F., Fournier J., Retière C. (2008b) – Considering the functional value of common marine species as a conservation stake. The case of the sandmason worm *Lanice conchilega* (Annelid polychaeta, Pallas 1766) beds. *Ambio*, 37, p. 347-355.

Hommeril P. (1967) – Étude de géologie marine concernant le littoral bas-normand et la zone pré-littorale de l'archipel anglo-normand. Thèse de Doctorat d'État, Université de Rouen, 304 p.

Jonin M. (1978) – Étude pétrographique du massif granitique des îles Chausey (Massif Armorican). *Bulletin de la Société linnéenne de Normandie*, 106, p. 15-25.

Le Hir P., Bassoulet P., Erard E., Blanchard M., Hamon D., Jegou A.M. (1986a) – Étude régionale intégrée du golfe normand-breton, tome 4 : Estrans et zones humides. IFREMER DERO-86.27-EL, Plouzané, 182 p.

Le Hir P., Bassoulet P., Erard E., Blanchard M., Hamon D., Jegou A.M. (1986b) – Étude régionale intégrée du golfe normand-breton, tome 1 : Présentation de l'étude, hydrodynamique et sédimentologie. IFREMER DERO-86.27-EL, Plouzané, 265 p.

Reineck H.E., Singh I.B. (1980) – Depositional sedimentary environments. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 551 p.

STNMTE (1995) – Catalogue de fiches synthétiques de mesures de houle. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports, 171 p.

Toupoint N., Godet L., Fournier J., Retière C., Olivier F. (2008) – Does Manila clam cultivation affect habitats of the engineer species *Lanice conchilega* (Pallas, 1766)? *Marine Pollution Bulletin*, 56, p. 1429-1438.

Vaslet D., Larsonneur C., Auffret J.-P. (1979) – Carte des sédiments meubles superficiels de la Manche à 1/500 000. BRGM-IFREMER, carte géologique de la marge continentale, Orléans.

Wentworth C.K. (1922) - A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, p. 377-392.

