

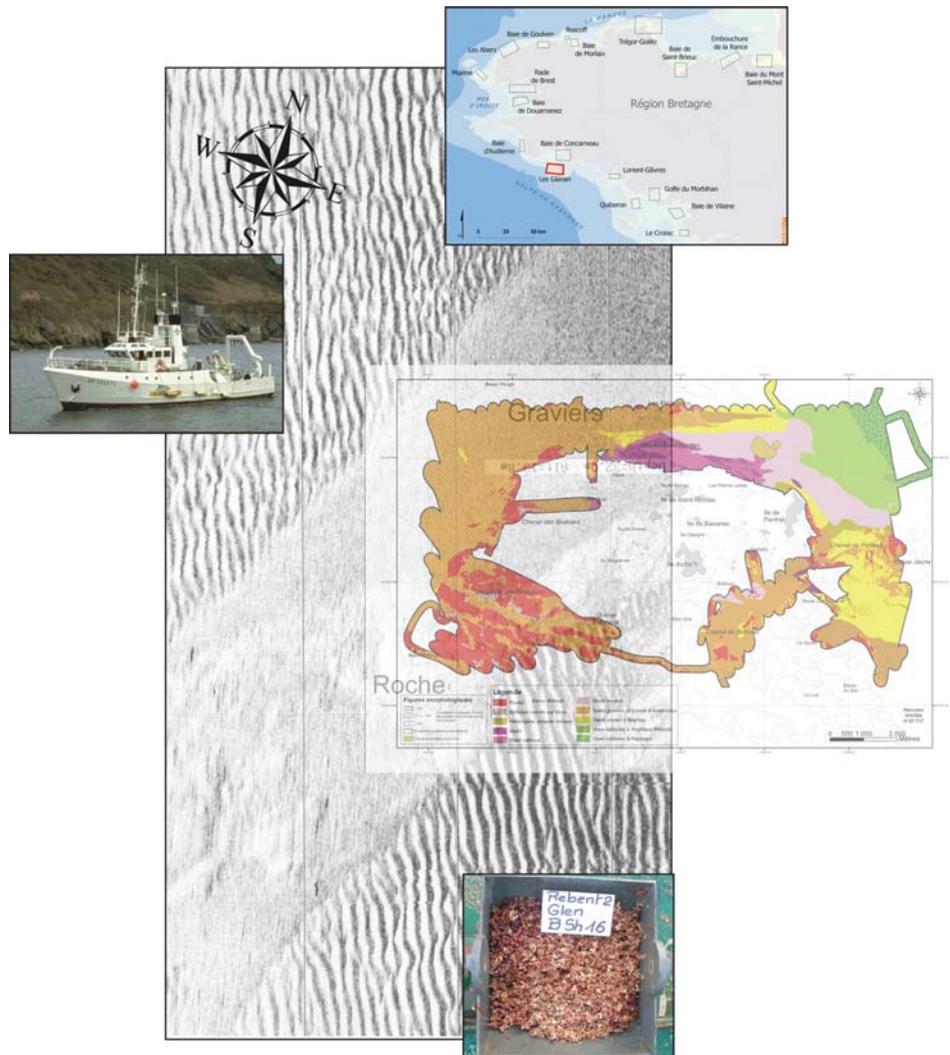


RST/IFREMER/DYNECO/EB/06-03/REBENT

## Réseau de surveillance benthique

### Région Bretagne

- > Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Glénan



Direction Régionale de l'Environnement  
Bretagne

Coordination



*Citation du document*

Ehrhold, A., Blanchet, A., Hamon, D., (et collab.), 2006. Réseau de surveillance benthique (REBENT) – Région Bretagne. Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Glénan. RST/IFREMER/DYNECO/Ecologie benthique/06-03/REBENT, 62 p. + 8 annexes.



**Résumé :**

Le Rebent (Réseau benthique), initié en 2000 à la suite de la catastrophe de l'Erika, a pour objectif de suivre les habitats benthiques côtiers et de détecter les changements à différentes échelles de temps et d'espace. L'approche sectorielle dans les petits fonds (< 50 m) des côtes bretonnes combine, des moyens de prospection acoustique, afin de délimiter les principaux types de substrats, avec des prélèvements et des observations biologiques pour caractériser les peuplements macrobenthiques.

Les résultats des analyses sédimentologiques et faunistiques montrent autour de l'archipel des Glénan, une grande diversité d'habitats et d'espèces reconnues. L'imagerie acoustique fait ressortir la complexité de leur structuration dans un environnement marin soumis à de fortes et régulières périodes d'agitation. La biocénose de maërl occupe le nord-est de l'archipel. Elle laisse place progressivement aux sédiments envasés à *Amphiura filiformis* et aux vases à *Haploops* dans le fond du chenal. A l'ouest et au sud, les substrats sont plus grossiers, essentiellement sableux à *Nephtys* et sablo-graveleux à *Branchiostoma lanceolatum*, épisodiquement mobiles.

**Abstract :**

Ifremer launched and coordinated the development of a strategy for the REBENT network (REseau BENThique) in 2000 to monitor the aftermath of the "Erika" oil spill in December 1999. Its aim is to provide consistent baseline knowledge about coastal benthic habitats and constitute a monitoring tool to detect changes at various scales over time and space. Sector-based seabed habitat mapping in shallow water (< 50 m deep), is currently being conducted throughout Brittany's coastal waters through a combination of geoacoustic marine systems and ground-truthing using biological grab sampling and seabed observations.

Sedimentological and biological results on Glenan area emphasize a great diversity of subtidal habitats and marine species recognized. Sidescan imagery accentuates the complexity of the communities structure in a marine environment distinguished by strong and regular roughness of the sea. Maerl biocenose is present at the nord-east of the archipelago. Progressively it gives way to mud sediment colonized by *Amphiura filiformis* and *Haploops* in the deeper channel. To the west and the south, substratum types are more coarse, occasionally mobiles, composed of essentially sand community with *Nephtys* and gravelly sand community with *Branchiostoma lanceolatum*.

**Mots-clés :**

Rebent, Glénan, cartographie d'habitats, sonar latéral, macrofaune benthique, peuplements, dynamique sédimentaire, figures sédimentaires, maërl, *Haploops*

**Keywords :**

Rebent, Glenan, habitats mapping, sidescan sonar, benthic macrofauna, communities, bedload transport, bedforms, maerl, *Haploops*

**Commentaire :**

## Contributeurs

### *Rédaction*

Axel Ehrhold  
Aline Blanchet  
Dominique Hamon

### *Traitement des données acoustiques*

Axel Ehrhold

### *Traitement des échantillons biologiques*

Aline Blanchet  
Claire Chevalier  
Jean-Dominique Gaffet

### *Participation aux campagnes à la mer*

Michel Blanchard  
Aline Blanchet  
Xavier Caisey  
Philippe Cugier  
Axel Ehrhold\*  
Chantal le Gac-Abernot  
Dominique Hamon\*  
Delphine Nicolas  
Claire Rollet

(\* chefs de mission)

NB : Les contributeurs ci-dessus nommés dépendent du Centre Ifremer de Brest/Département DYNECO (Dynamiques de l'environnement côtier)/Laboratoire Ecologie benthique et Service Vigies.

### *Autres intervenants*

Société MESURIS (Acquisitions acoustiques avec le Survex)  
Sociétés ALIDADE et HOCER (Analyses granulométriques)

### *Responsable scientifique*

Dominique Hamon

### *Responsable du projet REBENT/Bretagne*

Brigitte Guillaumont



## AVANT PROPOS

Le REBENT (REseau de surveillance BENThique\*) a pour objectifs d'acquérir une connaissance pertinente et cohérente des habitats benthiques côtiers, dans leurs composantes physiques et biologiques, et de constituer un système de veille pour détecter leur évolution à moyen et long termes, notamment pour ce qui concerne la diversité biologique. Il vise ainsi à recueillir et à mettre en forme un ensemble de données relatives à la distribution spatiale des habitats, et à leur composition faunistique et floristique, pour répondre prioritairement aux besoins récurrents communs à différentes obligations réglementaires aux échelons régionaux, nationaux ou internationaux.

Ce réseau, initié par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) et coordonné par l'Ifremer, concerne prioritairement la zone de balancement des marées et les fond côtiers. **La Bretagne en constitue la région pilote** et le naufrage de l'Erika, en décembre 1999, a été déterminant dans sa mise en place.

### Les atouts pour un pilote breton :

- un littoral riche et diversifié, avec une forte représentativité d'habitats remarquables (herbiers de zostères, bancs de maërl ou champs d'algues) ;
- une zone de partage entre deux régions biogéographiques qui, outre le fait d'accroître la diversité biologique au niveau régional, offre un intérêt de premier ordre pour cerner les effets de l'évolution climatique ;
- une concentration unique de cas d'étude car, sur le littoral breton, fortement convoité, la faune et la flore benthiques sont soumises à de multiples perturbations générées par les activités humaines, soit directement (effets de la pêche aux engins traînants, extractions de granulats, conchyliculture,...), soit résultant de pollutions chroniques (rejets urbains, industriels et agricoles) ou accidentelles (pollutions pétrolières, introduction d'espèces exogènes) ;
- une forte demande de gestion qui tend à se structurer, notamment à l'initiative de la DIREN et de la Région Bretagne (Natura 2000, Schéma Régional du Patrimoine Naturel...) ;
- des compétences scientifiques et techniques permettant de couvrir, dans une démarche pluridisciplinaire, tous les domaines concernés : le Centre Ifremer de Brest, l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) de Brest, le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), avec ses Stations de Dinard et de Concarneau, la Station Biologique de Roscoff, le Laboratoire de Géomorphologie (EPHE/CNRS) de Dinard, ou encore le Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues (CEVA) de Pleubian.

L'étude d'Avant Projet, entreprise en 2001 et 2002 sur le pilote breton, en concertation étroite avec différents partenaires scientifiques et techniques et avec le soutien financier de la DIREN Bretagne, de la Fondation Total pour la Biodiversité et la Mer et de la Région Bretagne, a permis de définir une stratégie qui distingue trois niveaux d'approche complémentaires :

- Des actions de synthèse cartographiques pour favoriser la vision cohérente d'ensemble au niveau régional et la diffusion de l'information, c'est le **niveau zonal régional**. Ces actions, qui s'appuient dans une large mesure sur des données physiques préexistantes (bathymétrie, nature de fond...), sont complétées par la mise en place d'un système de veille (observations à basse fréquence) permettant de détecter avec précision, sur des secteurs géographiques ou des habitats particuliers, les évolutions spatiales à moyen et long termes. C'est le cas, en particulier, du suivi

de la couverture végétale intertidale par télédétection et de l'évolution des herbiers de zostères à partir d'orthophotographies.

- Afin de disposer de références précises et actualisées dans des zones représentatives du littoral, dont des sites Natura, des travaux de cartographie des habitats ont été programmés sur une vingtaine de secteurs répartis autour de la Bretagne, c'est le **niveau zonal sectoriel**. Ces travaux font appel à un arsenal de techniques innovantes (en particulier, la télédétection et l'acoustique sous-marine) permettant de cartographier et de caractériser les principaux habitats des secteurs de référence, avec le niveau de précision requis.
- Des suivis plus localisés de la biodiversité floristique et faunistique sont également envisagés sur une sélection d'habitats, comprenant des habitats remarquables et/ou largement représentés, susceptibles de rendre compte de leur évolution, c'est le **niveau stationnel** du réseau. Dans la zone de balancement des marées, ils concernent en particulier les sédiments fins, les herbiers et certains habitats de substrat rocheux. Dans les petits fonds, il s'agit des sables fins, des bancs de maërl et de certains fonds rocheux suivis en plongée. Chaque habitat est échantillonné régulièrement selon un protocole adapté et, généralement, une dizaine de stations réparties le long du littoral breton sont retenues.

La description détaillée du réseau, ainsi que des premiers résultats des actions opérationnelles engagées depuis 2003, sont disponibles sur le site web du réseau : <http://www.rebent.org> .

*\* Le benthos est constitué par l'ensemble des organismes vivant en relation étroite avec les fonds subaquatiques : benthos végétal ou phytobenthos (algues et phanérogames) et benthos animal ou zoobenthos (vers, mollusques, crustacés...).*

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Caractères généraux de la zone d'étude.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Acquisition et analyse des données.....</b>	<b>6</b>
2.1. Outils et techniques mis en œuvre .....	6
2.2. Stratégie d'acquisition des données.....	11
2.3. Calendrier des travaux et bilan des données acquises .....	16
2.4. Analyses bathymétriques et morpho-sédimentaires .....	16
2.5. Analyses biologiques .....	21
<b>3. Résultats.....</b>	<b>25</b>
3.1. Les principaux ensembles morpho-sédimentaires .....	25
3.2. La dynamique des sédiments .....	35
3.3. Les principales unités de peuplements de substrats meubles .....	40
<b>Conclusion .....</b>	<b>52</b>

## Annexes

- 1 Fiches techniques N/O Thalia et Survex
- 2 Fiches signatures acoustiques
- 3 Fiches granulométriques
- 4 Tableau de classification sédimentaire
- 5 Matrice des abondances d'espèces (moyennes/m<sup>2</sup>)
- 6 Richesse spécifique et nombre total des individus récoltés pour les principaux groupes taxonomiques
- 7 Indices de classification biocénotique
- 8 Liste faunistique générale et groupes trophiques



## Introduction

Le présent travail sur le secteur des Glénan (fig. 1) s'inscrit dans le cadre du volet sectoriel subtidal, dont le laboratoire DYNECO/Ecologie benthique du Centre Ifremer de Brest a la charge.

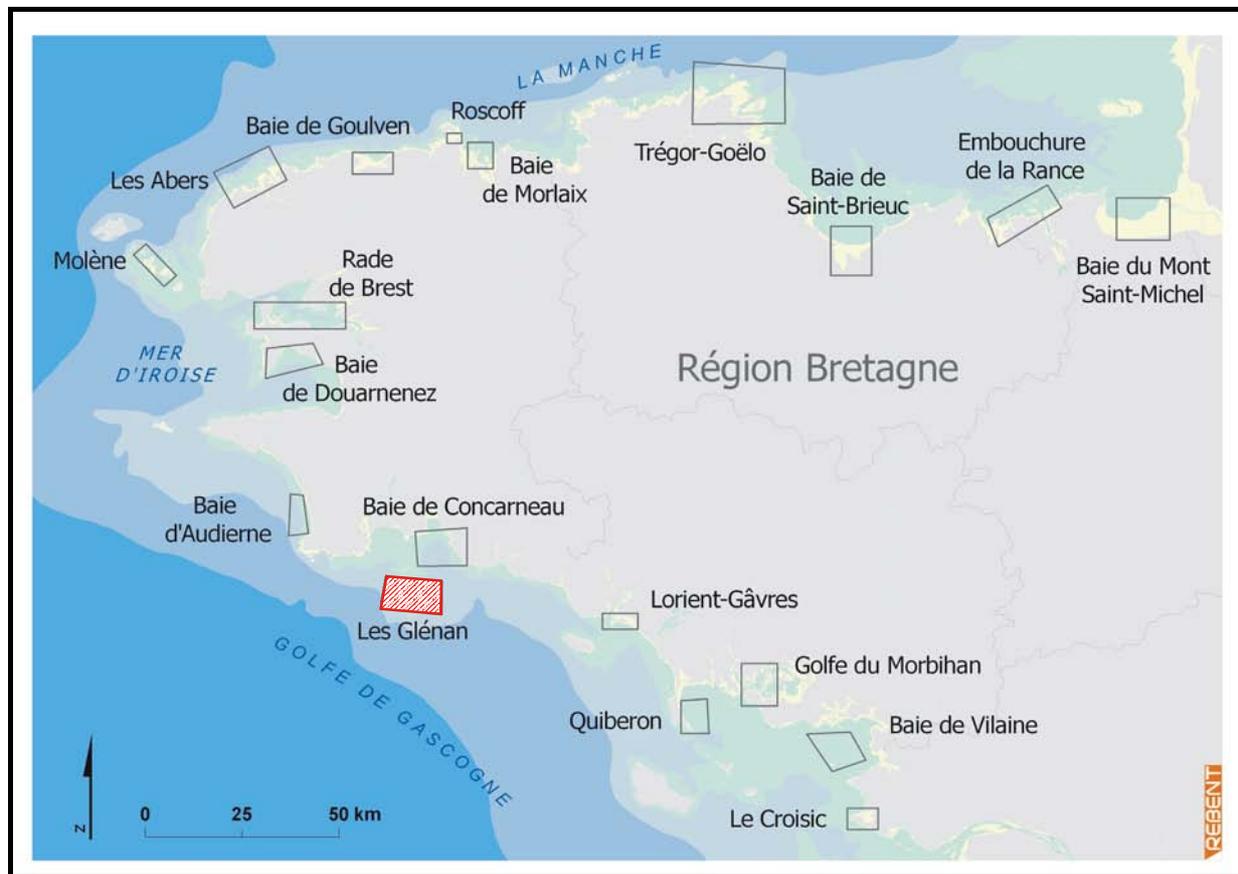


Figure 1 : Carte de répartition des secteurs de référence du REBENT Bretagne

Les premiers travaux de cartographie des habitats subtidaux ont été engagés en 2003, à l'aide du navire océanographique *Thalia*, sur les secteurs de Quiberon, Concarneau et Glénan. Une première campagne de prospection acoustique (sondeur multifaisceaux et sonar à balayage latéral), pour la reconnaissance morphologique et sédimentaire des fonds, a été réalisée en mars, complétée par une campagne de caractérisation biologique, aux moyens d'imagerie vidéo sous-marine et de prélèvements à la benne, en octobre. Des levés acoustiques ont par ailleurs été réalisés dans les très petits fonds des sites de Concarneau et des Glénan, à l'aide d'une embarcation légère spécialisée équipée d'un sondeur multifaisceaux, afin d'assurer la continuité d'information entre les fonds exondables et non exondables.

Les résultats de l'ensemble des travaux effectués sur le secteur des Glénan font l'objet de ce rapport.

## 1. Caractères généraux de la zone d'étude

L'archipel de Glénan se situe dans la partie aval du précontinent breton (Pinot, 1974), parsemée d'îles (Glénan, Groix, Houat...) et de hauts fonds (basse Jaune, plateau des Birvideaux...). Ces ensembles géomorphologiques sont alignés N120, parallèlement au Cisaillement Sud Armoricaire (C.S.A), et fracturés selon les directions moyennes N30 et N160 (Menier, 2003). Ils sont séparés les uns des autres par des vallées fossiles partiellement comblées, comme par exemple celle du Chenal de Penfret (fig. 2) orienté N160 qui sépare la basse Jaune de l'archipel (Vanney, 1977). Cette échine rocheuse pré littorale, dont Glénan constitue la chaussée la plus occidentale, freine et réfracte les grandes houles du large de secteur ouest et sud-ouest (Delanoë et Pinot, 1977). Les principaux traits de la morphologie sous-marine de l'archipel se composent d'un prisme sédimentaire d'une dizaine de mètres d'épaisseur sur la côte nord-est entre le Gluët et Penfret, actuellement entaillé par l'activité d'extraction de maërl (fig. 2), d'escarpements vigoureux à l'ouest (chaussée des Talenduic), alors qu'au sud-ouest, sur une douzaine de kilomètres, le massif granitique se poursuit en mer sous la forme de hauts fonds d'une quarantaine de mètres de dénivelé (basses Malaoët, Belvidijen, Perennès, An Aro). Ils sont séparés par des couloirs de failles (chenaux Deuzerat, de Brilimec...) canalisant localement l'énergie des courants.

Les courants de marée sont faibles à modérés sur le secteur, aussi bien autour qu'au centre de l'archipel. Les mesures de courants du SHOM (ouvrage n°550) montrent que dans le chenal Saint-Nicolas, le flot porte à l'est (max. 1 nœud à PM-2h) et le jusant à l'ouest avec une vitesse plus forte (max. 1,3 nœuds à PM+5). Ils ne dépassent pas 0,4 m/s dans l'archipel pour les marées de vives eaux (VE) et 0,25 m/s lors des marées de mortes eaux (ME) (modélisation Sogreah ; In Vivo Environnement, 2003). Pour des coefficients plus importants (coef. 101), les modélisations réalisées avec le logiciel MARS-3D (Tessier, 2006) montrent que l'aire d'intensité maximale des courants se propage dans le sens horaire autour de l'archipel (fig. 3) :

- BM (basse mer) : max. de 60 cm/s au sud et sud-ouest en direction de l'ouest et du nord-ouest,
- BM+4 : max. de 60 cm/s au nord-ouest et nord en direction de l'est et du nord-est,
- PM (pleine mer) : max. de 40 cm/s au nord-est en direction du sud-est,
- PM+2 : max. de 80 cm/s à l'est dans le chenal de Penfret en direction du sud.

Deux simulations de houles à partir du modèle SWAN (Tessier, 2006), de secteur Sud-Ouest et Ouest (Hauteur significative Hs de 5 m, période TM01 de 13 s) correspondant à 20 jours de tempêtes par an, montrent la réfraction progressive des orthogonales de houles du large vers l'est, en contournant l'archipel, jusqu'à converger à l'est de Penfret (fig. 4) :

- Dans le chenal des Bluiniers : progression vers l'est des trains de houles (2 à 3 m de Hs),
- Dans le chenal Saint-Nicolas : réfraction vers l'est lors de la remontée du Chenal et sur le banc de maërl au Nord de Saint-Nicolas jusqu'à Penfret pour celles de secteur Ouest (diminution progressive de Hs jusqu'à 1,5 m),
- Entre les basses sud (Perennès, Malouët, Belvidijen) et le chenal de Brilimec : réfraction vers le Nord-Est (Hs reste forte, sup. à 4 m),
- Dans le chenal de Penfret : réfraction au passage des basses de An Ero et du Lué vers le nord-est dans la partie méridionale du chenal, puis rapidement nord et nord-nord-ouest à la latitude de Penfret (diminution progressive de Hs jusqu'à 1,5 m).

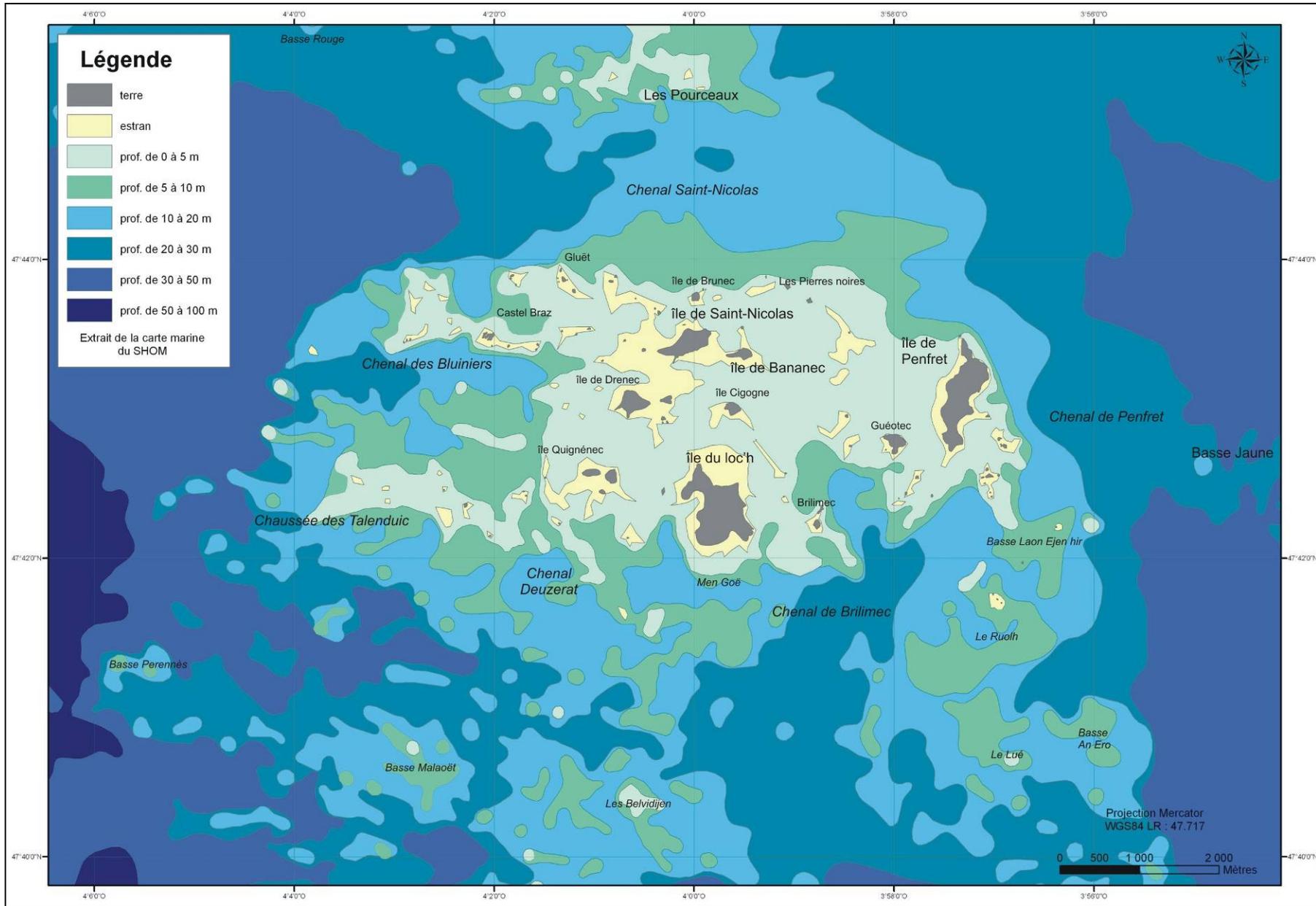


Figure 2 : Situations géographique et bathymétrique du secteur d'étude

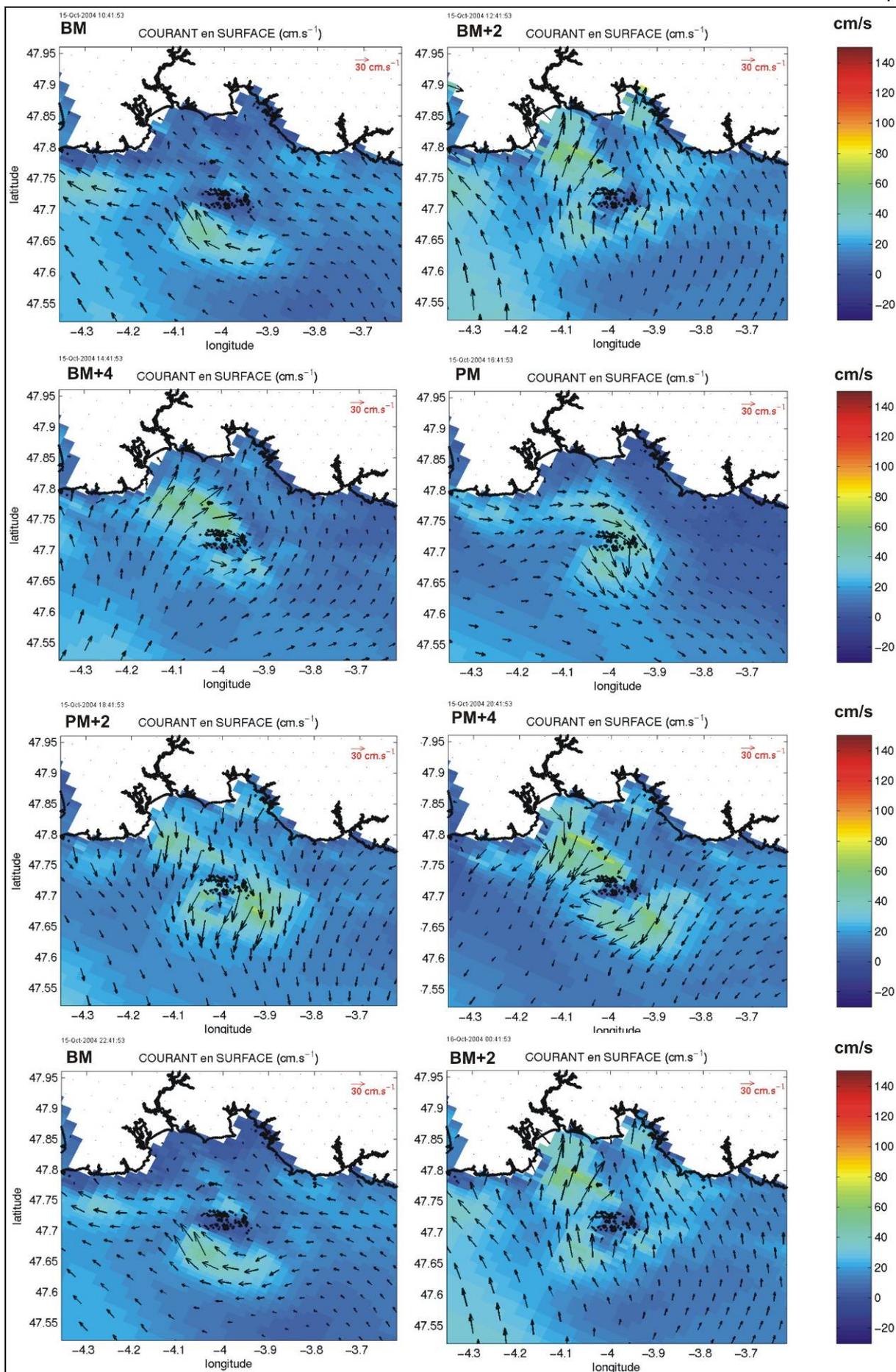


Figure 3 : Planches des courants de marée de surface  
(Simulations Mars-3D, coef. 101, heure Saint-Nazaire, décalage 15 mn avec Glénan) (Tessier, 2006)

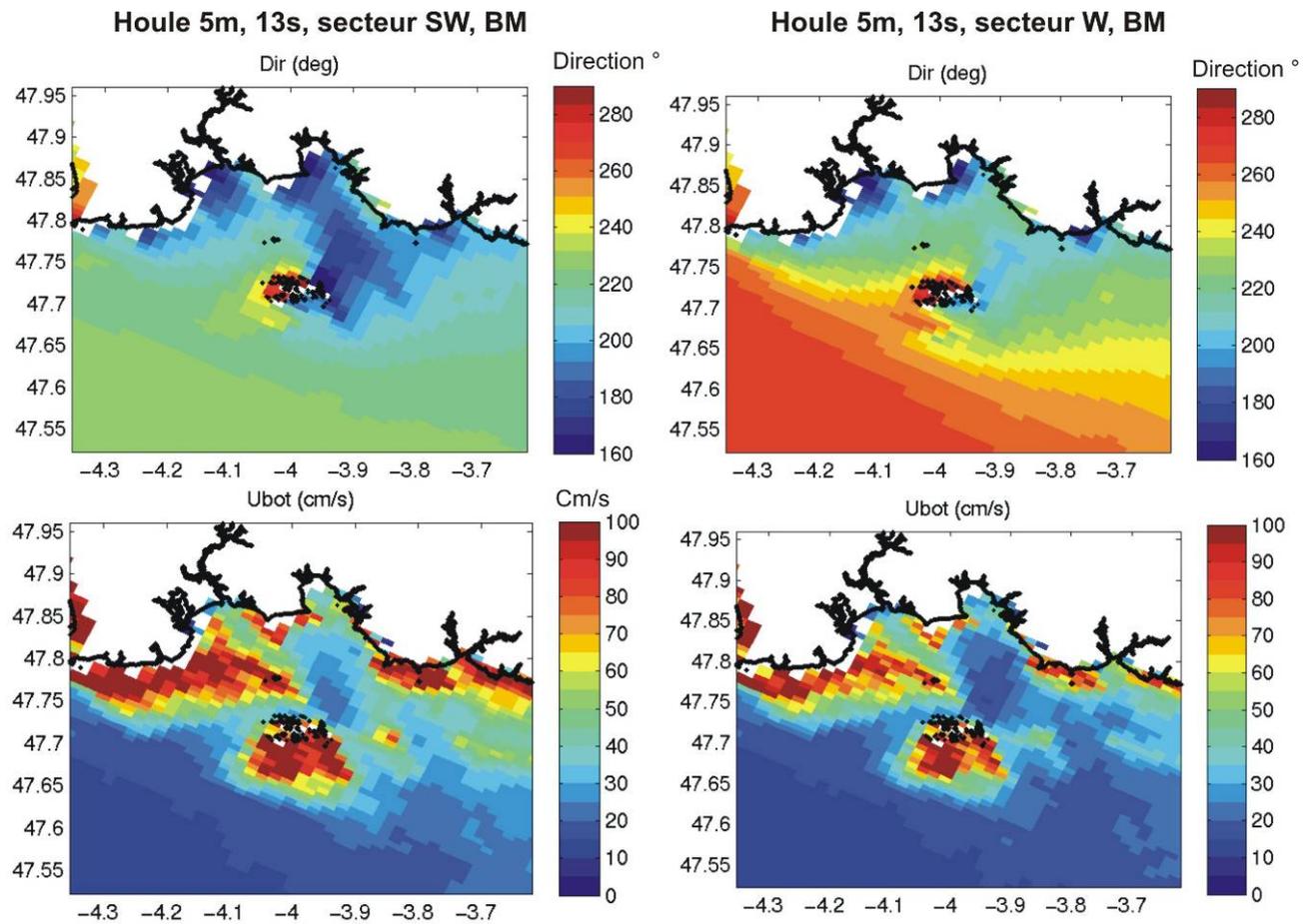


Figure 4 : Simulations de la propagation de la houle et de la contrainte sur le fond pour une houle du large (secteur sud-ouest et ouest) de 5 m et 13s à basse mer (Tessier, 2006)

## 2. Acquisition et analyse des données

### 2.1 Outils et techniques mis en œuvre

#### 2.1.1 Moyens nautiques et modes de positionnement

##### 2.1.1.1 NO/Thalia et Survex

Au delà de 10 m de profondeur, l'investigation des fonds a été conduite à partir du N/O Thalia, navire de la flotte côtière armé par GENAVIR (*annexe 1*). Entre 0 et 10 m, plusieurs jours de location du Survex (*annexe 1*), vedette privée (société Mesuris) dédiée à l'acoustique sous-marine, ont permis de lever 4,8 km<sup>2</sup> au nord et à l'est de l'Archipel.

#### 2.1.1.2 Systèmes de navigation et de positionnement

##### 2.1.1.2.1 Le système de navigation Olex

Olex V4.10 (fig. 5) est un système de navigation puissant, de génération du relief des fonds sous-marins, conçu pour la pêche professionnelle et la recherche océanographique. Installé depuis 2003 sur les bateaux côtiers de la flotte GENAVIR, il permet d'importer les positions des points ou des profils théoriques, issus d'un SIG, sur un fond de carte marine, doublé de toutes les informations nécessaires à la navigation ([www.ifremer.fr/flotte/equipements\\_sc/eq/olex/index.html](http://www.ifremer.fr/flotte/equipements_sc/eq/olex/index.html)). L'utilisateur peut donc choisir le type d'informations qu'il souhaite voir figurer à l'écran : en conséquence, l'affichage est rendu plus clair. L'affichage des cartes est réalisé sans discontinuité sur toute la planète.



Figure 5 : PC scientifique OLEX sur Thalia

##### 2.1.1.2.2 Les systèmes de positionnement

###### Le GPS Différentiel

Les données récoltées lors des campagnes effectuées sur le N/O Thalia sont positionnées en WGS84 à partir d'un DGPS Aquarius (Société Thales) fonctionnant en mode WAAS/EGNOS métrique temps réel ; domaine de fonctionnement défini par la couverture des satellites des systèmes WAAS (Nord Amérique), EGNOS (Europe) et MSAS (Japon). La précision en xy est de l'ordre de 1 à 2 mètres.

## Le GPS RTK

L'infrastructure de base d'un réseau **RTK** ( **R**eal **T**ime **K**inematic ou cinématique en temps réel) est constituée par une station GPS de référence (fig. 6). Cette station permanente, dont la position est connue avec une très grande précision, émet en temps réel par une radio ou GSM, les mesures réalisées sur les phases portantes des signaux radiodiffusés par les satellites GPS. La vedette reçoit, en temps réel, ces mesures de phases pour se positionner relativement à la station de référence. Seules quelques secondes sont nécessaires pour déterminer les coordonnées d'un nouveau point. Ces performances centimétriques à décimétriques établies en temps réel ne sont toutefois accessibles que dans un rayon limité autour de la station de référence. La géodésie utilisée pour le levé Glénan était du Lambert II centre.

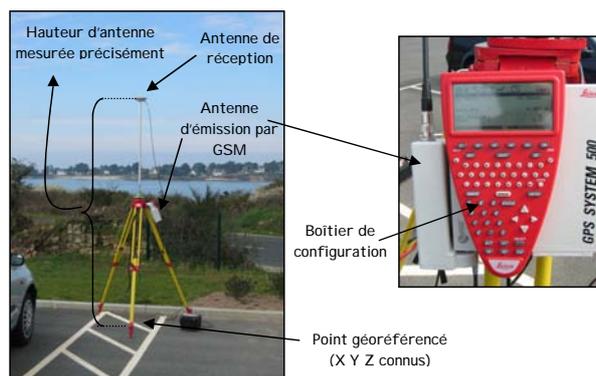


Figure 6 : Illustration du GPS RTK utilisé par la société Mesuris pour les levés Survex

### 2.1.2 Principes généraux de fonctionnement des systèmes acoustiques

#### 2.1.2.1 Sondeur multifaisceaux (cf. Fiche technique FT09-F003 sur <http://www.rebent.org/>)

Deux type de Sondeur MultiFaisceaux (SMF) ont été mis en œuvre sur le secteur de Glénan : l'EM1000 de la société Simrad et le Seabat 8101 de la société Reson (tab. 1). Un sondeur multifaisceaux mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions déterminées par les faisceaux de réception du système (fig. 7). Ces faisceaux, au nombre de 120 pour l'EM1000, forment une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. On explore ainsi le fond sur une large bande (de l'ordre de 5 à 7 fois la profondeur), avec des vitesses supérieures à celles utilisées pour un sonar remorqué (max. 5 nœuds). La plupart des sondeurs multifaisceaux fonctionnent selon la technique dite des faisceaux croisés. Une impulsion sonore est émise au travers d'un lobe d'émission étroit dans la direction longitudinale (de l'ordre de 1 à 5 degrés) et large transversalement (typiquement 150 degrés). La réception se fait à l'aide de faisceaux étroits dans le plan transversal (de l'ordre de 1 à 5 degrés). Pour chaque faisceau de réception, la zone du fond explorée ("cellule insonifiée") est l'intersection entre le lobe d'émission et le faisceau de réception. Pour recalibrer précisément les positions géographiques des mesures bathymétriques de part et d'autre du bateau, ces systèmes sont équipés d'une centrale inertielle qui enregistre les mouvements du navire. Des précisions de l'ordre de 0,05° pour le cap, le roulis et le tangage et de 10 cm pour le pilonnement sont atteintes. Pour corriger la courbure des rayons sonores dans la colonne d'eau, la célérité du son dans l'eau et la température sont régulièrement mesurées. La résolution longitudinale de l'EM1000 à 100 m de profondeur est de 50 cm à la verticale du bateau, et latéralement de 1,5 m à 400 m de l'émetteur.

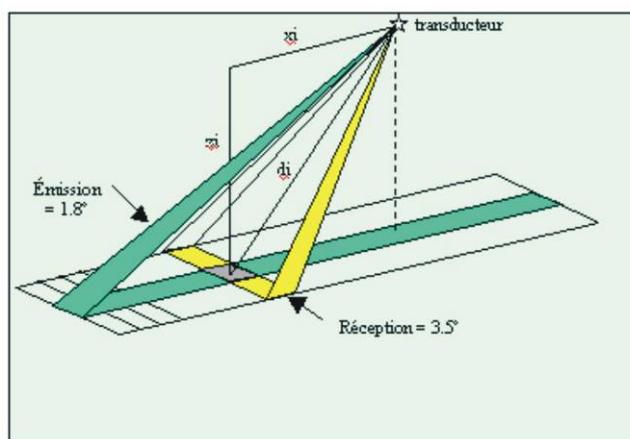


Figure 7 : Principe de fonctionnement d'un SMF

Caractéristiques	EM 1000 Simrad	Seabat 8101 Reson
Antenne	Circulaire	Circulaire
Fréquence	95 kHz	240 kHz
Nombre de faisceaux	120	145
Ouverture angulaire	150	150
Largeur faisceaux	3,3 x 3,3°	1,5 x 1,5°
Couverture	7,4 x prof.	4 à 6 x prof.
Résolution en z	3,75 cm	1,25 cm
Centrale inertielle	HIPPY 120C MKII	POV/MV320

Tableau 1 : Résumé des caractéristiques des 2 sondeurs multifaisceaux utilisés sur le secteur Glénan

### 2.1.2.2 Le sonar à balayage latéral (cf. Fiche technique FT09-F002 sur <http://www.rebent.org>)

Le sonar à balayage latéral se compose d'un engin remorqué de forme fuselé, relié à un système d'acquisition par l'intermédiaire d'un câble électroporteur (fig. 8a). Il balaye le fond à une fréquence constante, généralement de 100 kHz pour des applications de cartographie sédimentaire, jusqu'à 500 kHz pour la détection de petits objets. Il fournit en continu, et sur plusieurs dizaines à centaines de mètres de largeur, une image en niveau de gris de l'énergie rétrodiffusée par les différents substrats constituant le fond marin. Sur ces images acoustiques, encore appelées "sonogrammes", peuvent être directement différenciés et délimités avec précision, les zones de roches, des peuplements benthiques denses (maërl, moulières, crépidules, lanices, herbiers...), ou bien des figures sédimentaires modelant le fond (fig. 8b). Quelque soit la réponse acoustique, elle nécessite d'être calibrée par des prélèvements sédimentaires ou par l'imagerie vidéo sous-marine.

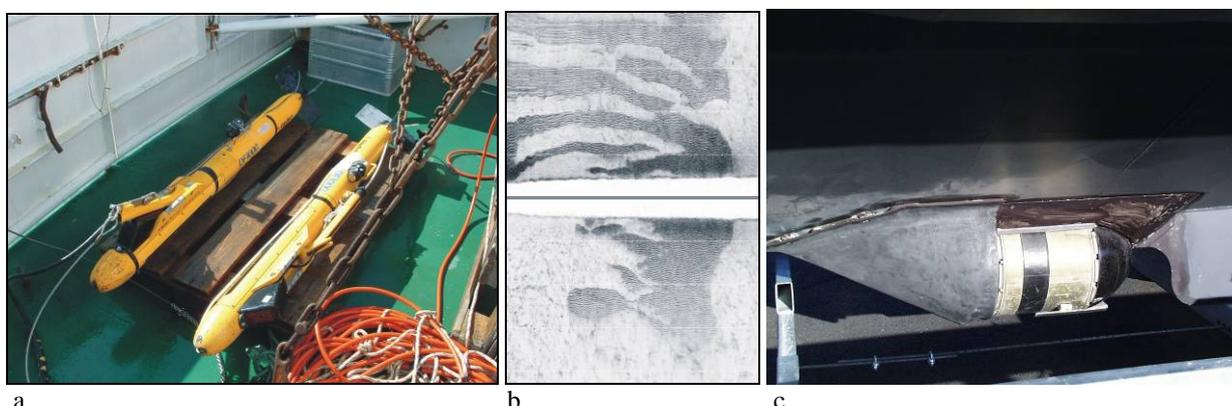


Figure 8 : (a) Sonar à balayage latéral Edgetech DF1000 ; (b) Sonogramme sur des fonds de maërl ridé (en sombre) et de sable (en blanc) ; (c) Multifaisceaux Reson 8101 avec son option sonar.

La résolution sur le fond est de l'ordre de quelques  $\text{dcm}^2$  pour une portée de 100 m et une fréquence de 100 kHz. Dans le cas du sonar équipant la vedette *Survex* utilisé pour les très petits fonds, il s'agit en fait d'une option spécifique du sondeur multifaisceaux Reson Seabat 8101 (fig. 8c).

Les systèmes acoustiques hautes fréquences de type sonar à balayage latéral sont employés depuis plusieurs années pour prospecter rapidement de larges zones côtières avec une très bonne résolution sur le fond. Ils permettent de cartographier directement certains peuplements macro-benthiques en forte densité, tels que : les herbiers de posidonies en Méditerranée (Paillard *et al.*, 1993 ; Piazzi *et al.*, 2000), les biocénoses de maërl (Augris *et al.*, 1993), à crépidules (Hamon *in* Augris et Hamon, 1996 ; Ehrhold *et al.*, 1998, Blanchard *et al.*, 2006), les peuplements d'oursins plats *Dendraster excentricus* (Fenstermacher *et al.*, 2000), à *Lanice conchilega* (Augris *et al.*, 1993 ; Degraer *et al.*, 2002), les fonds à coquille Saint-Jacques (Kostylev *et al.*, 2003), d'huîtres (Smith *et al.*, 2001), les récifs de coraux (Roberts *et al.*, 1987 ; Hovland *et al.*, 2002) et de serpulidés (Voisin *et al.*, 2005).

### 2.1.2.3 Le système RoxAnn (*cf.* Fiche technique FT09-F001 sur <http://www.rebent.org/documents/>)

Le système RoxAnn est un logiciel de classification automatique de la nature des fonds. RoxAnn a été développé dans les années 1990, initialement pour répondre aux besoins des extracteurs de granulats marins. Il analyse les échos renvoyés par le fond émis par un sondeur bathymétrique monofaisceau. L'énergie de réverbération du fond qui est enregistrée par le sondeur, est transformée par un boîtier électronique (USP) en indices de rugosité E1 et de dureté E2. E1 correspond à la terminaison du premier écho de réflexion directe sur le fond, alors que le second écho E2 résulte de la réflexion multiple des ondes sur le fond et sous la surface. Le temps-trajet étant plus long que pour E1, E2 est amplifié pour diminuer la perte de signal due à la dispersion de l'énergie réverbérée dans le milieu. La classification des fonds s'opère en temps réel par la combinaison de ces deux indices (fig. 9). En théorie, l'augmentation des valeurs du couple E1/E2 correspond à un gradient granulométrique croissant, de sorte qu'un sédiment vaseux et lisse aura un couple E1/E2 plus faible qu'un sédiment graveleux et ridé. RoxAnn est un système opérationnel autonome, pouvant acquérir des données ponctuelles peu dégradées, jusqu'à 10 à 12 nœuds dans certains cas. La cadence d'enregistrement est modulable. Pour un enregistrement toutes les 2 s, le volume des fichiers de données exportées ne représente pas plus de 2 méga octets par jour. RoxAnn est un système de cartographie souple d'utilisation mais de moyennes à basses résolutions (plurimétriques à pluridécamétriques), en fonction de la profondeur moyenne sur la zone et de l'ouverture du sondeur.

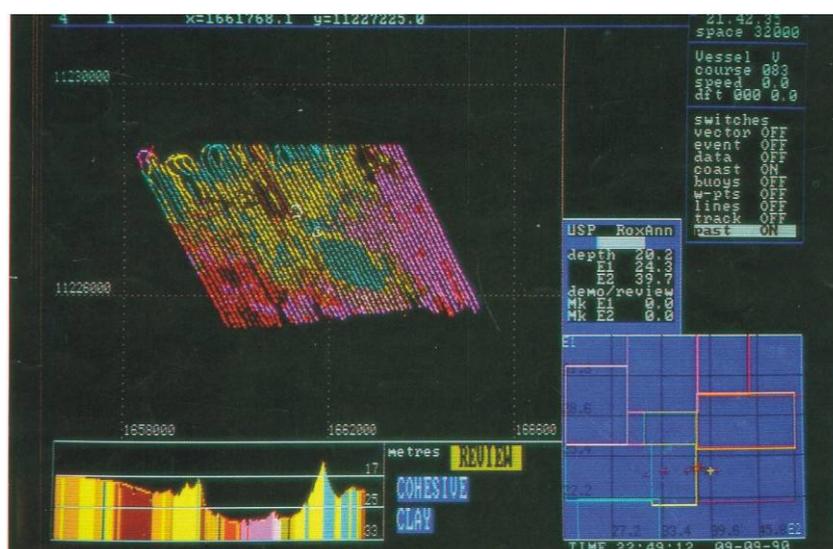


Figure 9 : Exemples de restitution des données RoxAnn en temps réel

Le système RoxAnn a fait l'objet de nombreuses études de synthèse (Foster-Smith *et al.*, 1999; Hamilton, 2001). Il a été employé avec succès pour cartographier directement les biocénoses de

maërl (De Grave *et al.*, 2000), les récifs coralliens (Williamson, 1998 ; Chevillon, 2001 ; Nunny *et al.*, 2001) ou bien des moulières (Service, 1998). Son intérêt réside dans sa capacité à détecter rapidement, et à moindre coût, la nature des fonds qui est, *a posteriori*, corrélée aux peuplements faunistiques par un échantillonnage stratifié (Murphy *et al.*, 1995 ; Sotheran *et al.*, 1995 ; Provencher *et al.*, 1997 ; Pinn *et al.*, 1998). Les exemples sont nombreux et ne se limitent pas uniquement aux biocénoses très rugueuses directement décelables par le système (Ehrhold, 2000). Il a également été mis en œuvre pour cartographier les limites des habitats à poissons plats (Greenstreet *et al.*, 1997) ou à harengs (Maravelias *et al.*, 2000) et de nombreux mollusques à valeur commerciale, tels que les coquilles Saint-Jacques (Magorrian *et al.*, 1995 ; Kaiser *et al.*, 1998).

### 2.1.3 Outils d'imagerie vidéo

Une caméra vidéo noir et blanc, très sensible à la lumière (Simrad OSPREY 0,1 lux) a été utilisée sans projecteur pour réduire l'effet de brillance engendré par la matière en suspension. La caméra est fixée soit sur un bâti vertical (structure métallique conique, fig. 10a) pour être utilisée en point fixe ou en dérive (suspendu au-dessus du fond), soit sur un traîneau (troïka) de dimension variable afin d'être remorquée, de préférence, à contre-courant sur le fond à une vitesse voisine de 1,5 nœud (fig. 10b et c). Le logiciel Vidéonav d'Ifremer (Lunven *et al.*, 2002) permet de synchroniser le time-code du magnétoscope numérique avec l'enregistrement des positions géographiques par GPS différentiel (fig. 11a). Les films sont ainsi sauvegardés sur support numérique de type cassette DVDcam (fig. 11b).

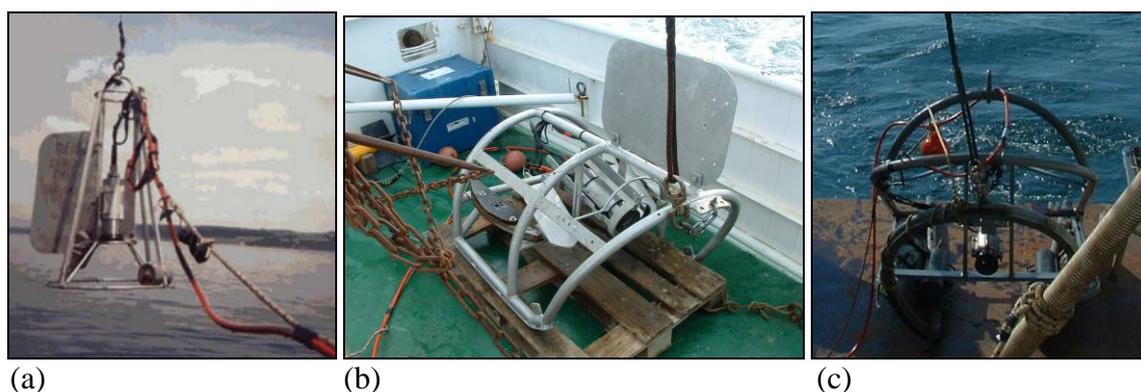


Figure 10 : Dispositifs de prise de vue sous-marine  
(a : bâti ponctuel ; b : petite troïka ; c : grande troïka )

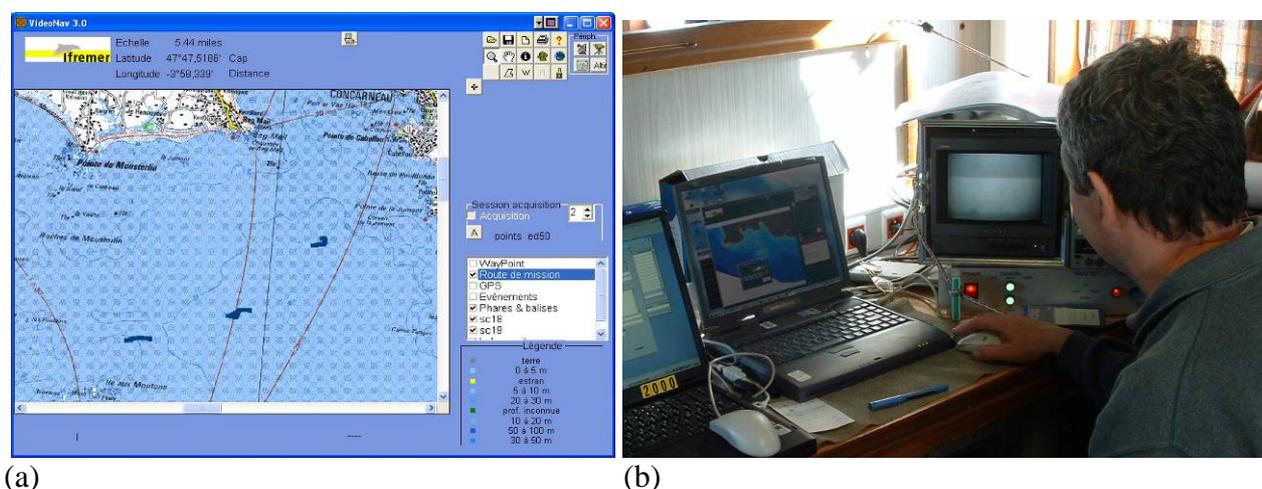


Figure 11 : Dispositif d'enregistrement des prises de vue sous-marine  
(a : copie d'écran du logiciel Vidéonav 3 ; b : centrale d'acquisition )

## 2.1.4 Engins de prélèvements sédimentaires et biologiques

### 2.1.4.1 Benne Shipek

Il s'agit d'une benne cylindrique qui agit par raclage-découpage du fond, permettant de caractériser rapidement la nature du sédiment. Celui-ci est emprisonné dans la partie mobile semi-cylindrique qui pivote et se libère de la tension du ressort au moment du contact avec le fond (fig.12a et b). La surface échantillonnée est de 4 dm<sup>2</sup>, le volume max. de sédiment récolté de 3 litres, et la profondeur max. de prélèvement de 10 cm. Deux lests peuvent être employés en fonction de la dureté des sédiments ; 60 et 90 kg., seul le premier a été mis en œuvre.

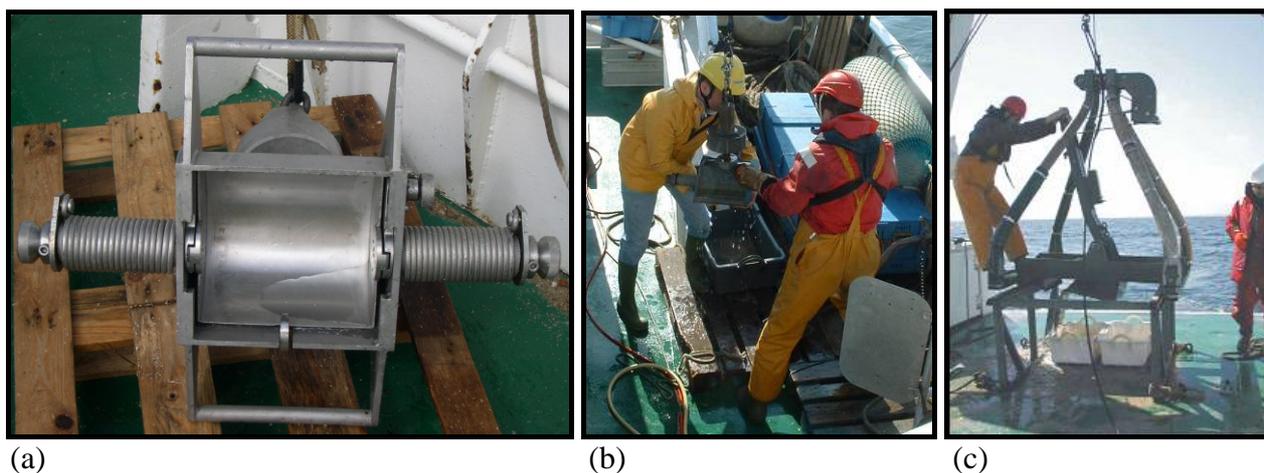


Figure 12 : Photos de la benne Shipek (a et b) et de la benne Hamon (c)

### 2.1.4.2 Benne Hamon

La benne Hamon présente l'avantage de fonctionner sur tous les types de fonds meubles, et en particulier dans les sédiments grossiers. C'est ce qui nous a fait la préférer à la benne Smith Mc-Intyre, très utilisée pour échantillonner la macrofaune des sédiments fins, compte tenu de la diversité des fonds rencontrés autour de la Bretagne et parfois sur un même secteur, comme dans le cas de Glénan. En outre, elle est robuste et simple d'utilisation, mais son encombrement et son poids nécessitent des moyens de mise en œuvre adaptés.

Le modèle d'origine permet de prélever sur une surface de 1/4 m<sup>2</sup> et une profondeur d'environ 30 cm (fig. 12c). Nous avons utilisé un godet plus petit (prélèvement sur 1/8 m<sup>2</sup>, à la même profondeur), de manière à pouvoir réaliser des répliquats (meilleure estimation de la diversité spécifique et des abondances), en évitant d'avoir des volumes de sédiment trop importants à trier. L'effet de chasse qu'elle provoque en arrivant au fond et son mode de déclenchement à la remontée, font que la petite faune vagile à la surface du fond est sous-échantillonnée ; en revanche sa bonne pénétration dans le sédiment permet de récolter des espèces profondément enfouies.

## 2.2 Stratégie d'acquisition des données

Les levés géophysiques réalisés dans le cadre du REBENT reposent sur la combinaison de plusieurs capteurs acoustiques remorqués ou de coque, en fonction de la profondeur et de la dangerosité des fonds à la côte. Une première prospection est réalisée à bord du *Thalia* (annexe 1) du large jusqu'à 10 m de profondeur environ. Il est équipé d'un sondeur multifaisceaux EM1000 pour acquérir la bathymétrie et remorque un sonar à balayage latéral (DF1000) pour l'imagerie. Les très petits fonds, entre 10 m et 1 m de profondeur, ont été prospectés, pour partie (Nord et Est de l'archipel) avec une vedette équipée d'un sonar et d'un sondeur multifaisceaux de coque (annexe 1).

## 2.2.1 Systèmes acoustiques

### 2.2.1.1 Le sondeur multifaisceaux EM1000

La direction des profils et la vitesse d'acquisition sont conditionnées, dans le cadre des levés REBENT, par la stratégie du levé au sonar à balayage latéral (max. 5 nœuds et espacement de 180 m entre profils). Cela implique des "trous d'acquisition bathymétrique" sur le secteur, sachant qu'à une profondeur de 15 m, la surface balayée par le sonar latéral sera de 200 m et celle de l'EM1000, de 105 m max. Avant le démarrage des travaux avec le sondeur multifaisceaux, un marégraphe de type OT311 Mors est mouillé au centre de la zone pour corriger ultérieurement les sondes des variations du plan d'eau (marée). La température est mesurée régulièrement en route, sur toute la hauteur d'eau, à l'aide de sondes perdables de type XBT (mesure de la température). La sonde XBT est lancée avec un pistolet (fig. 13) relié à un ordinateur par un petit fil de cuivre qui transmet le signal électrique et finit par casser. La température s'enregistre directement sur un PC. La célérité (vitesse du son dans l'eau) est déduite ensuite du profil de température et intégrée au logiciel Caraïbes qui pilote l'acquisition de l'EM1000. Seule la mission REBENT1 (tab. 3) était équipée de l'EM1000.

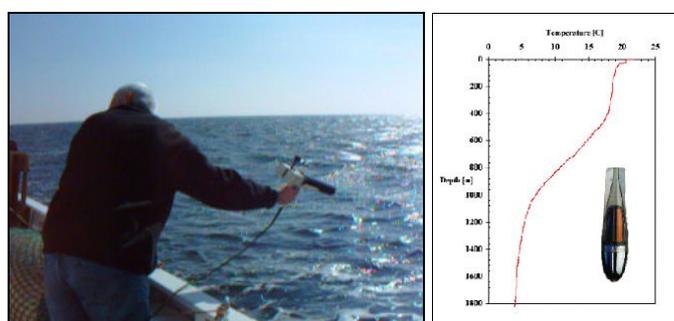


Figure 13 : Tir de sonde XBT et profil de  $t^{\circ}$

### 2.2.1.2 Le sonar à balayage latéral Edgetech DF1000

Ce système, composé d'un poisson tracté derrière l'embarcation, à une altitude constante au-dessus du fond (entre 10 et 15 m), a été mis en œuvre pour des fonds supérieurs à 10 m autour de l'archipel. La portée latérale pour l'Edgetech DF1000 a été fixée à 100 m (110 m effectif) pour une fréquence de 100 kHz. Cette fauchée (2 fois la portée) offre, à l'échelle des secteurs REBENT, un bon compromis entre la détection des objets recherchés sur le fond (biocénoses) et la durée d'exécution du levé. 445 km de profils ont été acquis lors des deux campagnes (tab. 3 et fig. 14). La surface moyenne couverte est de l'ordre de 1,4 km<sup>2</sup>/heure à la vitesse moyenne de 5 nœuds. Le recouvrement entre les profils était de l'ordre de 12%. Les mêmes paramètres d'acquisition (fréquence, portée, ouverture, contraste) ont été conservés entre REBENT1 (mars 2003) et REBENT6 (avril 2005). Le choix dans la direction des profils sonar est primordiale. A plusieurs reprises, le plan théorique de levé favorisant une altitude constante du poisson au-dessus du fond et minimisant les phases de giration, a été modifié une fois sur zone, de manière à insonifier dans la meilleure direction, les figures sédimentaires telles que les petites dunes hydrauliques de sable graveleux ou de maërl (fig. 15). Il est donc nécessaire de recouper le plus longitudinalement possible, ces figures afin de pouvoir mieux interpréter, *a posteriori*, l'intensité et la direction des courants sur le fond.

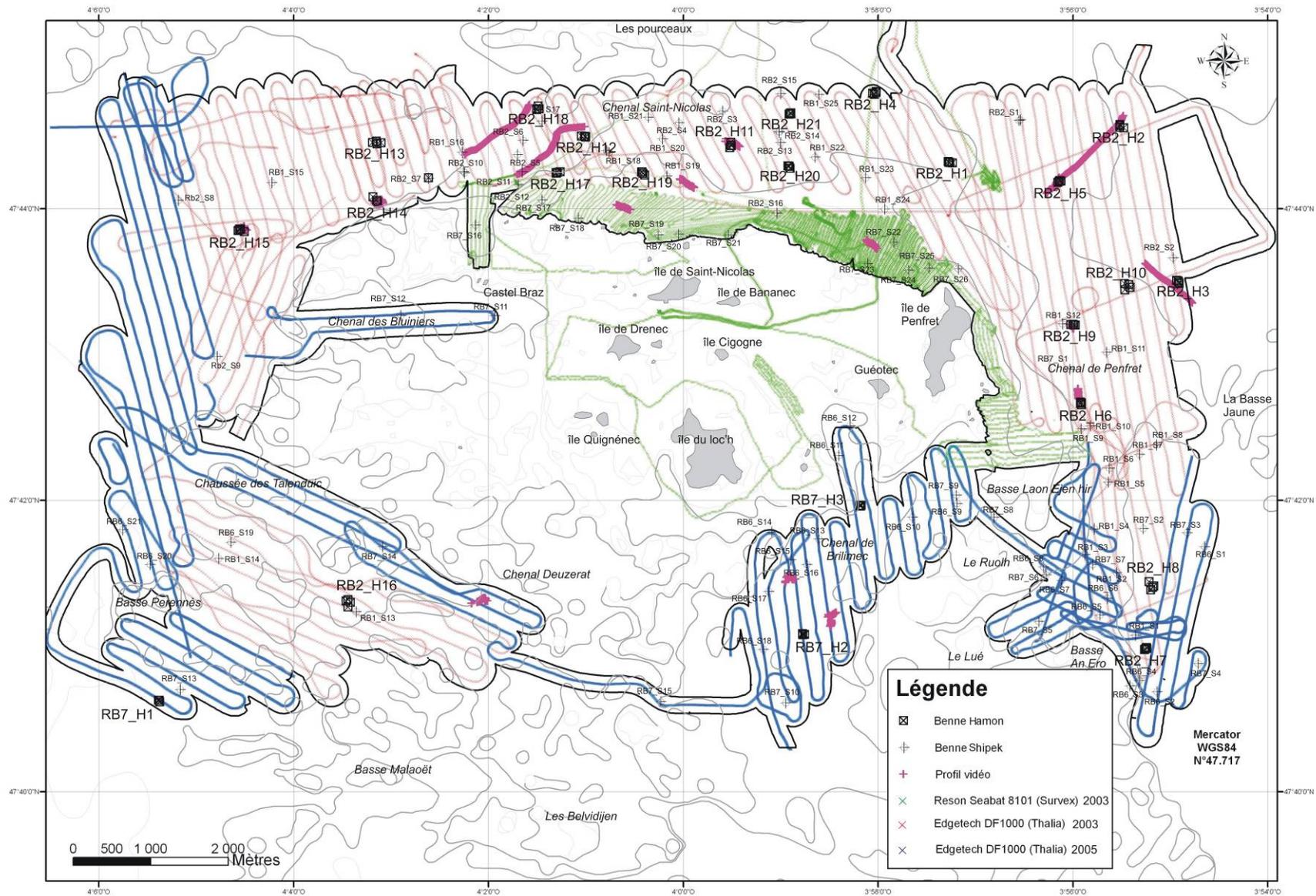


Figure 14 : Travaux de prospection acoustique et d'échantillonnages sédimentaires et biologiques sur le secteur Glénan

Le logiciel d'acquisition ISIS sonar de la société Triton Elics permet de rejouer, le soir même, les profils un à un, et de pointer les signatures acoustiques à échantillonner. Lors de REBENT6 (en 2005, tab. 3), le prêt du module Delph Map par Intechmer, nous a permis de générer en fin de journée, les mosaïques acoustiques avec un pas de 20 cm (format tiff géoréférencé). Les principales signatures acoustiques qui composent alors la mosaïque de réflectivité importée sous SIG, sont calibrées à partir de stations de prélèvement définies directement sur la mosaïque.

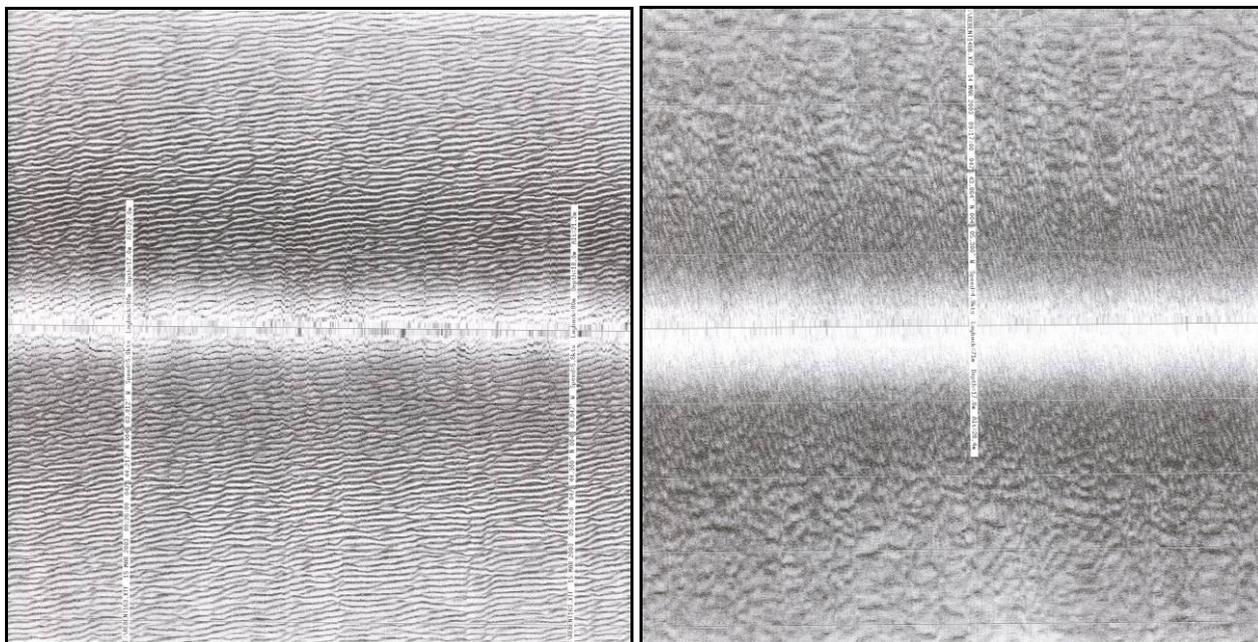


Figure 15 : Distorsion des mégarides sablo-graveleuses en fonction de la direction des profils sonar (profils Edegetech DF1000 perpendiculaires, à 9 mn. d'intervalle, nord-ouest de Glénan)

### 2.2.1.3 Le Reson Seabat 8101 (vedette Survex)

La stratégie de levés en très petits fonds est radicalement différente de celle plus au large. La proximité des hauts fonds, les variations rapides de pente et l'augmentation des marques flottantes de surface (casiers, filets), font que, dans la pratique, le choix de la direction des profils et de la portée latérale s'effectue presque en temps réel. Le logiciel Arcpad 6.0 (Société Esri), couplé à un GPS, permet de suivre en temps réel l'évolution du bateau avec en "toile de fond" l'orthophotographie littorale (fig. 16). Il contribue de cette manière à une meilleure optimisation du levé. Sur le secteur Glénan, la principale difficulté vient du fait que la gamme de profondeur varie constamment. Il est nécessaire de moduler la portée sonar pour limiter une dégradation rapide de l'imagerie sonar. En règle générale, la portée latérale sélectionnée était de 2,5 à 4 fois la profondeur d'eau, avec un maximum de 50 m et un minimum de 15 m. Dans des conditions de mer calme, l'acquisition a pu se faire à 6,5 nœuds, avec une portée de 35 m pour 8 m de profondeur. Lorsque l'état de la mer se dégrade, la centrale inertielle compense moins bien les mouvements de la plateforme et le bruit acoustique latéral augmente, ce qui nécessite de réduire significativement la vitesse et la portée du sonar. En pratique, dans certaines zones où le gradient bathymétrique est rapide et fort (cas des Courreaux entre les îles de Glénan), il faut modifier toutes les 10 minutes la portée sonar (22 changements lors de la journée du 3/10/2003). La surface moyenne couverte est de l'ordre de 0,25 km<sup>2</sup>/heure. 342 km de profils ont été enregistrés en 3 jours (tab. 3 et fig. 14).

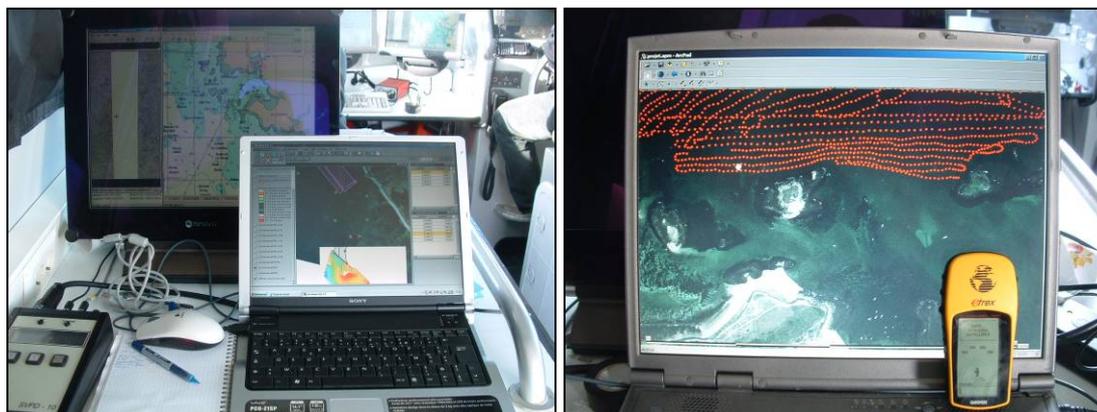


Figure 16 : Poste scientifique à bord du Survex et suivi en temps réel à partir d'Arcpad6 (© Esri)

#### 2.2.1.4 Le système RoxAnn de classification automatique des fonds

Ce système a été testé lors de la première campagne (mars 2003). L'USP était connectée directement à la sortie du sondeur Furuno 200 kHz (FE 881) du Thalia. Un PC équipé de deux ports séries (un pour la connexion DGPS, l'autre pour l'importation des données de l'USP), fonctionnant sous Windows 98, permettait d'acquérir et de visualiser les couples E1/E2. L'USP avait été configurée par les techniciens de la société Stenmar Micro Systems Ltd pour fonctionner avec la puissance et la fréquence du sondeur du bord. Le logiciel d'acquisition était le programme Searano. La mise en œuvre du système passe par une phase préliminaire de pré-calibration électronique. Elle consiste à repérer un fond homogène de vase (port de Concarneau) et d'en définir les couples moyens de E1/E2 pour une fréquence de 200 kHz. Le gain de l'amplificateur est alors ajusté pour produire un signal suffisant pour détecter ces échos. L'objet de cette étape est de fournir par la suite des valeurs brutes de E1 et E2 cohérentes, sans avoir à retoucher au gain. La période d'acquisition a été fixée sur le secteur Glénan à 3s. Elle représente un bon compromis pour des fonds entre 10 et 25 m de profondeur avec ce type de sondeur. Elle permet d'insonifier tout le fond le long du profil avec un léger recouvrement pour les profondeurs les plus faibles. Les profils réalisés sont les mêmes que ceux obtenus par sonar à balayage latéral, soit 279 km parcourus.

#### 2.2.2 L'échantillonnage sédimentaire

La stratégie de calibration sédimentaire des faciès acoustiques a été le plus généralement conduite à la benne Shipek (lest de 60 kg). En fonction de la complexité et de l'étendue des signatures acoustiques sur le secteur, entre 1 et 29 stations au max. (tab. 2) ont été prélevées pour identifier chaque faciès acoustique. Seuls 2 faciès (II2 et III2) ont été reconnus uniquement au moyen de la benne Hamon.

Classe	Faciès acoustique	Surface km <sup>2</sup>	Rebent 1	Rebent 2	Rebent 6	Rebent 7	Total
I	1	6,4	6	4	4	2	16
	2	2,6	4		3	2	9
II	1	5,8		2		3	5
	2	0,7					
III	1	0,7	1	3		6	10
	2	2					
	3	2,5	1	1		1	3
IV	1	9,4	5	3	3	1	12
	2	26	9	3	8	9	29

Tableau 2 : Nombre de prélèvements à la benne Shipek, par mission et par faciès acoustique

### 2.2.3 La vidéo sous-marine

Les profils vidéos n'ont pas été fait systématiquement pour décrire chaque habitat. Les séquences enregistrées de 15 à 30 mn de durée, avaient pour but de mieux comprendre des signatures acoustiques parfois très localisées (tâches longilignes, forme dentelée...). Dans cette optique, de longs profils ont recoupé transversalement les unités morpho-sédimentaires qui drapent le nord de l'archipel (fig. 14). Les champs de petites dunes hydrauliques ont également été reconnus à l'ouest et au sud-ouest (chenal Deuzerat), ainsi que le faciès à cratères qui occupe le fond de la passe est. Des profils plus courts ont été opérés sur le banc de maërl au nord de Saint-Nicolas et de Penfret.

### 2.2.4 Echantillonnage biologique

En se référant à la carte de distribution des principaux faciès acoustiques (niveaux de gris), et avant même que l'interprétation morphosédimentaire ait pu être établie, un échantillonnage biologique stratifié a été réalisé à la benne Hamon (1/8m<sup>2</sup>). Il convient de souligner tout l'intérêt que représente cette stratification en terme d'économie de moyens, en particulier pour ce qui concerne par la suite l'analyse taxonomique de la faune, très coûteuse en temps. Ceci, sans entacher la précision apportée par la suite à la cartographie des communautés benthiques qui s'appuie pour l'essentiel sur celle des entités morpho-sédimentaires précisément cartographiées par méthodes acoustiques.

Au total 23 stations ont été échantillonnées, à raison de 3 réplicats par station (fig. 14). Les prélèvements sont tamisés à bord sur une table de tri dont le maillage le plus fin est de 2 mm (maille ronde) et les refus de tamis sont bocalisés dans une solution de formol à 5%, en vue des analyses en laboratoire.

## 2.3 Calendrier des travaux et bilan des données acquises

Le secteur subtidal REBENT de Glénan a été partiellement couvert (63%), en raison de la dangerosité des fonds à l'ouest et au sud de l'archipel. L'ensemble des données récoltées lors des campagnes océanographiques est résumé dans le tableau 3 et sur la figure 14.

Campagne	Date	Bateau	Sonar (km)	SMF (km)	RoxAnn (km)	Prélèvements (type)	Vidéo
REBENT 1	14/03 au 20/03/2003	Thalia	279	279	279	25 Shipek (sédim.)	1h30mn
REBENT 2	22/10 au 25/10/2003	Thalia				16 Shipek (sédim.) 21 Hamon (sédim.) 63 Hamon (biol.)	3h03 mn
Survex 1	04/11 au 07/11/2003 et 17/02/2004	Survex	342	342			
REBENT 6	08/04 au 11/04/2005	Thalia	166			20 Shipek (sédim.)	39 mn
REBENT 7	05/06 au 06/06/2005	Thalia				26 Shipek (sédim.) 3 Hamon (biol.)	46 mn

Tableau 3 : Chronologie et nombre de données récoltées sur le secteur Glénan

## 2.4 Analyses bathymétriques et morphosédimentaires

### 2.4.1 Analyses bathymétriques

#### 2.4.1.1 Reson 8101

En ce qui concerne la bathymétrie, le levé en temps réel s'est fait avec une maille de 1 x 1m. La correction de la marée est obtenue, *a posteriori*, à partir des mesures de hauteur d'eau enregistrées par un marégraphe (Valeport VLR 740) fixé sur un quai à Concarneau (côte marégraphe à 6,04 m par rapport C.M.). Au post-traitement, des grilles de sondes de 1x1m, 2x2m et 5x5m, sont générées par le logiciel Qinsky 7.1. La précision en z est de l'ordre 10 cm.

#### 2.4.1.2 EM1000 Simrad

La procédure de post-traitement réalisée à partir de Caraibes 3.1 est décrite dans la fiche technique sur les sondeurs multifaisceaux (cf. <http://www.rebent.org/documents/>). Les contraintes de post-traitement n'ont pas permis d'exploiter dans les délais le jeu de données sur Glénan.

#### 2.4.2 Analyse et interprétation des données sonar (cf. <http://www.rebent.org/documents/>)

L'ensemble des traitements sont réalisés dans Caraibes 3.1.

##### 2.4.2.1 Traitement de la navigation

La première étape consiste à traiter la navigation du poisson Edgetech DF1000. La position du poisson remorqué est corrigée longitudinalement toutes les secondes à partir du fichier de layback fourni par Genavir (longueur de câble filée + distance de la poulie compteuse à l'antenne de réception DGPS). Cette navigation est par la suite lissée avant le mosaïquage des profils. Le module Regina (Caraibes 3.1) permet également de recalibrer certains tronçons de la navigation par rapport à des objets parfaitement positionnés sur le fond (plateau rocheux, figures sédimentaire), soit à partir des données bathymétriques du sondeur multifaisceaux, soit à partir de l'imagerie du même sondeur ou d'un autre capteur mise en œuvre pendant la mission.

##### 2.4.2.2 Traitement des données sonar

Il s'agit de traiter chaque profil dans une chaîne de traitement spécifique du logiciel Caraibes 3.1 (fig. 17). Elle se compose des modules suivants :

- *Imisol* : Importation des fichiers sonar XTF bruts
- *Edihop* : Correction de détection de hauteur et de réduction de portée
- *Corire* : Correction des images rectilignes (obliquité et halo)
- *Edilin* : Correction des valeurs d'en-tête de ligne
- *Spreamo* : Préparation à la constitution d'une mosaïque
- *Sreamo* : Génère une mosaïque à un pas terrain donné (1m et/ou 30 cm)
- *Ermono* : Fusionne chaque mosaïque par profil en une seule image
- *Cartim* : Visualisation et exportation des mosaïques sous forme de raster géoréférencé

##### 2.4.2.3 Interprétation des mosaïques de réflectivité :

Les mosaïques sont importées dans un SIG (ArcGis 8.3 © Esri) afin d'être interprétées.

La première étape consiste à vectoriser au 1/2000<sup>ème</sup>, dans la projection de la mosaïque, les contours délimitant les principales classes acoustiques au nombre de 5 sur le secteur de Glénan (tab. 4) et les figures sédimentaires (dunes hydrauliques, sillons d'érosion ...). Ces dernières sont des éléments fondamentaux pour caractériser la dynamique sédimentaire du secteur (direction et parfois sens du transport sédimentaire en charriage sur le fond) et le type de courant responsable du modelé du fond (houle, marée). Cette étape à l'écran, s'accompagne de fréquents allers-retours avec les bandes sonar papier pour lever les doutes ou préciser certaines limites de faciès. En effet, la perception à l'écran de variations ténues de niveaux de gris ou de textures n'est pas toujours aussi facile du fait des effets de lissage ou de rehaussement de contrastes effectués en amont dans les modules *Edihop* et *Cartim*.

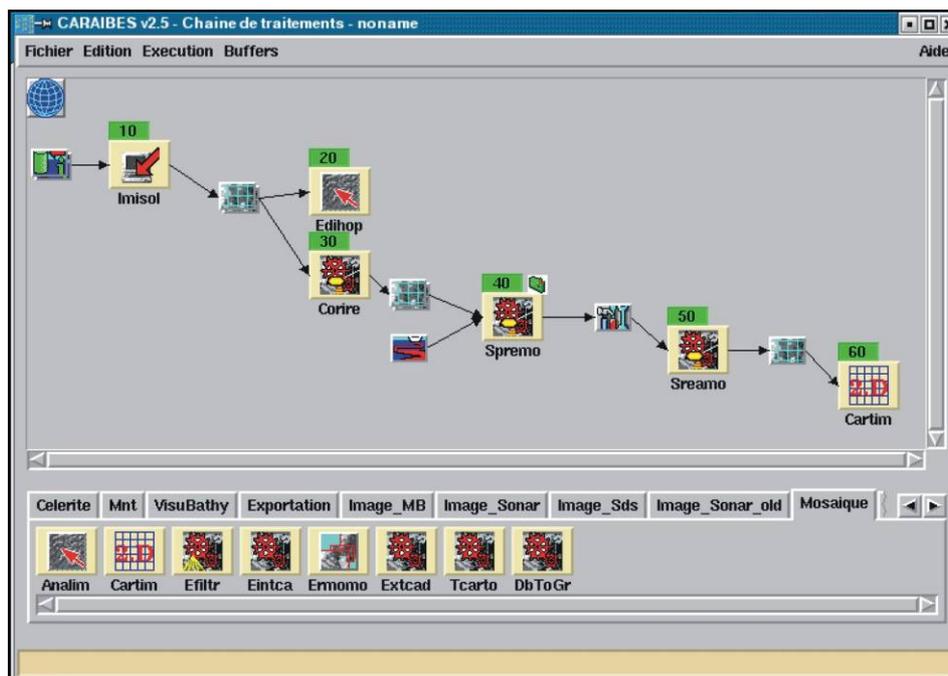


Figure 17 : Chaîne de traitements des données sonar dans Caraires 3.1

La deuxième étape consiste à identifier les signatures acoustiques en terme de nature de fond (granulométrie, morphologie). Elles ont été calibrées à partir des observations du fond par prélèvements ou vidéo (cf. § 2.2.2 et 2.2.3). Chaque faciès ainsi reconnu, au nombre de 17 pour la couverture sédimentaire meuble et de 4 pour la roche (tab. 4), est décrit dans une fiche récapitulative type (*annexe 2*) dans laquelle sont résumés :

- les éléments de la campagne : nom de la mission, secteur géographique, date
- les paramètres d'acquisition : type de sonar , fréquence, ouverture, portée, contraste, ...
- le type de faciès : description sommaire et distribution sur le cartouche joint
- les éléments de calibration :
  - n° de prélèvement et type de benne (S pour Shipek, H pour Hamon) par campagne, en rouge lorsque l'échantillon a été traité pour la granulométrie
  - nom des profils vidéo traversant le faciès
  - nature du sédiment constituant le faciès
  - espèces caractéristiques
  - classification : norme française et dite EUNIS (cf. § 2.4.4)

#### 2.4.3 Analyse des données RoxAnn (cf. <http://www.rebent.org/documents/>)

Les 50424 couples de données RoxAnn acquis lors de la campagne REBENT 1 (tab. 3) ont été épurés des valeurs aberrantes. Afin d'obtenir une couverture continue sur le secteur investigué, les données de rugosité (fig. 18a) et de dureté (fig. 18b) ont été maillées par interpolation (méthode des plus proches voisin avec un rayon de 100 m).

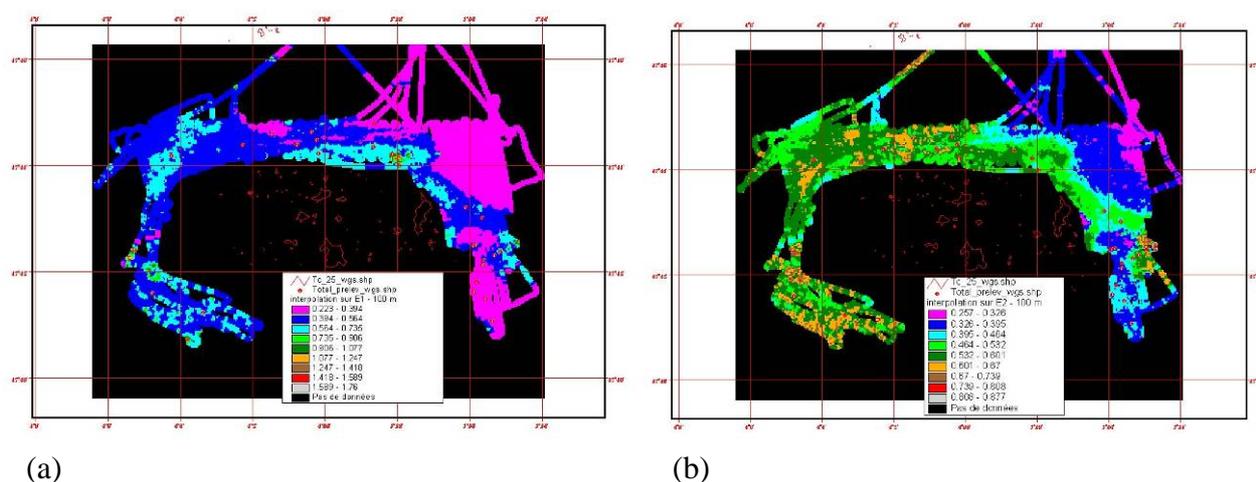


Figure 18 : Carte d'interpolation des indices de rugosité et de dureté

Classe	Niveau de gris	Texture	Faciès acoustique	Classification sédimentaire	% carbonate	Médiane (mm)	Code Eunis	Typologie
I	blanc	homogène	1A	Sable moyen	56	0,348	SmS	I1A
			1B	Vase - Sable fin		0,085	MsM	I1B
		ridée	2	Sable moyen à grossier	82	0,386	SmS	I2
II	gris pâle	homogène	1A	Vase - Sable fin		0,157	MsM	II1A
			1B	Gravier vaseux	66	0,36	Cs	II1B
		tacheté	2	Sable fin vaseux		0,173	Ms	II2
III	gris moyen	homogène	1A	Sable moyen	72	0,285	SmS	III1A
			1B	Sable grossier graveleux	75	0,603	Cs	III1B
		cratère	2	Vase - Sable fin		0,082	MsM	III2
		ridée	3	Sable grossier	70	0,649	Cs	III3
IV	gris sombre	homogène	1A	Gravier	52	4,139	Cs	IV1A
			1B	Gravier vaseux		3,218	Ms	IV1B
			1C	Maërl sableux			Cs	IV1C
		ridée	2A	Gravier	36	4,085	Cs	IV2A
			2B	Gravier - Sable grossier	51	1,595	Cs	IV2B
			2C	Sable grossier graveleux	80	1,11	Cs	IV2C
		2D	Sable grossier	21	1,003	Cs	IV2d	
		2E	Maërl		0,3554	Cs	IV2E	
V	rugueuse		A	Roche compacte				
			B	Hétérogène rocheux (roche sub-affleurante)				
			C	Hétérogène rocheux (semis de blocs)				
			D	Hétérogène ridé et rocheux				

Tableau 4 : Liste des faciès acoustiques reconnus et calibrés sur le secteur

#### 2.4.4 Analyses granulométriques

La caractérisation de la nature du fond se base sur l'analyse granulométrique des échantillons prélevés sur le secteur. La granulométrie est l'étude de la répartition des tailles de grains dans un échantillon. La distribution des principales fractions sédimentaires reconnues (cailloutis, graviers, sables, sables fins, vase) permet de caractériser rapidement le type de sédiment. Les coupures

retenues pour calculer les pourcentages des différentes classes sont celles de la norme européenne ISO/DIS 16665 : 2005 (traitement des échantillons de la macrofaune des sédiments meubles).

Le protocole d'analyse des échantillons est le suivant :

L'échantillon prélevé est décongelé, rincé à l'eau douce avant d'être séché en étuve, entre 40 et 60°, pendant 24 heures. Une fraction de l'échantillon (environ 300 g) est lavée sous un tamis de 50 µm pour mesurer la fraction en pélites. La fraction grossière est tamisée pendant 15 mn sur une colonne vibrante de 11 à 13 tamis de taille de maille décroissante (norme Afnor). Chaque refus de tamis est pesé, transcrit en pourcentage et reporté sur une courbe granulométrique semi-logarithmique. Entre chaque échantillon, les tamis et les récipients doivent être minutieusement nettoyés pour éviter toute contamination et limiter l'erreur de mesure lors de la pesée. Le nettoyage des tamis se fait à l'aide d'un pinceau ou d'une petite cuve à ultrason. Pour les prélèvements des campagnes REBENT 6 et 7, le taux de carbonate a été mesuré également selon la technique du calcimètre Bernard. Ce calcimètre permet de mesurer le volume de CO<sub>2</sub> dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) présent dans le sédiment remonté.

A partir de la courbe granulométrique de distribution des grains, plusieurs paramètres (moyenne, indices de dispersion, d'asymétrie, d'acuité) sont calculés par la méthode des moments statistiques (Seaward-Thomson et Hays, 1973 ; Rivière, 1977) avec le logiciel GRADISTAT 4.0 (Blott et Pye, 2001). Tous les résultats des analyses et les métadonnées associées aux échantillons sédimentaires prélevés dans le cadre du REBENT sont résumés dans une fiche de synthèse granulométrique (*annexe 3*).

Cette fiche est constituée des éléments suivants :

- Les références de l'échantillon : nom, campagne, position géographique, ellipsoïde d'acquisition, profondeur.
- Une ou plusieurs photographies prises à bord.
- Un tableau de synthèse des pourcentages en différentes fractions, associé à un histogramme granulométrique. L'histogramme donne pour chaque classe granulométrique (abscisse) le pourcentage (ordonnée) par rapport au poids total du sédiment. La distribution peut être unimodale ou plurimodale. Les distributions plurimodales indiquent un mauvais classement des matériaux dû à des mélanges détritiques ou bio-détritiques.
- Un tableau récapitulatif des refus (en g) de chaque tamis, associé à une courbe semi-logarithmique. La pente de la courbe permet d'apprécier si l'échantillon est plus ou moins bien trié.
- Un tableau qui fournit plusieurs types de classification :
  - une première classification correspondant à celle utilisée pour la carte des sédiments du plateau aquitain (Lesueur et Klingébiel, 1986) modifiée pour intégrer de nouveaux types : lorsque le pourcentage en fraction sup. à 2 mm dépasse 30 % et pour dissocier les sables moyens des sables fins et très fins (*annexe 4*). Les types sédimentaires sont alors déterminés en fonction de la médiane (P50 en mm), de la teneur en vase, des pourcentages des principales classes sédimentaires et du pourcentage en carbonate, lorsqu'il est mesuré.
  - la classification d'ordre I utilisée pour EUNIS (fig. 19), relative aux habitats marins selon le diagramme de Folk (1954) modifié (Connor *et al.*, 2004 ; Davies *et al.*, 2004), qui différencie 4 types de sédiments (grossiers, mélanges, sables et sable vaseux, vases et vase sableuse).

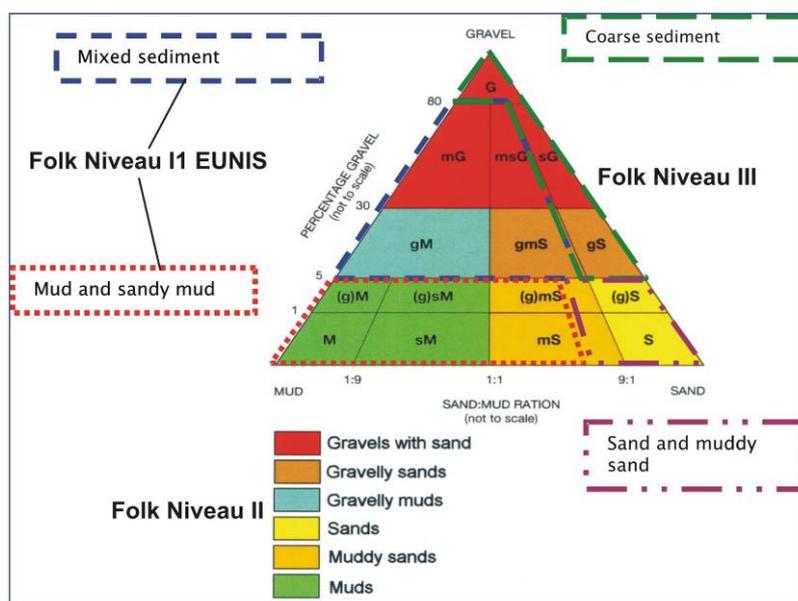


Figure 19 : Classification sédimentaire selon Folk (1954)

- la classification d'ordre II (intermédiaire), selon le diagramme triangulaire (gravel, sand, mud) de Folk (1954) qui différencie 6 types de sédiments par regroupement des types d'ordre III (fig. 19).
- la classification d'ordre III, selon le diagramme triangulaire (gravel, sand, mud) de Folk (1954) qui différencie 15 types de sédiments (fig. 19).

## 2.5 Analyses biologiques

### 2.5.1 Tri et analyse taxonomique des échantillons

Au laboratoire, les refus de tamis (2 mm) sont triés et les individus sont identifiés, dans la mesure du possible au niveau spécifique, et dénombrés. Les taxons se réfèrent à l'E.R.M.S (European Register of Marine Species - Costello *et al*, 2001). Pour un certain nombre d'individus ayant posé des problèmes d'identification, une recherche bibliographique approfondie s'est avérée nécessaire sans parfois apporter de réponse satisfaisante.

A noter par ailleurs qu'il n'a pas été procédé à des évaluations de biomasse.

### 2.5.2 Traitements des données

L'objectif est de définir, à partir de la matrice générale stations/espèces, et en se référant aux données morphosédimentaires, les grandes entités de peuplements benthiques du secteur étudié et de les caractériser.

#### 2.5.2.1 Analyses univariées

Divers paramètres sont utilisés dans le but de décrire la structure des peuplements. Des variables telles que la richesse spécifique (moyenne et totale), l'abondance et la biomasse moyenne (non mesurée dans cette étude), ainsi que des indices de diversités permettent de caractériser et comparer globalement la structure des peuplements (Barbault, 1992).

La richesse spécifique : se définit par le nombre S d'espèces récoltées dans n échantillons.

L'abondance : se définit par le nombre d'individus par unité de surface (m<sup>2</sup>).

## Indices de diversité

- Indice de Shannon et Weaver (H') et équitabilité (J)

$$H' = - \sum ((N_i/N) \times \log_2 (N_i/N))$$

N<sub>i</sub> : nombre d'individus d'une espèce donnée

N : nombre total d'individus

H' est nul si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule espèce, il est minimal si une espèce domine le peuplement et il est maximal quand toutes les abondances sont réparties équitablement entre les espèces (Frontier, 1983). L'indice de Shannon-Weaver est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité J de Pielou (Pielou, 1966) qui représente le rapport de H' sur l'indice maximal théorique dans le peuplement (H<sub>max</sub>).

$$J = H'/H_{max} = H'/\log_2 S$$

L'équitabilité varie de 0 à 1 : elle tend vers 0 quand la quasi totalité des effectifs est concentré sur une même espèce et elle est de 1 lorsque toute les espèces ont la même abondance (Barbault, 1992).

- Modèle DIMO (Diversity Monitoring)

Cette représentation permet la visualisation de la richesse spécifique ( $\log_2 S$ ), de l'indice de Shannon-Weaver (H') et de l'équitabilité (J) sur un même plan, dans le but d'analyser la structure des peuplements (Qinghong, 1995).

$$J = H'/\log_2 (S) = \tan (\alpha)$$

## Structure trophique des peuplements

A chaque espèce est affecté, dans la matrice, son appartenance à l'une des 8 catégories trophiques (classification adaptée de Hily et Bouteille, 1999) codées de 2 à 9 (tab.5).

Groupes trophiques	Code
Carnivores	2
Nécrophages	3
Herbivores	4
Détritivores	5
Suspensivores	6
Dépositivores sélectifs	7
Dépositivores non sélectifs	8
Microbrouteurs	9

Tableau 5: Codes des catégories trophiques

## Indices biocénétiques

- Indice de constance (ou présence)

Dans chaque entité j, f<sub>ij</sub> représente la fréquence de l'espèce i définie comme le rapport du nombre de stations où l'espèce est présente (n<sub>si</sub>) au nombre total de stations N<sub>sj</sub> constituant l'entité.

$$f_{ij} = 100 \times n_{sij} / N_{sj}$$

Pour pallier l'hétérogénéité du nombre de stations entre les différentes entités, le coefficient de présence (ou indice de constance) présence P a été employée.

$$P_{ij} = 100 \times f_{ij} / (f_{i1} + \dots + f_{ij} + \dots + f_{ik})$$

- Indice de fidélité

Il se définit comme le rapport de la fréquence de l'espèce i dans l'entité considérée, à la somme des fréquences de l'espèce considérée dans chaque entité de la zone étudiée.

$$F_{ij} = 100 \times (f_{ij} / \sum f_i)$$

Les résultats de ces indices sont répartis en plusieurs catégories, par ordre croissant de constance et de fidélité

Indice de constance		Indice de fidélité	
< 12%	espèces rares	< 10%	espèces accidentelles
de 13 à 25%	espèces peu communes	de 11 à 33%	espèces occasionnelles
de 26 à 50%	espèces communes	de 34 à 50%	espèces accessoires
de 51 à 100%	espèces constantes	de 51 à 66%	espèces préférantes
		de 67 à 90%	espèces électives
		de 91 à 100%	espèces exclusives

- Coefficients de dominance (D) et de Présence x Dominance (DxP) (Glémarec, 1963)

Le coefficient de dominance D permet de tenir compte de l'importance de l'effectif de l'espèce ( $n_{eij}$ ) par rapport à l'effectif total de l'entité ( $N_{ej}$ ) au sein de l'entité.

$$D_{ij} = 100 \times n_{eij} / N_{ej}$$

Les espèces ayant les plus fortes valeurs de coefficient (DxP) sont celles qui sont les mieux représentées, à la fois en termes de présence et d'effectif dans les stations de l'entité considérée.

### 2.5.2.2 Analyses multivariées.

Deux techniques d'analyses multivariées ont été appliquées à la matrice d'abondances des espèces : une méthode de regroupement (Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)), ainsi qu'une méthode d'ordination (Multi Dimensional Scaling (MDS)). Préalablement, la matrice d'abondances est soumise à une double transformation racine carrée, puis le coefficient de Bray-Curtis est déterminé afin d'établir les ressemblances entre les paires d'échantillons (Bray et Curtis, 1957). On obtient alors une matrice de similarité. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel PRIMER (V 5.2.8).

#### Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Il s'agit d'une méthode de classification destinée à produire des classes par agrégation successive des objets deux à deux, fournissant une hiérarchie de partition des objets. Le critère de ressemblance entre les objets utilise l'indice de Bray-Curtis et celui d'agrégation de classes, à savoir la distance moyenne entre tous les objets pris dans l'une et l'autre des deux classes différentes. Les résultats sont présentés sous la forme d'un dendrogramme.

### Positionnement Multidimensionnel (Multidimensional Scaling : MDS)

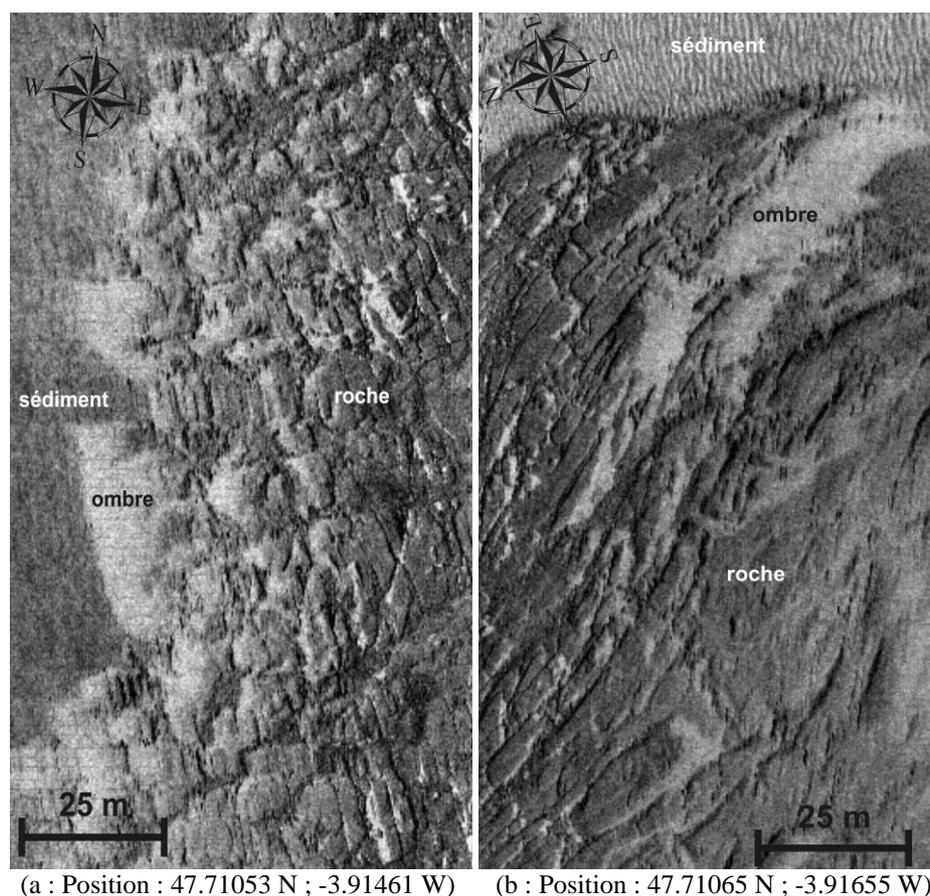
Il consiste à modéliser les proximités (similarité ou dissimilarité) entre les "individus" de façon à pouvoir les représenter le plus fidèlement possible dans un espace de faible dimension (généralement 2 dimensions) (Frontier, 1983). Les disparités sont des distances décrivant la représentation optimale des "individus". La mesure de l'écart entre les disparités et les distances mesurées (distance de Bray Curtis) sur la représentation obtenue par le MDS se nomme le stress : plus le stress est faible, meilleure est la représentation des "individus". Le stress est un indicateur normalisé variant entre 0 et 1, la valeur nulle indiquant un ajustement parfait. Ainsi, une valeur de stress inférieure à 0,1 traduit une excellente représentation, entre 0,1 et 0,25 elle donne une image satisfaisante, entre 0,25 et 0,5 la qualité est médiocre et les valeurs supérieures à 0,5 révèlent une représentation aléatoire. Dans cette étude c'est le stress de Kruskal qui est utilisé. La procédure consiste en une série d'itérations de calculs visant à obtenir la meilleure représentation. Elle s'arrête lorsqu'un optimum relatif est trouvé, sans qu'il s'agisse pour autant de la meilleure solution.

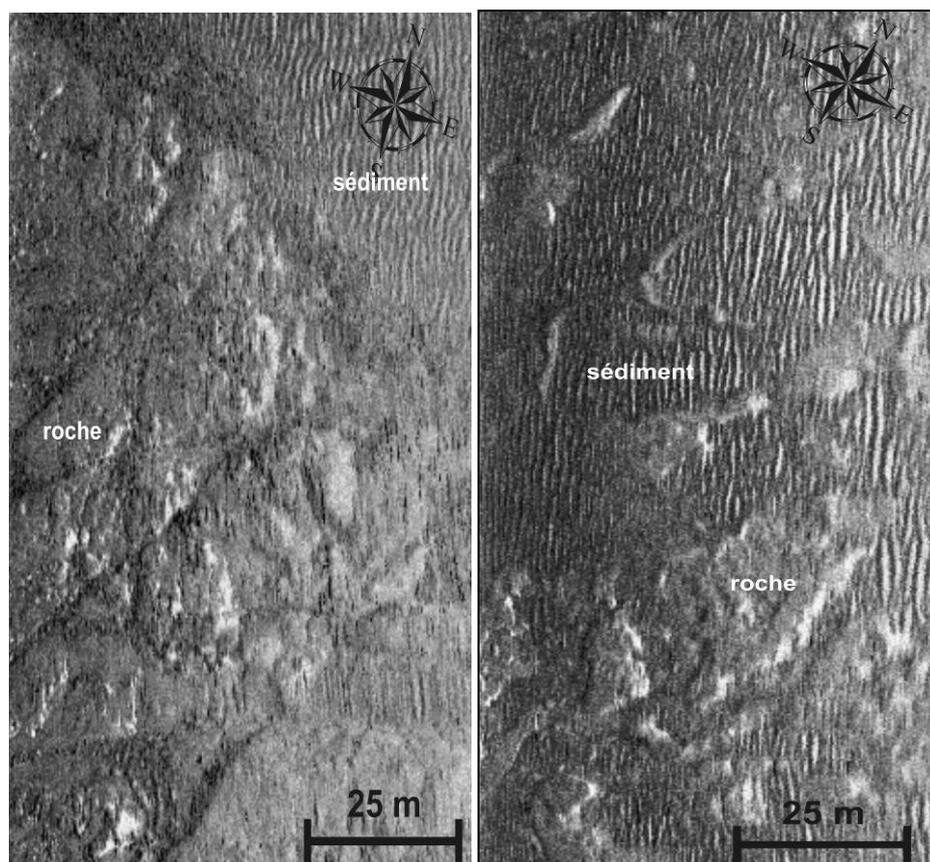
### 3. Résultats

#### 3.1 Les principaux ensembles morpho-sédimentaires

##### 3.1.1 Le substratum rocheux

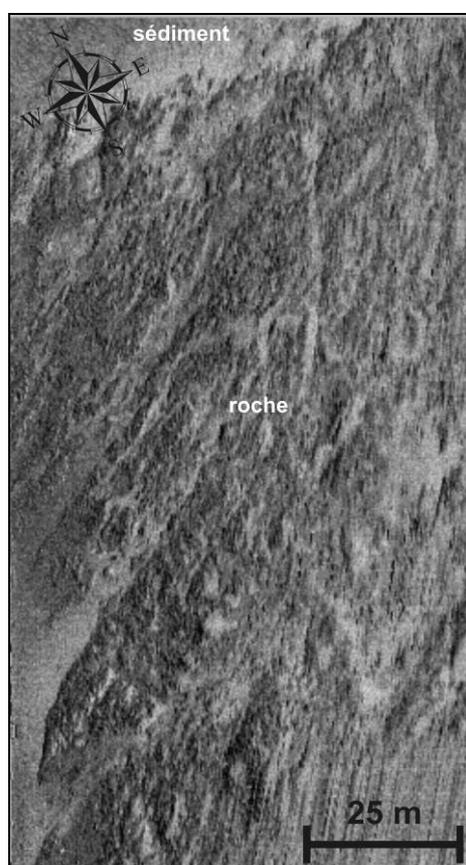
Les fonds rocheux affleurants et sub-affleurants occupent 11 km<sup>2</sup>, soit 16 % du secteur reconnu (fig. 20). Les hauts-fonds rocheux délimitent l'enveloppe de l'archipel sauf au sud-ouest où ils s'étendent loin vers le large, jusqu'à 3 miles du l'île du Loch. Généralement de petite taille et morcelés à l'est de Penfret, ils structurent l'essentiel des fonds de la partie sud-ouest du secteur. Le faciès rocheux affleurant (*faciès Va*, tab. 4) est compact, montrant une forme massive fortement diaclasée (fig. 21a, b et c). Cette roche correspond à un des granitoïdes sud armoricain peu structuré reconnu en mer par Audren et Lefort (1977). Localement, à l'ouest de l'archipel, il présente un aspect tabulaire en platier, entouré de petites dunes hydrauliques de sable graveleux (*faciès hétérogène rocheux ridé Vd*, fig. 21d). Un autre type de granite a été observé au nord de l'archipel de forme plus litée et moins chaotique (fig. 22) représentant la limite sud de l'affleurement du granite des Pourceaux.





(c : Position : 47.69720 N ; -4.09265 W) (d : Position : 47.70482 N ; -4.09896 W)

Figure 21 : Sonogrammes illustrant le faciès rocheux massif et dispersé de l'archipel



( Position : 47.74648 N ; -4.00261 W)

Figure 22 : Sonogramme illustrant le faciès rocheux des Pourceaux

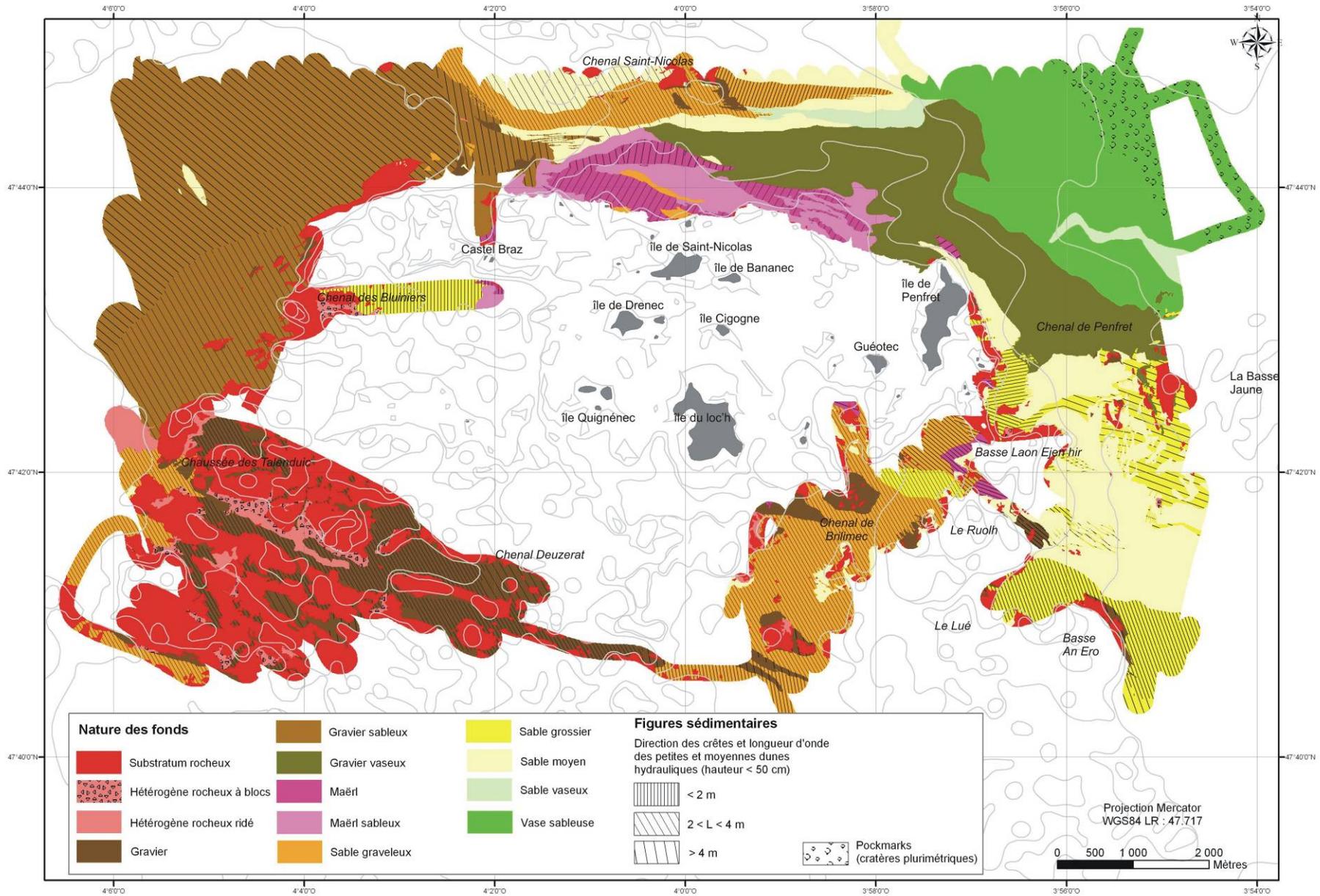


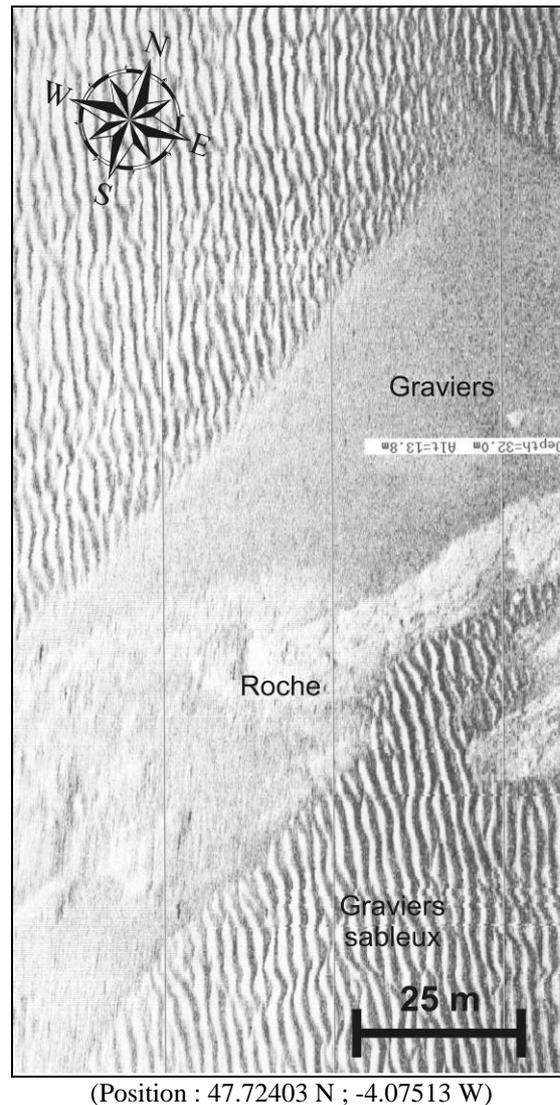
Figure 20 : Carte morpho-sédimentaire du secteur Glénan

### 3.1.2 Les sédiments meubles

L'analyse des faciès acoustiques (*cf.* 2.4.2.3) combinée à celle des données de rugosité et dureté du système RoxAnn (*cf.* 2.4.3) a permis de définir 10 faciès sédimentaires (fig. 20) qui peuvent être regroupés en 4 principaux types de substrats meubles.

#### 3.1.2.1 Les substrats grossiers

(1) Le faciès à graviers se distribue soit sous la forme d'une nappe ridée (*faciès IV2a*) ou d'une couverture à la morphologie monotone (*faciès IV1a*). Il correspond à la classe GL2a (graviers litho-bioclastiques) de la nomenclature Lesueur et Klingébiel (1986) modifiée. La couverture graveleuse ridée est étroitement associée aux faciès rocheux du sud-ouest de l'archipel entre la chaussée de Talenduic et le chenal de Deuzerat, jusqu'à la limite sud du chenal de Brilimec (fig. 20 et 23). Ceinturant les hauts-fonds rocheux, le sédiment y est presque exclusivement constitué de graviers et granules (fig. 24) bien calibrés (> 80% du poids de l'échantillon). Ils sont relativement bien triés malgré une granulométrie importante (médiane sup. à 5 mm) traduisant le caractère temporairement mobile de ces fonds. Ailleurs, très localement au nord de l'archipel, dans le chenal de Brilimec ou en bordure des basses de Laon Ejen Hir et An Ero, la fraction siliceuse graveleuse dominante est mélangée à des débris bioclastiques de forme et de nature variées, notamment à base de thalles de maërl comme au sud-est de l'île du Loc'h.



(Position : 47.72403 N ; -4.07513 W)

Figure 23 : Sonogramme sur les fonds ridés graveleux au nord-ouest de l'archipel

(2 et 3) Les mélanges sables et graviers ( $> 15\%$  de fraction sup. à 2 mm) occupent la moitié de la surface cartographiée. (2) Le domaine des graviers sableux (*faciès IV2b*,  $30 \leq$  fraction sup. 2 mm  $< 50\%$ ) se limite aux fonds en pente régulière de la passe ouest qui sépare l'archipel de Glénan, de celui des Moutons (fig. 20). Il correspond à la classe GL1b ou GL2b (graviers sableux litho ou litho-bioclastiques) de la nomenclature Lesueur et Klingébiel (1986) modifiée. Comme pour le faciès à graviers, les profils sonar et vidéo montrent une morphologie ridée se traduisant par la présence de mégarides rectilignes, de courte longueur d'onde (inf. à 4 m), relativement peu asymétriques et à la crête émoussée. Alors que les grains semblent bien calibrés (fig. 24), les valeurs d'indice de dispersion des deux échantillons prélevés dans cette unité morpho-sédimentaire suggèrent un sédiment modérément à peu trié. (3) Les sables graveleux ( $15 \leq$  fraction sup. 2 mm  $< 30\%$ ) se caractérisent par un niveau de rétrodiffusion d'intensité variable en fonction de la prépondérance de particules plus grossières dans le sédiment comme pour le *faciès IV2c* (fig. 24) qui se limite à l'extension du chenal de Brilimec (25 % en moyenne de particules sup. à 2 mm), ou plus sableuse comme dans le *faciès III3* (15% en moyenne de fraction sup. à 2 mm) qui prolonge, en s'étirant vers l'est, la nappe graveleuse du chenal entre les Pourceaux et l'archipel (fig. 20). La fraction graveleuse peut-être représentée également par une fine mouture de débris coquilliers (92% de carbonate) comme c'est le cas au sud-est de la Chaussée de Talenduc, en limite du secteur investigué (fig. 20). Très ponctuellement, au nord de l'île du Gluët, l'imagerie sonar a détecté, au sein de la couverture graveleuse et sableuse, de petites poches de sable graveleux dépourvues de mégarides (*faciès III1a*).

(4) Les sédiments graveleux envasés (*faciès IV1b*) correspondent en réalité à des graviers biogènes dont la partie organogène est presque exclusivement composée de débris de thalles de maërl (fig. 24). Cet ensemble morpho-sédimentaire se distribue de part et d'autre de la fosse principale d'extraction du maërl au nord-est des Pierres noires (fig. 20). Il s'agit d'un sédiment bimodal très pauvrement trié, composé d'une vase compacte recouverte de débris de maërl et de bioclastes dispersés par les courants depuis le banc originel qui occupe les fonds supérieurs entre le Gluët et Penfret.



Faciès IV2a : Gravier ridé (RB7-SH14)

Faciès IV1a : Gravier (RB6-SH14)

Faciès IV2b : Gravier sableux ridé (RB1-SH15)



Faciès IV2c : Sable graveleux ridé (RB7-SH13)



Faciès IV1b : Gravier biogène envasé (maërl envasé) (RB1-SH11)

Figure 24 : Photos de sédiments grossiers récoltés sur le secteur

Les biocénoses de maërl (5) ont été reconnues au-dessus de 10 m de profondeur, sur plusieurs façades de l'archipel, à partir des missions avec le N/O Thalia, mais surtout grâce aux levés avec la vedette Survex. Le gisement principal concerne les très petits fonds au nord de l'archipel, entre le Gluët et les Pierres noires. Il présente un faciès orné de mégarides (*faciès IV2e*) correspondant à un beau maërl branchu (fig. 25), relativement bien trié et lavé, dont les refus sup. à 2 mm représente plus de 80 % du poids du sédiment (fig. 26). Ce banc en terrasse a été étudié par Augris *et al.* (1986) et Grall en 2002 (In Vivo Environnement, 2003). D'autres extrémités de bancs ont été recoupées, au fond des chenaux des Bluiniers (de part et d'autre du Castel Braz) et de Brilimec (entre l'île de Brilimec et Guéotec et à l'ouest de la basse Laon Ejen Hir), ainsi qu'au nord de l'île de Penfret. Ces biocénoses de maërl rose et propre passent latéralement à du maërl sableux (6) caractérisé par des thalles généralement brisés et une plus faible proportion de thalles vivants.

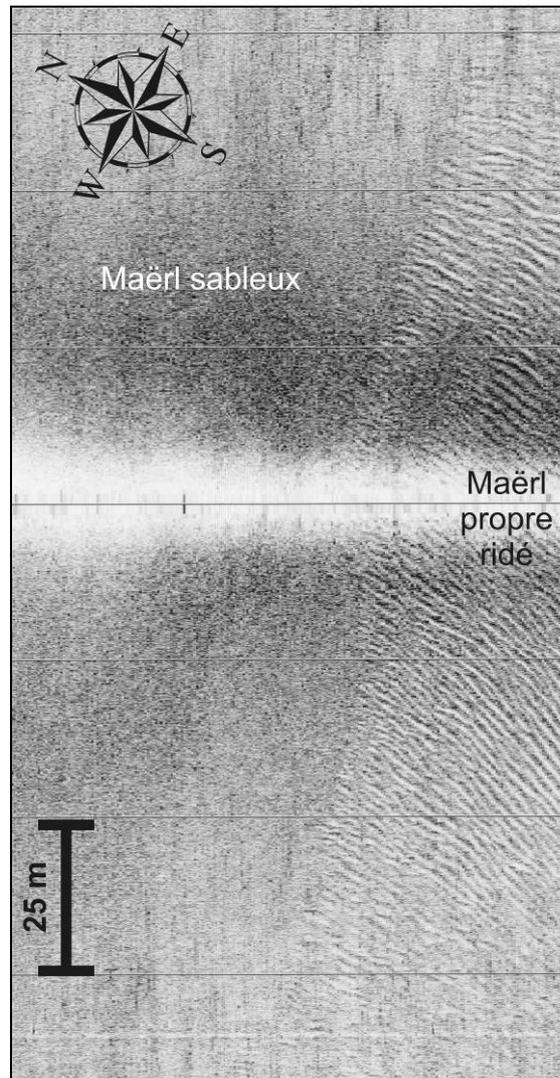


Figure 25 : Sonogramme au nord de l'île du Gluët sur le banc de maërl  
(Position : 47.73810 N ; -4.01125 W)



Figure 26 : Photos de maërl propre (*faciès IV2e*, RB1-SH19) et sableux (*faciès IV1c*, RB7-SH26)

### 3.1.2.2 Les substrats sableux

(7) La couverture de sable grossier est systématiquement modelée de petites et moyennes dunes hydrauliques de faible amplitude. Elle occupe l'essentiel du chenal des Bluiniers, sous la forme d'un sable très finement coquillier ( $\text{CaCO}_3 > 70\%$ ) et relativement bien trié (fig. 20), traduisant localement l'effet d'étranglement du Chenal sur l'accélération des courants (*faciès III3*). Dans la partie sud-est, les sables grossiers recourent à l'emporte pièce la moitié nord du chenal de Brilimec. Le sédiment récolté, constitué d'un sable siliceux roux bien lavé et trié (fig. 27), est peu carbonaté ( $\text{CaCO}_3 < 22\%$ ). Il semble que cette unité se rattache aux sédiments piégés entre les hauts fonds de la basse du Ruolt plus

au sud-est. De la même manière, au contact de la basse An Ero au sud du chenal de Penfret (*faciès I2*), il prend la forme de figures sédimentaires transversales orientées nord-ouest/sud-est, de longueur d'onde et d'amplitude croissantes vers le sud. Enfin, dispersé sur le flanc ouest du chenal de Penfret, entre la basse Jaune jusqu'à la côte est de Penfret, le sable grossier est dispersé en taches ou sous la forme de sillons étirés nord-sud, au centre du chenal et nord-ouest/sud-est le long du plateau rocheux de Laon Ejen Hir (fig. 28). Ce sédiment est plus hétérogène, avec une forte proportion en débris coquilliers mal calibrés (fig. 27).



Faciès I2 : Sable grossier ridé (chenal de Penfret Sud)  
RB7-SH5



Faciès III3 : Sable grossier ridé (chenal des Bluiniers)  
RB7-SH12



Faciès IV2d : Sable grossier ridé (chenal de Brilimec)  
RB6-SH10



Faciès IV2d : Sable grossier coq. ridé (chenal de Penfret nord)  
RB1-SH6



Faciès IIa : Sable moyen (chenal de Penfret)  
RB6-SH1



Faciès I2 : Sable moyen ridé (nord de Saint-Nicolas)  
RB1-SH18

Figure 27 : Photos de sables récoltés sur le secteur

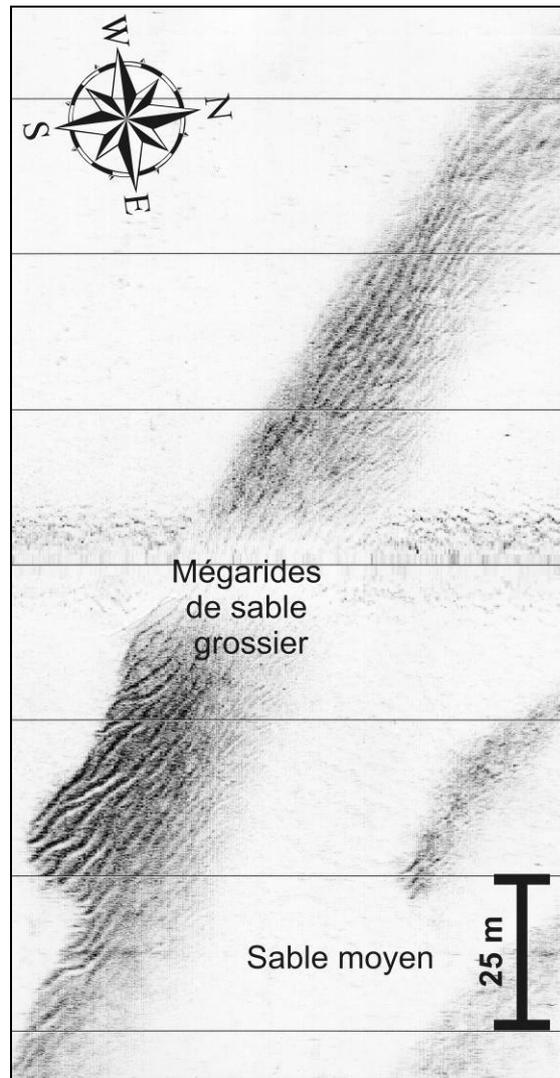


Figure 28 : Sonogramme d'un sillon parcouru de mégarides de sable grossier  
(Position : 47.69283 N ; -3.92867 W)

(8) La couverture de sable moyen se limite soit à la partie sud du chenal de Penfret, soit s'intercale entre les unités plus grossières au nord de l'archipel ou très localement accrochée en écharpe aux hauts-fonds rocheux dans le chenal de Brilimec (fig. 29a). En général, cette couverture identifiée par les *faciès acoustiques IIa* ou *IIIa* (tab. 4), présente une morphologie monotone constituée de rides observées uniquement sur les séquences de vidéo sous-marine. En quelques endroits, autour des basses des Pourceaux ou au pied du banc de maërl au nord de l'île Saint-Nicolas (*faciès I2*), les rides se superposent à des figures sédimentaires plus importantes (longueur d'onde sup. 5 m) (fig. 29b).

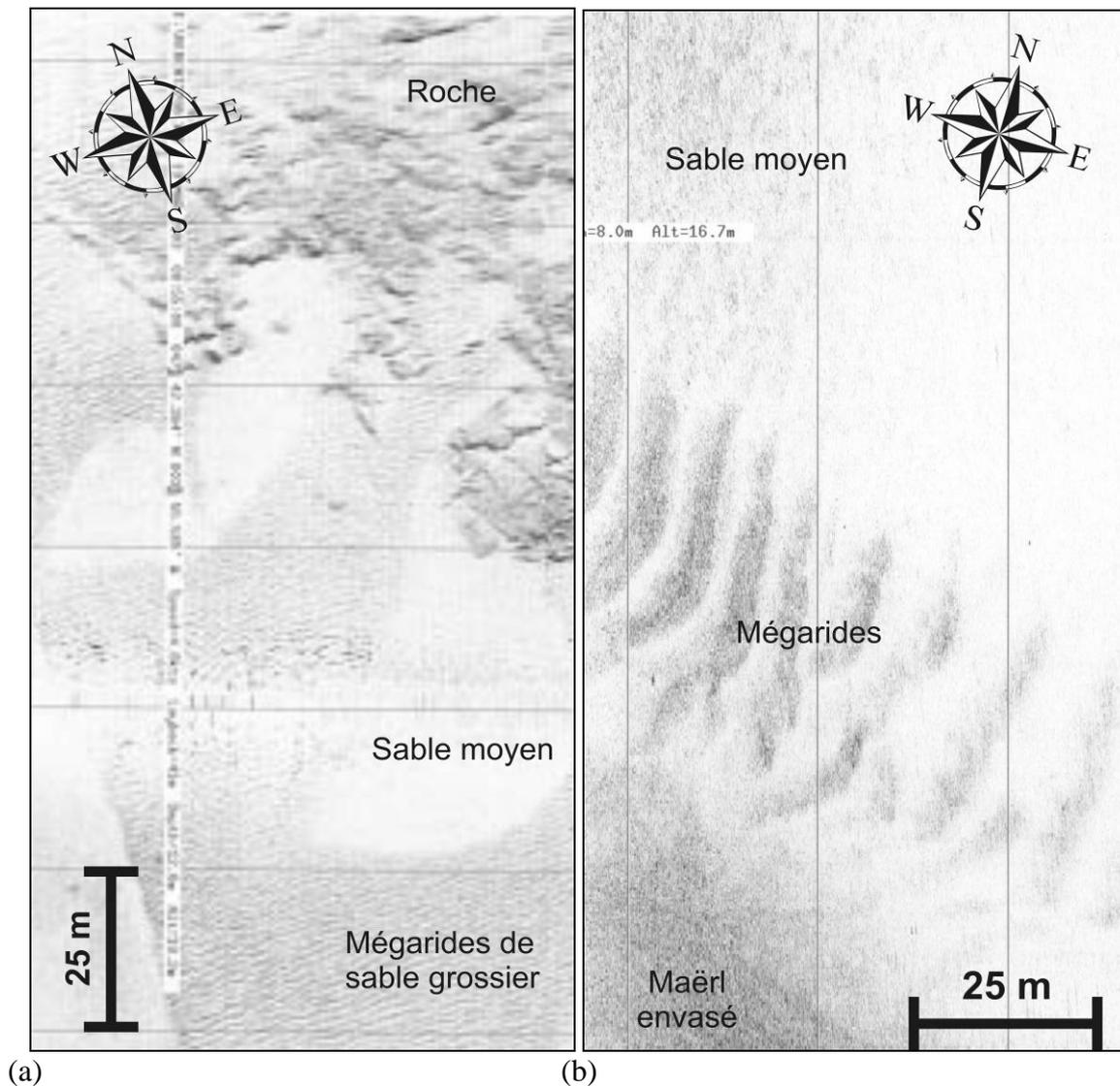


Figure 29 : Sonogrammes sur les fonds de sable moyen homogènes et ridés  
(Position a : 47.70593 N ; -3.92602 W, Position b : 47.74137 N ; -4.00332 W)

### 3.1.2.3 Les substrats envasés

Les sédiments envasés (de 5 à moins de 25% pour les sables vaseux (9) et de 25 à 50% (fig. 30) pour les vases sableuses (10) se cantonnent dans les zones les plus abritées de l'archipel (fig. 20), comme localement entre l'île du Loc'h et Men Goë ou au nord du chenal de Penfret, en contact direct avec la vasière profonde qui s'étend jusqu'à la baie de Concarneau (Ehrhold *et al.*, 2006). En fonction de la rugosité du fond, de la pente (plat, chaluté ou perforé de cratères, fig. 31) et de la densité du peuplement à *Haploops*, les faciès acoustiques (*cf.* fiches en *annexes*) vont du blanc homogène (*faciès IIa*) au gris moyen (*faciès III2*) en passant par le gris pâle homogène (*faciès IIIa*) ou tacheté (*faciès II2*).

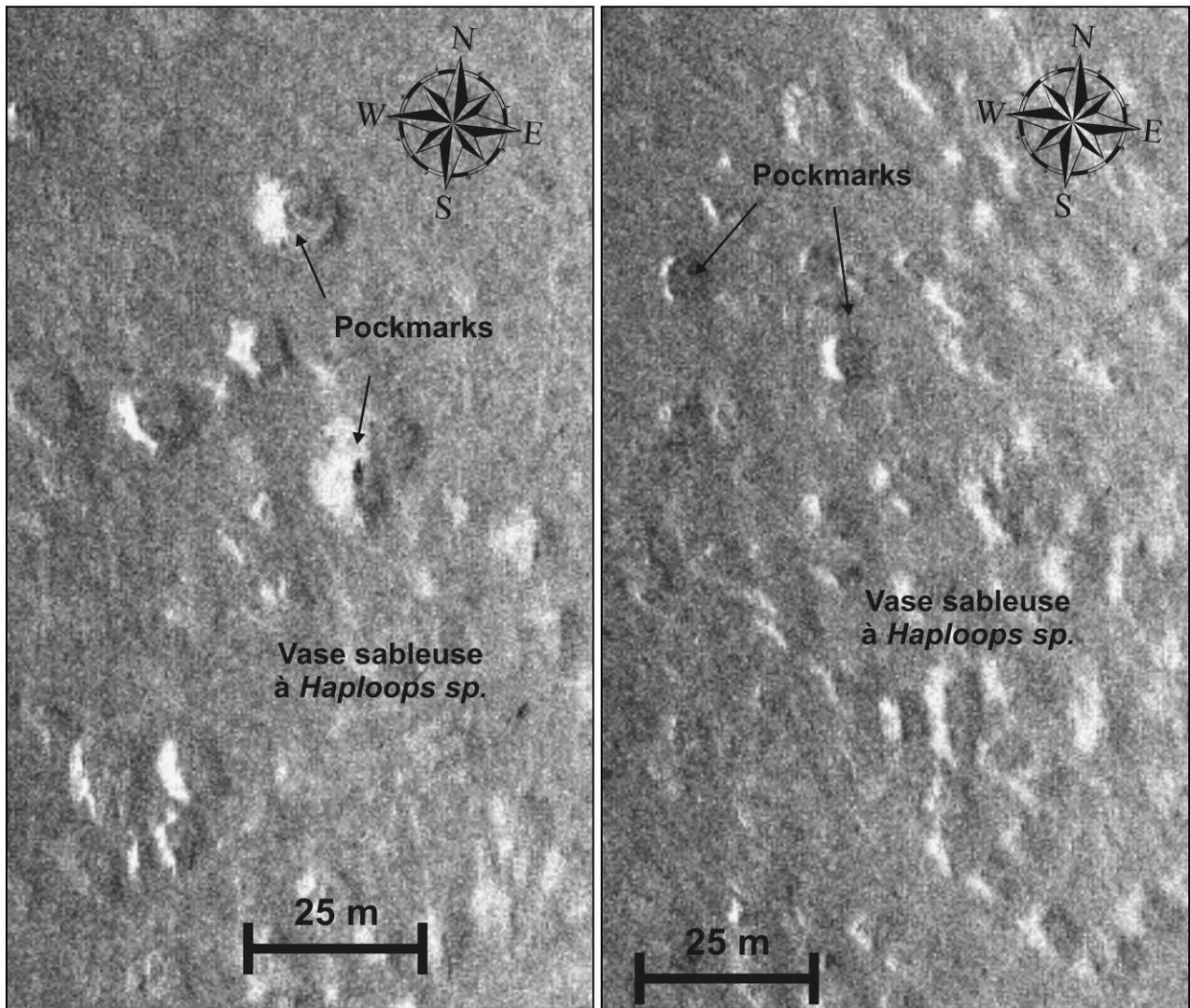


Faciès II2 : Sable vaseux (RB7-SH25)



Faciès III2 : Vase sableuse (RB2-H2)

Figure 30 : Photos de sables envasés récoltés sur le secteur



(Position : 47.74058 N ; -3.91988 W)

(Position : 47.73698 N ; -3.91870 W)

Figure 31 : Sonogrammes sur le faciès vaseux à *Haploops* (faciès III2)

### 3.2 La dynamique des sédiments

L'imagerie sonar latéral permet de détecter et de cartographier des structures ou formes sédimentaires remarquables construites par le jeu des courants sur le fond. Elles sont peu nombreuses sur le secteur d'étude en raison de vitesses de courant de marée faibles à modérées et de la nature très grossière des fonds (essentiellement sous la forme d'affleurements du substratum rocheux, de cailloutis et de graviers sableux).

### 3.2.1 Les figures sédimentaires transversales aux courants : petites et moyennes dunes hydrauliques (mégarides)

Les profils au sonar à balayage latéral ont permis de distinguer sur le secteur plusieurs niveaux de densité de mégarides (hauteur inf. à 50 cm) aux crêtes rectilignes parfois dichotomisées aux extrémités, en fonction de leur longueur d'onde (< 2 m, 2 à 4 m et > 4 m jusqu'à 6 m max. dans le chenal Deuzerat sur les fonds à graviers). En réalité, le pouvoir de résolution de l'imagerie sonar, pour une portée de 100 m, limite la prospection aux structures sup. à 0,8 m.

Elles ont été observées sur les sédiments grossiers graveleux ou sablo-graveleux jusqu'aux sables grossiers coquilliers dans la partie sud du chenal de Penfret. Les profils vidéos réalisés sur l'ensemble des faciès ridés ne montrent pas d'asymétrie prononcée d'un flanc par rapport à l'autre, comme il est coutume de l'observer dans les conditions d'un courant de marée alternatif en Manche (Ehrhold, 1999 ; Walker, 2001), traduisant la direction privilégiée de migration du corps sédimentaire sur le fond lors d'une marée ou d'un cycle complet de marées. Au contraire, ils révèlent une crête émoussée et un profil arrondi avec dans les espaces inter-rides, des éléments grossiers encroûtés et colonisés par de petites algues, soulignant le caractère relique du phénomène à l'origine de la formation de ces petites dunes hydrauliques. La réfraction progressive des crêtes d'Ouest en Est (fig. 32), suit la direction de propagation des grandes houles du large (secteur ouest et sud-ouest) qui contournent l'archipel par les chenaux nord et sud, avant de se dissiper sur les fonds sablo-ensavés du chenal de Penfret. L'ensemble de ces observations conduisent à interpréter ces figures transversales comme résultant de la mobilisation temporaire des sédiments grossiers par les courants oscillants générés par les houles les plus grosses venant du large.

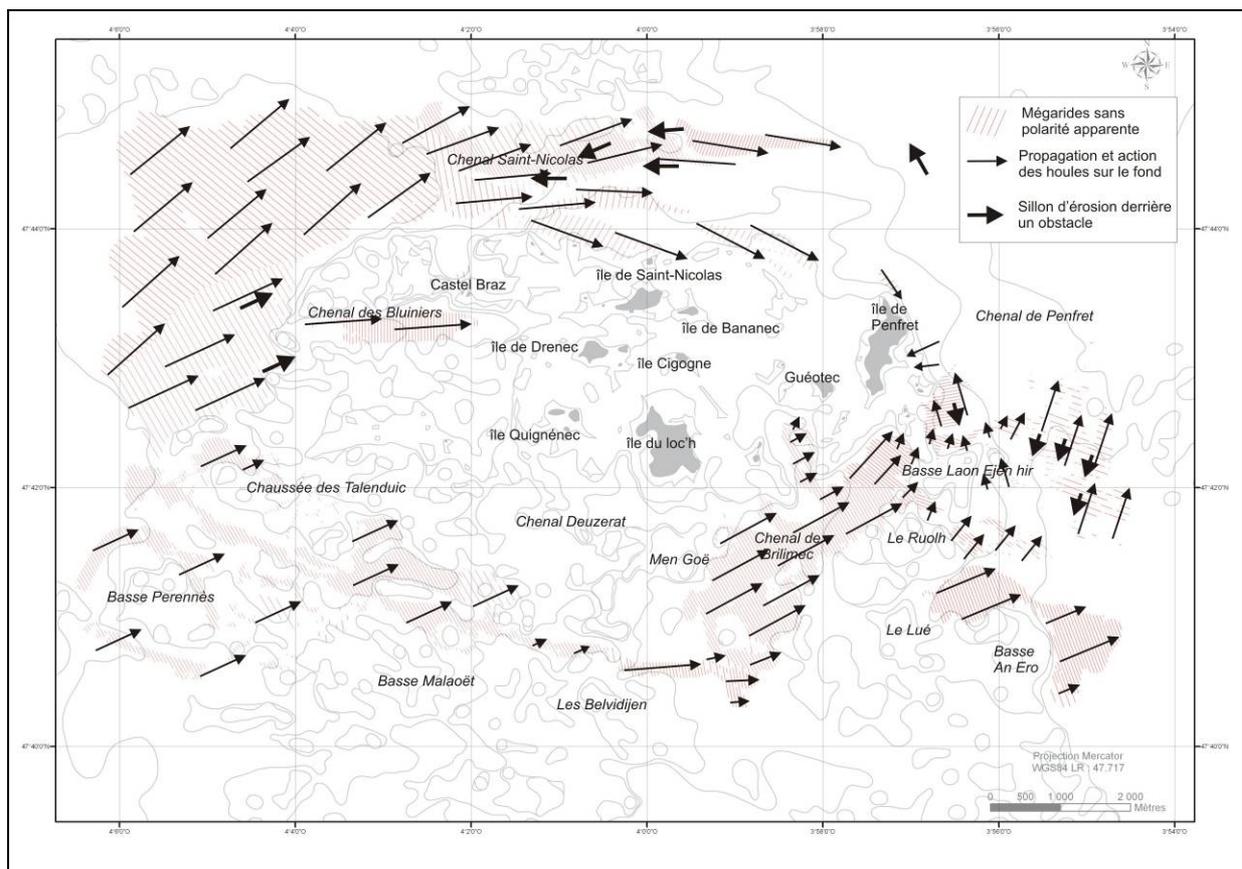


Figure 32 : Vecteurs de transport sur le fond, déduits de l'orientation des figures sédimentaires observées par imagerie sonar à balayage latéral

Les forces de frottements sur le fond générées lors d'une grande vive-eau par les courants de marée restent inférieures, pour les mélanges sablo-graveleux, au seuil critique d'érosion et de transport

(Tessier, 2006). Seules les tensions critiques générées sur le fond par ces houles (sup. à  $7 \text{ n.m}^{-2}$  pour un  $D_{50}$  de  $5,86 \text{ mm}$  et sup. à  $0,8 \text{ n.m}^{-2}$  pour un  $D_{50}$  de  $0,68 \text{ mm}$ ) dépassent les seuils de mise en mouvements des particules graveleuses ( $\tau_{Cr} = 4,4 \text{ n.m}^{-2}$ ) et sableuses ( $\tau_{Cr} = 0,31 \text{ n.m}^{-2}$ ). Les particules les plus grosses sont donc déplacées par les courants de houle et restent stables sous l'action des courants de marée. Ce type de structure a par ailleurs été décrit sur de nombreux fonds littoraux, en Manche (Walker, 2001), en Atlantique (Braud et Weber, 1985 ; Augris *et al.*, 2005) jusqu'à  $40 \text{ m}$  de profondeur, ainsi que sur la façade méditerranéenne (Paillard *et al.*, 1993). Seule la morphologie lingoïde et la dissymétrie vers l'ouest des moyennes dunes hydrauliques sur les fonds ensablés, au pied du banc de maërl de Saint-Nicolas, semblent résulter de l'action locale des courants de marée de jusant (fig. 20), en accord avec les données de courant du SHOM et les résultats des simulations des vitesses de frottements (fig. 33). Les longueurs d'ondes sont les plus élevées de toutes celles observées sur le secteur ( $8$  à  $10 \text{ m}$ ). Dans le chenal Saint-Nicolas, les courants de marée ont des directions fréquemment parallèles aux directions de propagation des houles. La formation des mégarides résulte dans ce cas probablement de l'action conjuguée des vagues et des courants de marée.

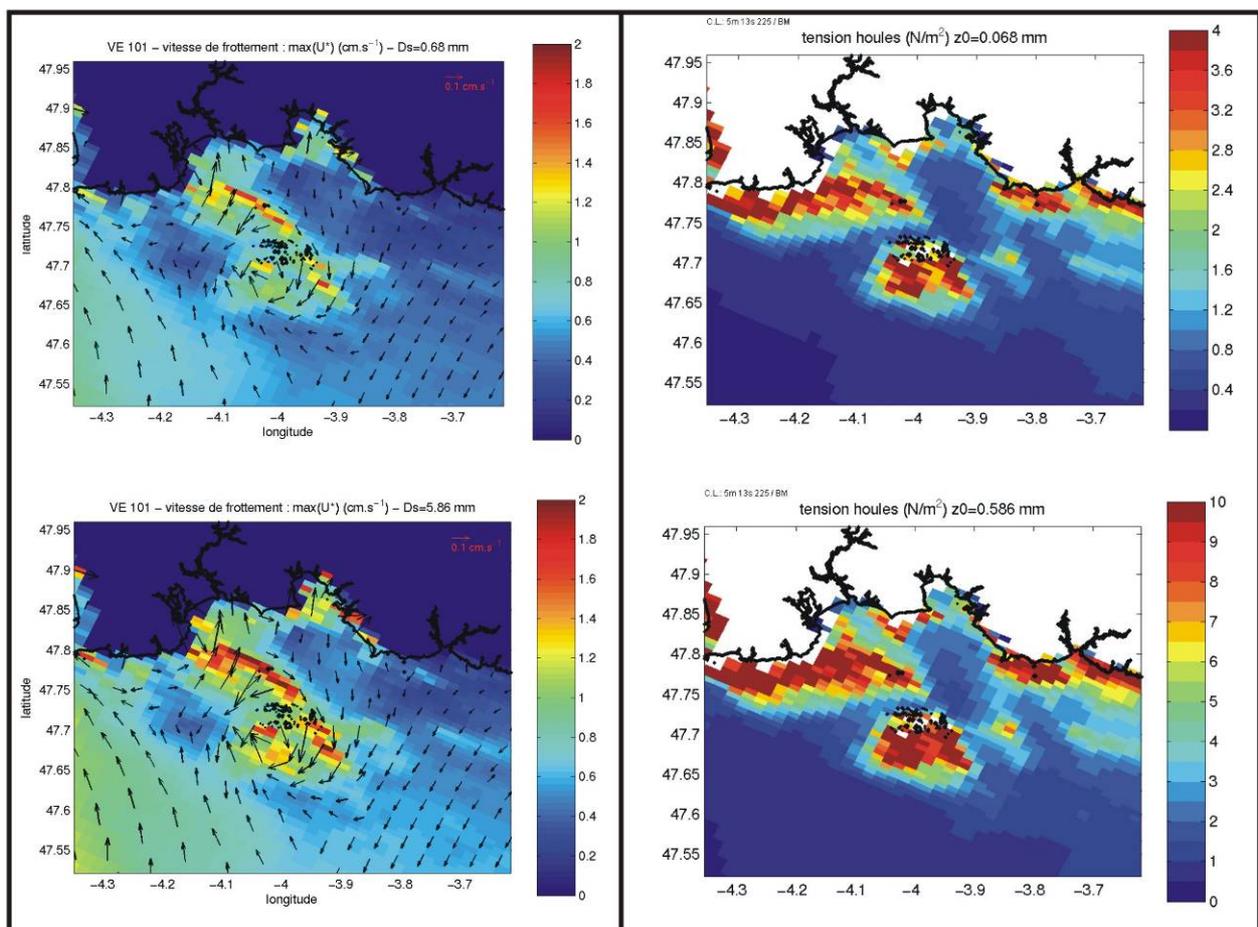


Figure 33 : Résultats des simulations des vitesses de frottements des courants de marée sur le fond ( $U^*$ ) et de la contrainte de cisaillement exercée sur le fond par les houles ( $\tau$ ) pour deux diamètres de grains (Tessier, 2006)

### 3.2.2 Les figures sédimentaires rectilignes : sillons d'érosion

Deux types de sillons cohabitent dans les petits fonds de Glénan :

- (1) Ceux générés par les courants de marée : il s'agit de petites structures pluri-métriques à pluri-décamétriques (fig. 34), non tapissées de mégarides, entaillant la couverture mince de sédiments grossiers graveleux et fins (sable moyen) à l'aval des pointements rocheux. Ces sillons de faible

profondeur sont allongés parallèlement à la direction résiduelle des courants et indiquent le sens du courant dominant sur le fond. Ils sont orientés (fig. 32) vers l'ouest dans le chenal Saint-Nicolas, vers le sud dans le chenal de Penfret, confortant les simulations réalisées par Sogreah (In Vivo Environnement, 2003), de la dispersion du panache turbide depuis la zone d'extraction du maërl, et enfin vers le nord-est à l'entrée du chenal des Bluiniers. Flood (1983) indique que les vitesses de courant sur le fond doivent atteindre 40 cm/s pour entraîner des écoulements tourbillonnaires suffisamment intenses pour générer ces figures érodant des fonds sableux coquilliers à l'aval des obstacles. Ces vitesses sont atteintes au niveau des resserrments topographiques, entre les basses jaune et Laon Ejen Hir à PM+2, dans le chenal de Penfret (50 cm/s) et entre les Pourceaux et l'île Saint-Nicolas à PM+4 (45 cm/s), dans le chenal Saint-Nicolas, pour un coefficient de 100 (Tessier, 2006). Ces structures ont été abondamment décrites en Manche centrale (Stride *et al.*, 1972 ; Belderson *et al.*, 1988).

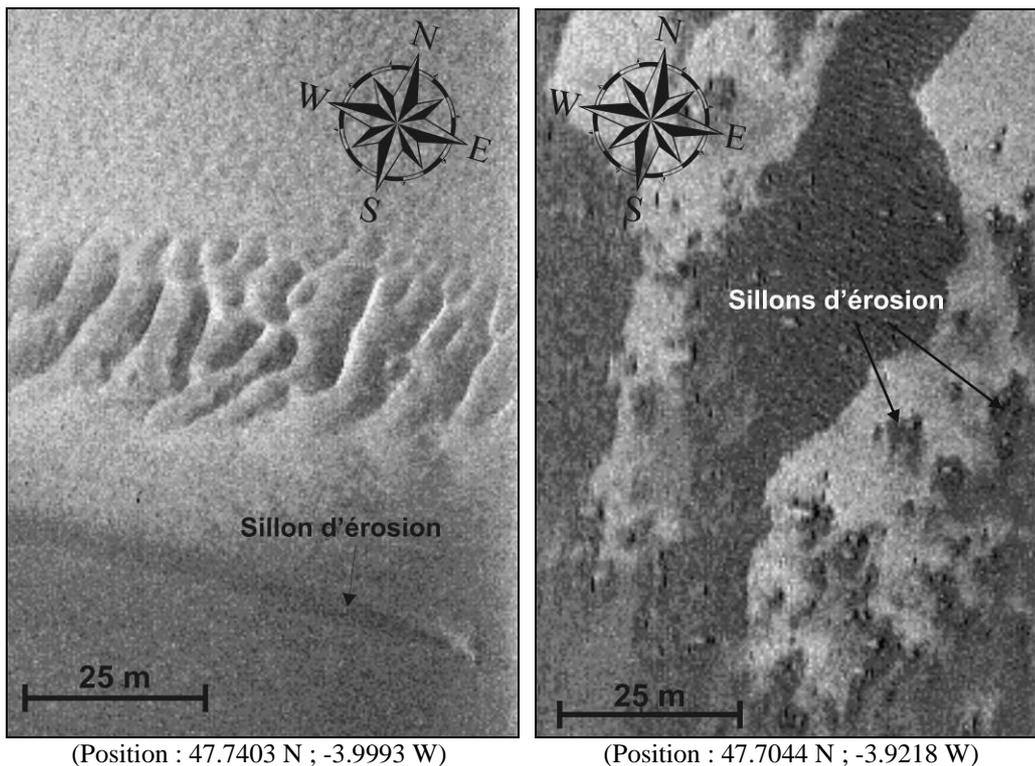


Figure 34 : Exemples de sillons d'érosion à l'aval de pointements rocheux

- (2) Ceux générés par l'action des houles : il s'agit de figures rectilignes se ramifiant en forme de peigne oblique par rapport aux courants de marée et généralement perpendiculaires aux isobathes. Les plus longues font 700 à 900 m pour une largeur de quelques mètres à une cinquantaine de mètres et une profondeur ne dépassant pas 50 cm (fig. 28). Elles entaillent le prisme sableux à l'est des basses Laon Ejen Hir et du Ruolh, en remontant le flanc ouest du chenal de Penfret (fig. 35). Leur surface est structurée de petites mégarides symétriques dont la crête est grossièrement parallèle au trait de côte. Leurs directions correspondent à celles des houles de secteur sud-ouest réfractées vers le nord et nord-est (fig. 4), au passage de la basse An Ero. Ces figures ont été observées dans les baies de Douarnenez (Augris *et al.*, 2005), de Morlaix (Auffret et Augris, 1987), et en baie de Seine (Garnaud *et al.*, 2005).

*L'imagerie sonar à balayage latéral permet, à condition qu'elle soit calibrée par des prélèvements et des observations directes du fond, de cartographier les limites des principaux faciès acoustiques et d'en définir précisément la nature. La distribution des unités morpho-sédimentaires autour de l'archipel de Glénan est fonction en grande partie de la géologie accidentée du substratum rocheux et*

de l'agitation générée par les plus fortes houles du large. La couverture sédimentaire superficielle est mince et composée de sédiments grossiers (mélange sables et graviers en proportion variable) dans les secteurs les plus exposés au sud et à l'ouest de l'archipel. Le secteur nord-est de Glénan, vers lequel convergent les houles du large réfractées depuis les chenaux Saint-Nicolas, Deuzerat et Brilimec, correspond au secteur côtier sur lequel s'appuie un prisme sédimentaire épais, composé de graviers biogènes au nord (banc de maërl), dans sa frange la plus haute, de sables moyens à grossiers coquilliers à l'est et de vases sableuses dans le chenal de Penfret, plus profond et mieux abrité. Les séquences sédimentaires de granulométrie décroissante d'Ouest en Est, sont le plus souvent incomplètes, significatives du rôle mineur joué par les courants de marée dans la distribution des sédiments, en mettant en contact des sédiments fins et très grossiers sans faciès de transition.

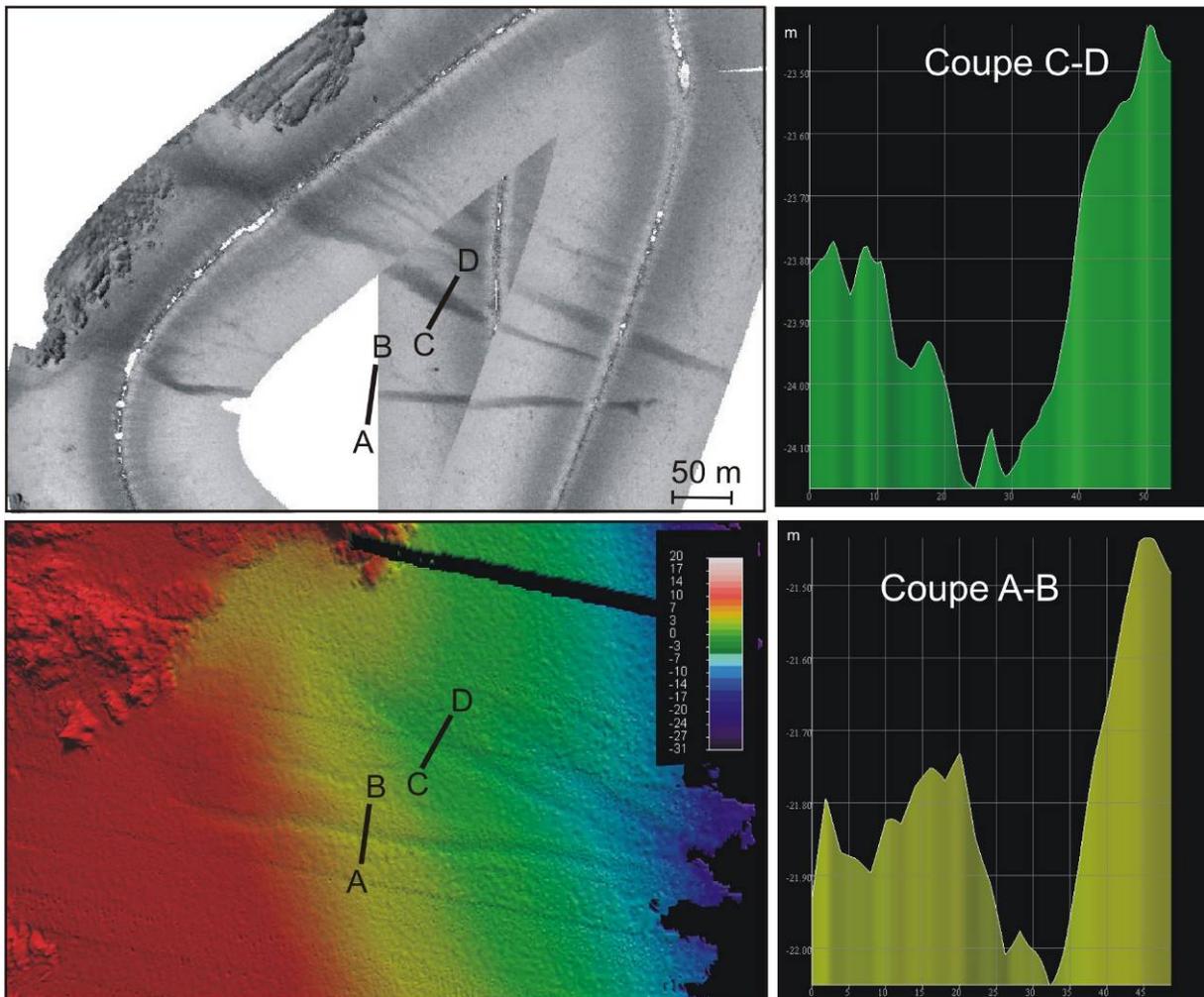


Figure 35 : Sillons de sédiments grossiers à l'est de la basse Laon Ejen Hir (chenal de Penfret)

L'action des houles sur les sédiments graveleux ou sableux se traduit par la formation de train de mégarides symétriques à crête émoussée dont les plus importantes (longueur d'onde sup. à 4 m), dans le secteur sud-ouest, ont pour origine probablement les houles les plus extrêmes (Hs sup. à 10 m). Leur orientation bifurque avec celle des trains de vagues. Localement, elles entaillent la couverture sableuse de sillons grossiers perpendiculaires à la côte et dispersent les sédiments organogènes (maërl et débris coquilliers) sur les fonds vaseux. A quelques exceptions près, dans les zones de resserrements (chenaux de Saint-Nicolas et de Penfret), où les courants de marée sont capables, au jusant, d'éroder la couverture sableuse (sillons d'érosion), les seuils de mise en mouvement des sables grossiers, jusqu'aux graviers, sont atteints et dépassés uniquement lors des tempêtes. Les mégarides ainsi observées sont des structures occasionnellement réactivées.

### 3.3 Les principales unités de peuplements de substrats meubles

#### 3.3.1 Traits dominants de la macrofaune

La diversité des faciès sédimentaires cartographiés autour de l'archipel se traduit par une importante diversité biologique. En effet, sur les 66 échantillons analysés (3 réplicats de 1/8 m<sup>2</sup> à chacune des 21 stations échantillonnées en octobre 2003 et 1 échantillon d'1/8m<sup>2</sup> à chacune des 3 stations prospectées en juin 2005), 322 espèces d'invertébrés ont été identifiées (*annexe 5*) sur un total de 5334 individus examinés (fig. 36 et 37). Les annélides polychètes, réparties à proportion égale entre les errantes et les sédentaires, dominent tant en richesse spécifique (161) qu'en abondance (2739 individus récoltés), puis les mollusques dominés par les bivalves (48 espèces pour 454 individus), et les crustacés (64 espèces/1100 individus), relativement bien représentés par les amphipodes (36 espèces/257 individus) et les décapodes tels que *Pisidia longicornis* (813 individus) (*annexe 6*). Enfin, les échinodermes constituent un groupe diversifié dans les sédiments sablo-vaseux où abonde notamment l'ophiure fousseuse *Amphiura filiformis*.

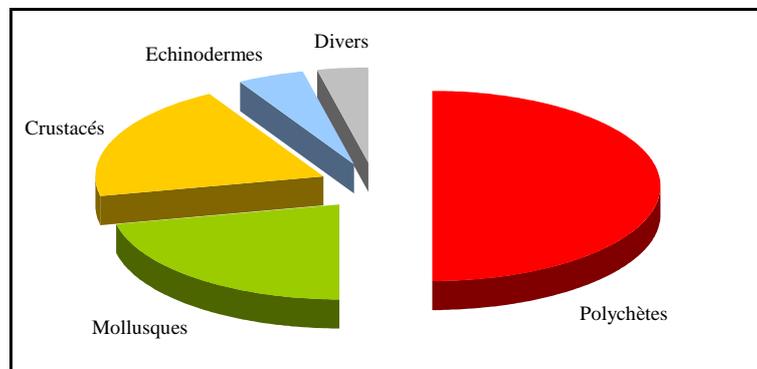


Figure 36 : Répartition de la richesse spécifique des principaux groupes taxonomiques

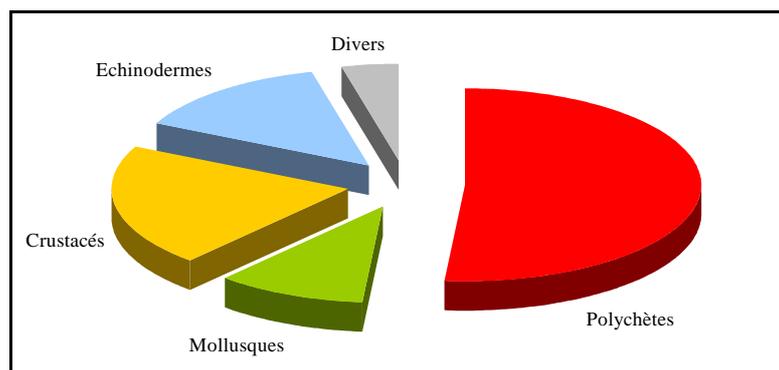


Figure 37 : Répartition du nombre total d'individus récoltés des principaux groupes taxonomiques

La catégorie "divers" regroupe les embranchements suivants : Cnidaires, Némertes, Sipunculien, Phoronidiens, Tuniciers et Céphalochordés.

### 3.3.2 Identification des principales unités de peuplements

En se référant, d'une part, aux caractéristiques morpho-sédimentaires générales des fonds meubles (§ 3.1.2), aux caractéristiques sédimentaires (fig. 38) et biologiques (tab. 5) des stations échantillonnées à la benne Hamon et, d'autre part, aux résultats des analyses multivariées (fig. 39 et 40), les principales unités biosédimentaires ont pu être identifiées.



Figure 38 : Photos des prélèvements biologiques (benne Hamon, 1/8m<sup>2</sup>)

Station	Richesse spécifique/station (3 x 1/8m <sup>2</sup> )	N (densité/m <sup>2</sup> )	J' (équitabilité)	H'(log2) (indice de Shannon)
1	49	600	0,8501	4,773
2	30	200	0,8344	4,094
3	25	430	0,4961	2,304
4	54	396	0,8708	5,012
5	32	686	0,443	2,215
6	45	297	0,897	4,926
7	47	715	0,7362	4,089
8	53	545	0,8182	4,687
9	70	697	0,838	5,136
10	56	1099	0,5955	3,458
11	71	529	0,8778	5,398
12	41	227	0,9382	5,026
13	42	398	0,8709	4,696
15	50	382	0,8543	4,822
16	32	382	0,7942	3,971
17	39	216	0,9501	5,022
18	16	93	0,9116	3,646
19	93	1761	0,8025	5,248
20	81	904	0,8663	5,492
21	57	339	0,9135	5,328
1c	41	296	0,8925	4,782
2c	51	318	0,9334	5,295
3c	63	2598	0,4907	2,933

Tableau 5 : Abondance, richesse spécifique et indices de diversités/station

Les stations 1c, 2c et 3c correspondent aux prélèvements complémentaires réalisés lors de la mission Rebent 7 en juin 2005, au sud de l'archipel (tab. 3). Rappelons que la station 14 (faciès de galets) n'est pas prise en compte du fait de l'absence de macrofaune dans les prélèvements.

Les résultats des analyses multivariées (fig. 39 et 40) réalisées sur la matrice d'abondance d'espèces permettent d'identifier quatre groupes de stations correspondant aux grandes entités sédimentaires cartographiées. Par ailleurs, dans le nord-est du secteur, le faciès vaseux, fortement colonisé par des amphipodes tubicoles du genre *Haploops* (fig. 54), n'est représenté que par la station 2. De même, les fonds de maërl propre, au nord de l'île St Nicolas, ne sont caractérisés que par la station 19 (tab. 6 et 7). Enfin, la station 18, qui s'apparente au groupe I (tab. 6), du point de vue granulométrique, s'isole par une très faible richesse spécifique (tab.7, annexes 5 et 7) expliquée en partie par une mauvaise efficacité de la benne Hamon sur les fonds grossiers ridés. Afin d'éviter trop de disparités dans les résultats, cette station est considérée séparément, bien que rattachée à l'entité des sables grossiers et graviers (fig. 40).

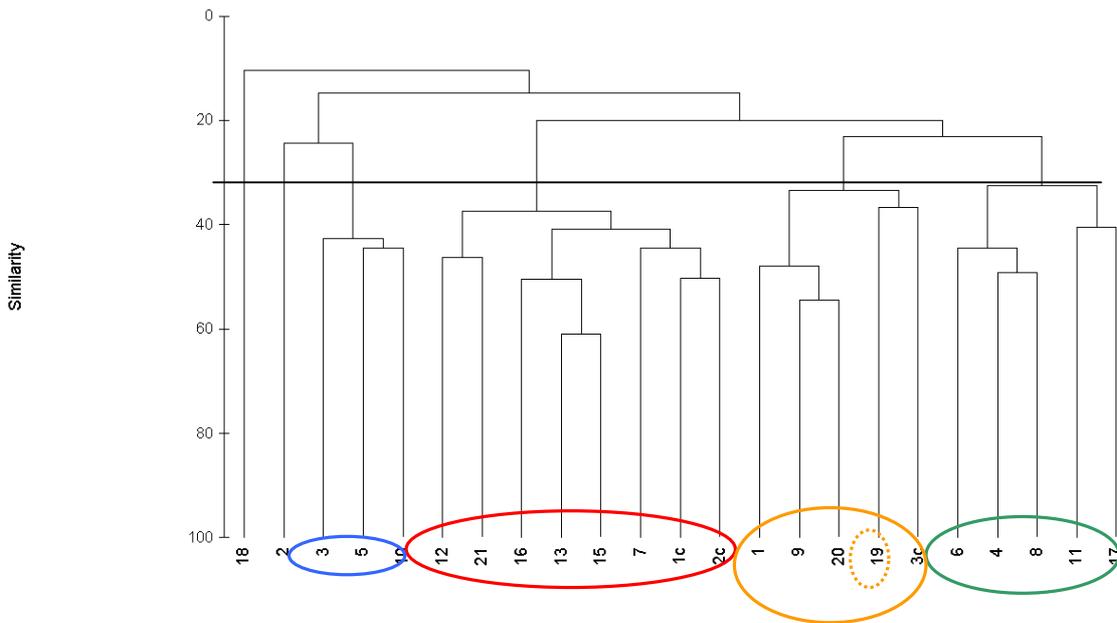


Figure 39 : **CAH** (Classification Ascendante Hiérarchique) sur la matrice des abondances moyennes/station

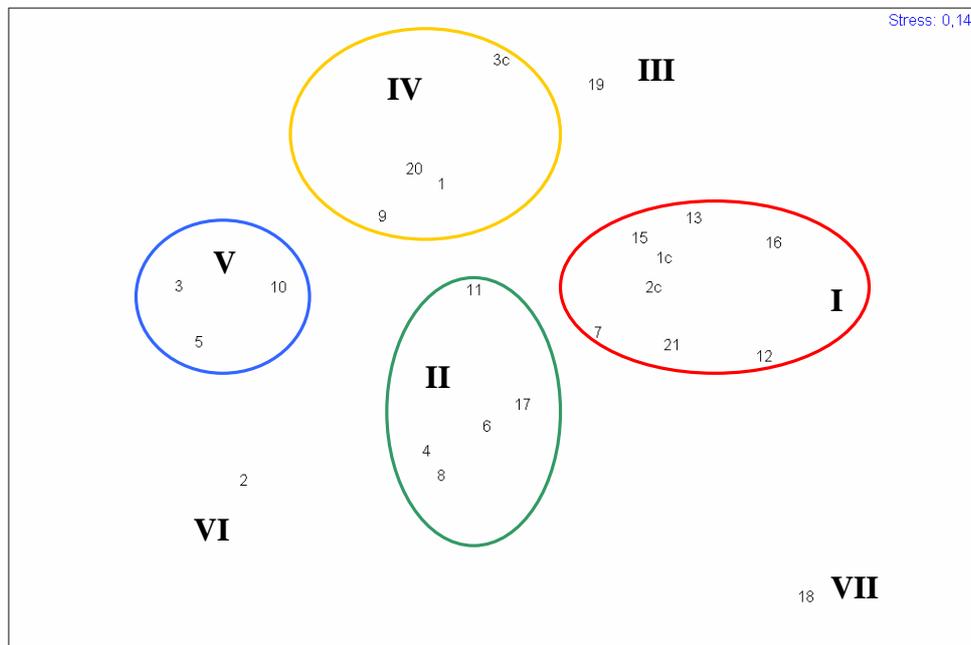


Figure 40 : **MDS** ( Positionnement Multidimensionnel) sur la matrice des abondances moyennes des espèces/station

Une valeur de stress de 0,14 indique une image satisfaisante de la représentation des stations dans un espace à deux dimensions.

Groupes définis (CAH et MDS)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Type sédimentaire	Sable grossier et graviers	Sable moyen	Maërl	Maërl envasé	Sable fin envasé	Vase	Sable moyen à grossier ridé
Stations	1c, 2c, 7, 12, 13, 15, 16, 21	4, 6, 8, 11, 17	19	1, 9, 20, 3c	3, 5, 10	2	18

Tableau 6 : Regroupements identifiés par CAH et MDS, et leur typologie sédimentaire correspondante

	Sable grossier et graviers	Sable moyen	Maërl	Maërl envasé	Sable fin envasé	Vase	Sable moyen à grossier ridé
<b>Abondance moyenne/m<sup>2</sup></b>	<b>382,1</b>	<b>396,6</b>	<b>1761</b>	<b>1199,8</b>	<b>738,3</b>	<b>200</b>	<b>93</b>
écart type	145,7	143,3	–	940,7	337,6	–	–
<b>Richesse spécifique moyenne/entité</b>	<b>45,1</b>	<b>52,4</b>	<b>93</b>	<b>65,8</b>	<b>37,7</b>	<b>30</b>	<b>16</b>
écart type	7,7	12,1	–	13,4	16,3	–	–
<b>Richesse spécifique totale</b>	<b>138</b>	<b>138</b>	<b>93</b>	<b>145</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	<b>16</b>
<b>Indice de diversité moyenne H'</b>	<b>4,8</b>	<b>5</b>	<b>5,248</b>	<b>4,6</b>	<b>2,66</b>	<b>4,094</b>	<b>3,646</b>
écart type	0,5	0,3	–	1,1	0,7	–	–
<b>Equitabilité moyenne J'</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8025</b>	<b>0,8</b>	<b>0,51</b>	<b>0,8344</b>	<b>0,9116</b>
écart type	0,1	0,05	–	0,2	0,1	–	–

Tableau 7 : Abondance, richesse spécifique et indices de diversité par entité

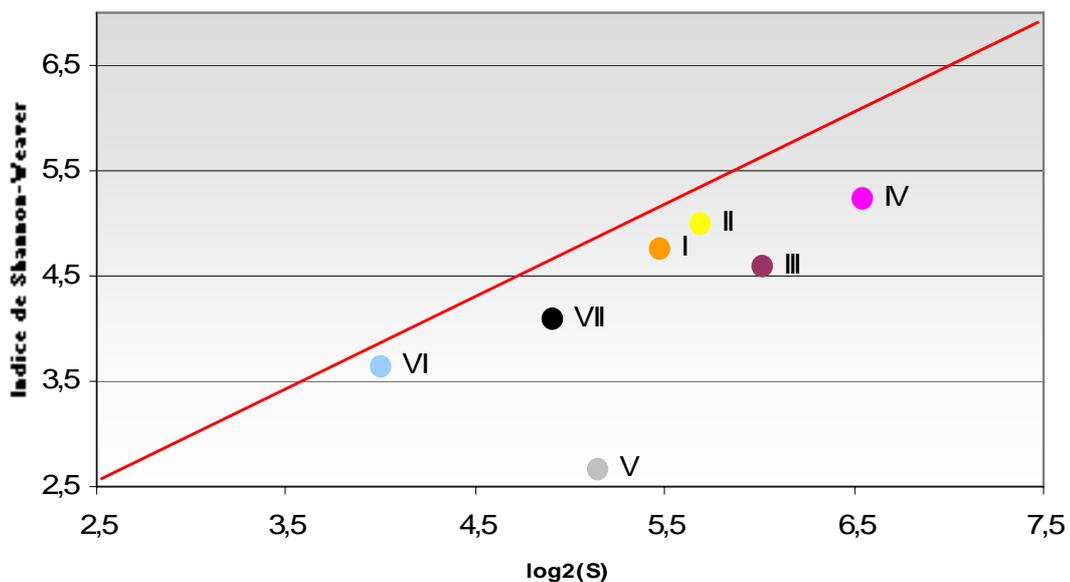


Figure 41 : Représentation DIMO (Diversity Monitoring)

### 3.3.3 Caractérisation des principales unités de peuplements

Elle s'appuie sur les résultats biologiques moyennés, illustrés par les figures 42 à 44 .

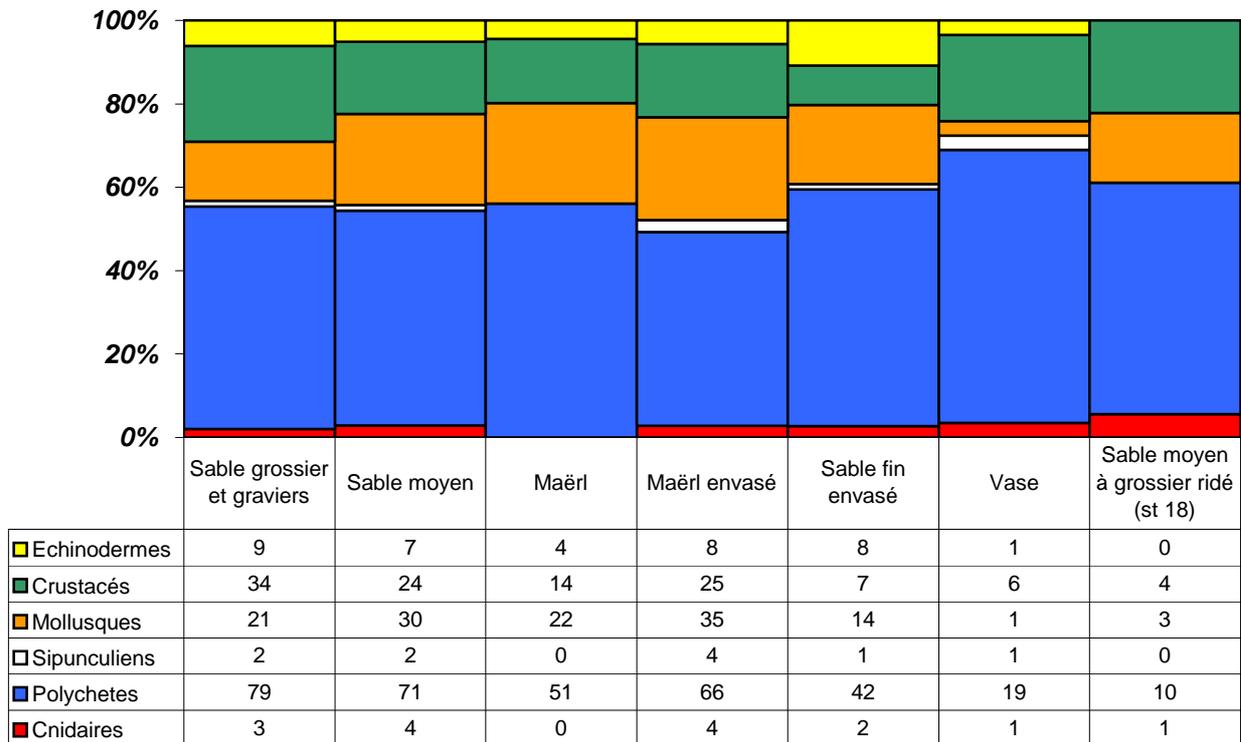


Figure 42 : Répartition des principaux groupes taxonomiques/entité (en terme de richesse spécifique)

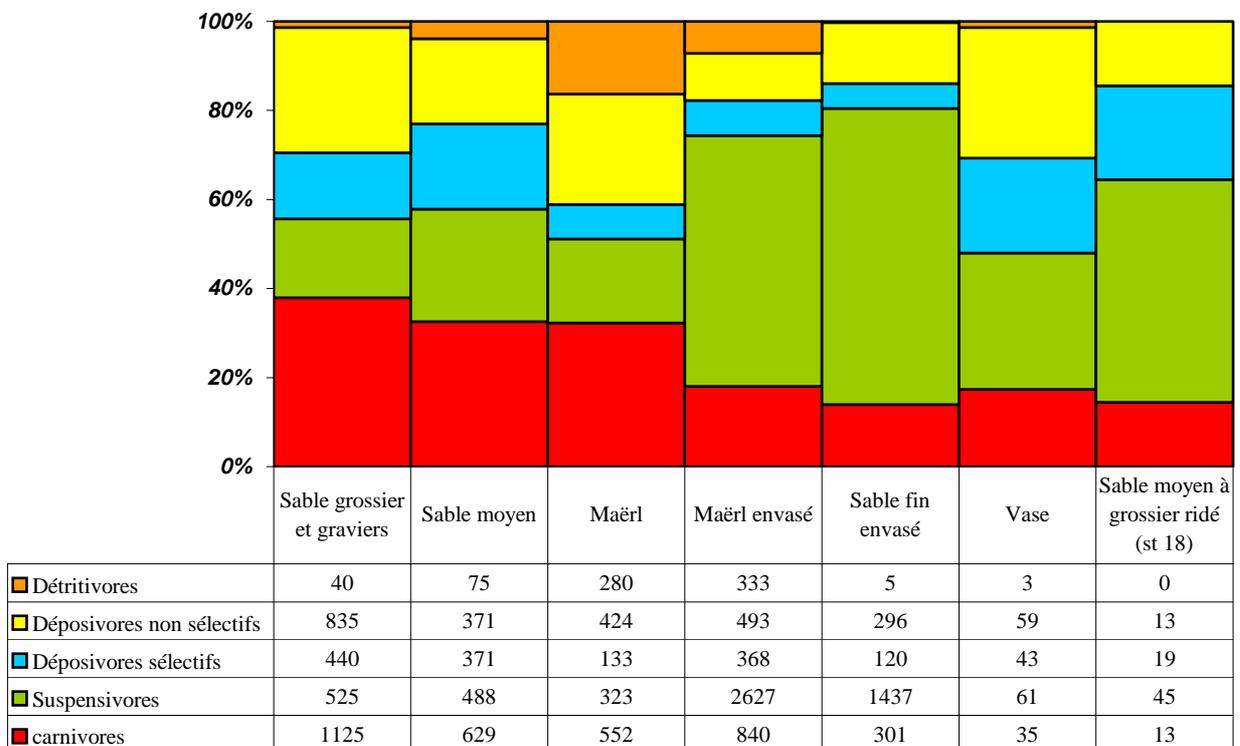


Figure 43 : Répartition des groupes trophiques/entité (en terme d'abondance/m<sup>2</sup>)

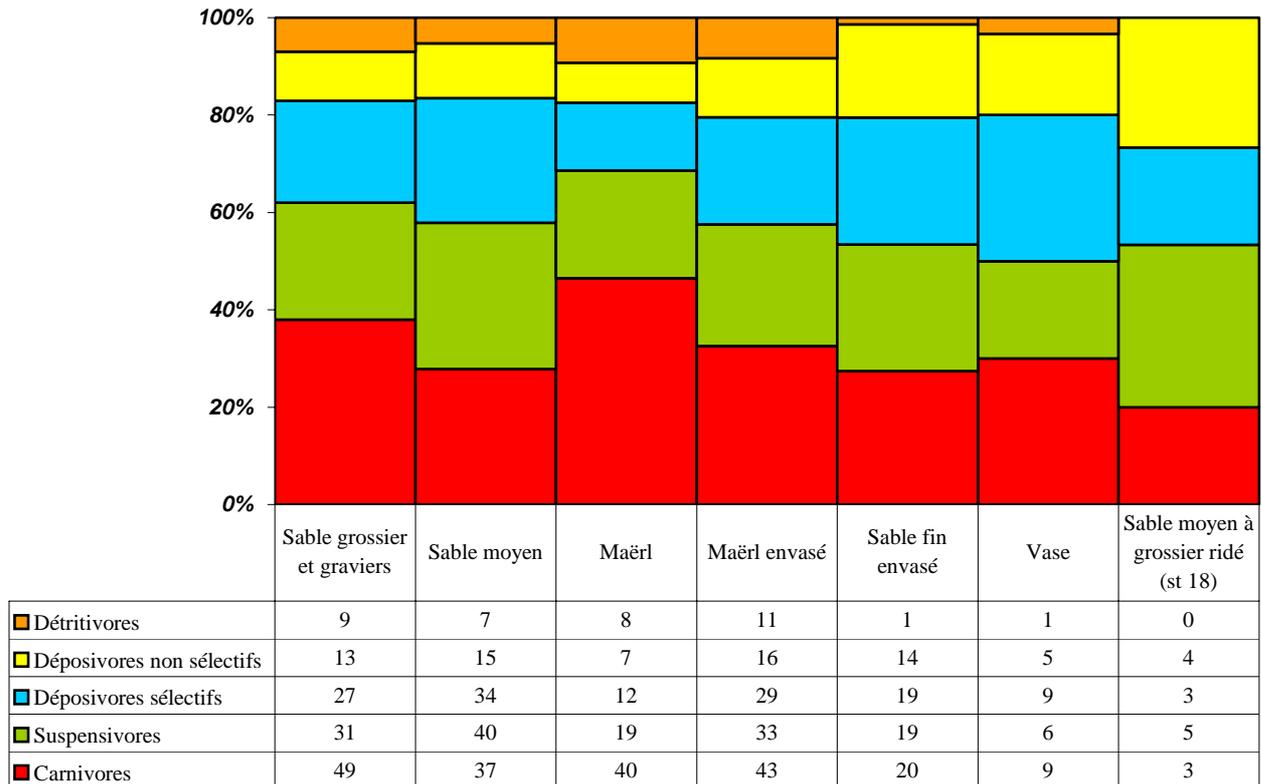


Figure 44 : Répartition des groupes trophiques/entité (en terme de richesse spécifique)

### 3.3.3.1 Peuplement des sables grossiers et graviers à *Branchiostoma lanceolatum*

Les analyses multivariées (fig. 39 et 40) regroupent les stations de sables grossiers et graviers (1c, 2c, 13, 15, 16, 7, 12, 21) localisées dans l'ouest et au sud de l'archipel. Les polychètes (errants et sédentaires) dominent et regroupent plus de 50 % des espèces recensées. Les crustacés et les mollusques y sont également bien représentés (fig.42).

Cette entité de fonds grossiers à mégarides traduit un fort hydrodynamisme qui favorise l'installation d'espèces caractéristiques de ces fonds telles que le céphalocordé *Branchiostoma lanceolatum* (fig. 45), appelé communément amphioxus, qui colonise des fonds analogues sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique. Les densités sont très certainement supérieures à celles observées car la benne Hamon n'est pas l'engin de prélèvement le mieux adapté pour échantillonner cette espèce très mobile. Des densités de 60 individus/m<sup>2</sup> ont été signalées en mer d'Iroise (Raffin, 2003).

Sont associés à l'amphioxus des polychètes errants de petite taille que l'on rencontre de manière constante, quasi exclusive (*annexe 7*), en densité non négligeable dans les sédiments grossiers et propres. Il s'agit principalement de *Praegeria remota*, de *Goniadella gracilis* (fig. 46) identifié récemment sur la côte Atlantique en baie de Douarnenez (Blanchet *et al*, 2004), de *Glycera lapidum*, et d'*Ehlersia cornuta*. Par ailleurs, l'archiannélide du genre *Polygordius* (fig. 47) est également inféodé à cette entité sédimentaire. Notons que pour *Ehlersia cornuta* et *Polygordius*, les densités sont largement sous estimées étant donné leur petite taille et la maille de tamis utilisée (2 mm). La richesse spécifique moyenne est de 45 espèces (+/- 7,7) et l'abondance moyenne totale de 382 individus/m<sup>2</sup> (+/- 145). Au total, 138 espèces ont été identifiées sur ces fonds grossiers (tab. 7). L'analyse des groupes trophiques, en terme de richesse spécifique (*annexe 8*), montre une légère dominance des carnivores (49 espèces identifiées, soit environ 36% des espèces recensées), représentés majoritairement (fig. 43 et 44) par les polychètes errants qui sont, en général, des prédateurs actifs. Le groupe des dépositivores non sélectifs se distingue également en terme d'abondance (fig. 44), en partie grâce à la présence du *Polygordius*.

Le peuplement présente une équitabilité moyenne de 0,9 (+/- 0,1), révélant une structure régulière où la majorité des espèces ont une densité comparable (tab. 7 et fig. 41).

Figure 45 : *Branchiostoma lanceolatum*Figure 46 : *Goniadella gracilis*Figure 47 : genre *Polygordius*

### 3.3.3.2 Peuplement des sables moyens à *Nephtys cirrosa*

Les fonds de sables moyens se distribuent au nord de l'archipel, sous la forme d'une bande sableuse s'effilant d'est en ouest, et dans la partie sud-est où ils alternent avec les fonds grossiers. Les analyses multivariées (fig. 39 et 40) rassemblent les stations 4, 6, 8, 11 et 17. Les indices de diversité (tab. 7 et fig. 41) révèlent une structuration du peuplement quasi semblable à celle du peuplement des sables grossiers et graviers, avec cependant une richesse spécifique moyenne légèrement supérieure (52,4 +/- 12,1). L'hydrodynamisme généré par les courants de marées favorise le déplacement d'une fine couche de sable fin provenant des fonds plus ou moins envasés du nord-est de l'archipel. Ce phénomène influence la composition faunistique du peuplement qui présente à la fois des espèces inféodées aux sables moyens propres, telles que *Nephtys cirrosa* (fig. 48) et des espèces de sables fins plus ou moins envasés, comme le cnidaire *Edwardsia sp*, mais aussi les polychètes sédentaires *Owenia fusiformis*, *Magelona alleni* (fig. 49), *Chaetozone gibber* (fig. 50), *Scoloplos armiger*. L'analyse des groupes trophiques (fig. 43, annexe 8) révèle un certain nombre d'espèces de polychètes dépositivores sélectifs (34 au total) qui se nourrissent dans la couche superficielle du sédiment.

Figure 48 : *Nephtys cirrosa*Figure 49 : *Magelona alleni*Figure 50 : *Chaetozone gibber*

### 3.3.3.3 Peuplement des sables fins envasés à *Amphiura filiformis*

L'entité homogène de sables fins envasés (environ 25% de pélites) assurent la transition entre les fonds grossiers et les fonds vaseux localisés au nord-ouest. Elle est caractérisée par les stations 3, 5, 10 (fig. 39 et 40), proches géographiquement les unes des autres. Les richesses spécifiques moyenne et totale ne sont pas très élevées (respectivement 37,7 +/- 16,3 et 75) (tab. 7) ; l'indice de Shannon-Weaver (2.66 +/- 0.7) et l'équitabilité (0.51 +/- 0,1) révèlent une structure de peuplement irrégulière (tab. 7 et fig.41) qui s'explique par la dominance de l'ophiure fouisseuse suspensivore *Amphiura filiformis* (fig. 51) dont les densités atteignent environ 500 individus/m<sup>2</sup>. A noter que l'espèce est également bien représentée en baie de Douarnenez (Augris *et al.*, 2005), ainsi qu'en baie de Galway (Irlande) où une densité maximale de 904 individus/m<sup>2</sup> a été observée par O'Connor *et al.* (1983). Plus généralement,

l'espèce est observée en fortes densités en de nombreux sites du Nord-Est Atlantique, dans des sédiments dont la teneur en pélites se situe le plus souvent entre 10 et 20%.

*Amphiura filiformis* vit enfouie dans le sédiment, ses longs bras dressés à la surface lui permettant de filtrer des particules en suspension transportées par les courants, mais elle peut aussi avoir un régime dépositivore dans les zones de courants réduits (Ockelmann et Muus, 1978). Est associé à cette espèce un cortège d'invertébrés à caractère vasicole (annexe 7) : les polychètes *Pholoe inornata*, *Euclymene oerstedii*, *Maldane glebifex*, le mollusque bivalve *Tellina serrata*, les holothuries *Leptosynapta inhaerens* et *Leptopenctata elongata*, et aussi le sipunculien *Aspidosiphon muelleri* (fig. 52) qui colonise les coquilles vides de *Turritella communis* (fig. 53).

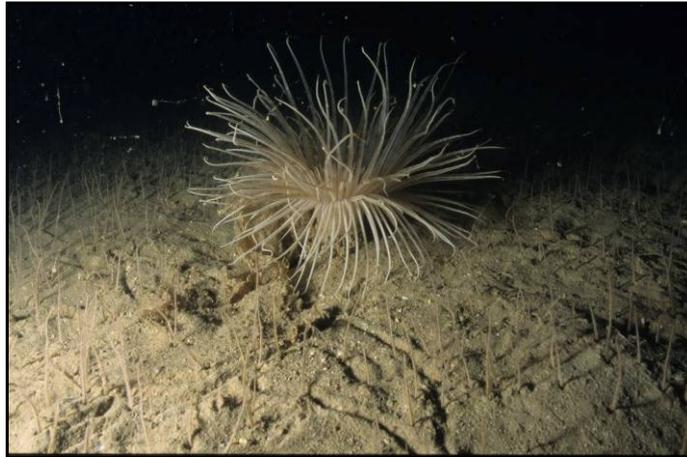


Figure 51 : Fond à *Amphiura filiformis* (noter les bras dressés) avec un Cérianthe (cliché Xavier Caisey)



Figure 52 : *Aspidosiphon muelleri*



Figure 53 : *Turritella communis*

#### 3.3.3.4 Peuplement des vases à *Haploops*

Localisée dans la partie orientale de l'archipel, cette entité n'est caractérisée que par la station 2 (environ 45% de pélites). Les enregistrements vidéos réalisés sur ce secteur ont révélé de très fortes concentrations d'*Haploops* (fig. 54). L'alternance de zones plus ou moins fortement colonisées, respectivement en dômes et en cuvettes (fig. 31, § 4.1.2.3), de dimension métrique à décamétrique, confère à ces fonds une morphologie irrégulière. Ce crustacé amphipode, de la famille des Ampeliscidés, agglomère les fines particules de vase pour y construire son tube, et prend certainement une part active à l'induration du sédiment (Ménesguen, 1980). L'analyse taxonomique a montré qu'il ne s'agit probablement pas d'*Haploops tubicola* mais d'un mélange d'*Haploops nirae* et d'*Haploops Della*

*Vallei* qui se distinguent principalement par la forme d'un article de l'uropode 1, mais ceci reste à confirmer.

Une emprise spatiale importante des fonds à *Haploops* a pu être constatée, lors de missions Rebent, en baie de Concarneau (acquisitions 2003 ; Ehrhold *et al.*, 2006) mais également entre Concarneau et les Glénan (acquisitions 2006). Ce peuplement est également bien représenté dans le Mor Braz, au large de la baie de Vilaine, comme en témoignent les résultats d'études benthiques antérieures (Le Bris et Glémarec, 1996) et de campagnes de chalutages réguliers depuis 1981 (Désaunay et Guérault, 2003). Notons que l'abondance de l'espèce est ici sous-estimée (*annexe 5*) car la benne Hamon n'est pas l'engin le mieux adapté à son échantillonnage (effet de chasse à l'arrivée sur le fond). Dans ces sédiments peu oxygénés, la diversité faunistique est faible (richesse spécifique totale de 30) (tab. 7) et ces conditions favorisent l'installation d'espèces adaptées, telles que les Maldanidés, *Maldane glebifex* (fig. 55) et *Macroclymene santanderensis* (fig. 56), le polychète errant *Nephtys hystrix*, et profitent également aux polychètes sédentaires dépositores, notamment de la famille des Terebellidés : *Streblosoma bairdii*, *Amphitrite edwardsii* (associée au décapode *Asthenognathus atlanticus*), *Paramphitrite tetrabanchia*, *Pista maculata*. La vidéo et les photographies en plongée ont en outre mis en évidence une faune vagile abondante représentée, en particulier, par des pagures (fig. 57), et des galathées.



Figure 54 : Fonds à *Haploops* (cliché Xavier Caisey )



Figure 55 : *Maldane glebifex*  
(l'animal et son tube en coupe horizontale)



Figure 56 : Prostomium de *Macroclymene santanderensis*



Figure 57 : Pagures (cliché Xavier Caisey )

### 3.3.3.5 Peuplement des fonds de maërl

Une seule station (19), localisée au nord de l'île de Saint Nicolas, a été échantillonnée. Au total, 93 espèces de macrofaune ont été identifiées, avec une moyenne de 55 (+/- 3,6) espèces par échantillon. La valeur totale de la richesse spécifique est sous-estimée étant donné le nombre d'échantillons insuffisants pour caractériser cette entité habituellement très riche et diversifiée. Les espèces les mieux représentées (*annexes 5 et 7*) sont l'archiannélide *Polygordius lacteus* (plus de 200 individus/m<sup>2</sup>), le polychète errant *Platynereis dumerilii* et le bivalve *Clausinella fasciata* (fig. 58).



Figure 58 : *Clausinella fasciata*

Les travaux menés par ailleurs par le bureau d'étude In Vivo Environnement (2003), en rapport avec l'exploitation industrielle du maërl au nord de l'archipel, attestent d'une richesse spécifique de 286 espèces d'invertébrés benthiques (récoltés sur maille de 1 mm). Le maërl constitue d'importantes niches écologiques et par conséquent abrite une grande diversité faunistique (épifaune et endofaune) et floristique (algues épiphytes).

A noter que les fonds de maërl, considérés comme un habitat remarquable des côtes bretonnes, font l'objet d'un suivi annuel de leur biodiversité en différents secteurs du littoral, parmi lesquels le secteur des Glénan. Les premiers résultats de ces travaux, de même qu'une fiche de synthèse sur les bancs de maërl (Grall, 2003), sont disponibles sur le site web Rebent (<http://www.rebent.org>).

Le maërl désigne des accumulations d'algues calcaires corallinacées vivant librement sur les fonds meubles, dont la limite supérieure est définie par les plus basses marées de vives eaux et la limite inférieure est principalement conditionnée par l'éclairement (jusqu'à 20-25 m en baie de Camaret). En Europe, le maërl est présent dans toute la Méditerranée, et sur la côte est atlantique, particulièrement sur les côtes bretonnes où les bancs sont les plus abondants et où dominent les espèces *Lithothamnion corallioides* et *Phymatholithon calcareum*. Il peut constituer des bancs de taille très variables (de quelques m<sup>2</sup> à plusieurs km<sup>2</sup>) composés soit de fragments morts et vivants, soit de fragments morts uniquement. Les thalles ont une croissance très lente et l'âge de certains bancs est estimée à plus de 8000 ans. Le développement et la distribution des bancs de maërl sont essentiellement conditionnés par l'éclairement, les eaux doivent être assez peu turbides pour permettre la photosynthèse, et des courants relativement limités pour ne pas déplacer les thalles, mais néanmoins suffisants pour assurer une bonne circulation de l'eau.

### 3.3.3.6 Peuplement des fonds de maërl envasé

Les fonds de maërl envasé, représentés par les stations 1, 9 et 20, sont principalement développés au nord et à l'est où ils constituent le peuplement de transition entre les sables fins envasés et les bancs de maërl propre du nord de l'archipel. Plus au sud, à proximité des roches, la station 3c, composée d'une fraction granulométrique plus grossière, montre un groupe d'espèces communes aux stations du nord. On observe à la fois des espèces inféodées aux sables envasés et au maërl, révélant ainsi une richesse spécifique totale (145 espèces) et moyenne (65.8 +/- 13.4) relativement élevées (tab. 7). Le peuplement se caractérise par une nette dominance du crustacé suspensivore *Pisidia longicornis* (fig. 59) dont la densité varie de 40 à 1300 individus/m<sup>2</sup> (annexe 5). On note également la présence de la palourde *Paphia rhomboides* (fig. 60) et du polychète sédentaire *Scalibregma celticum* (fig. 61).



Figure 59 : *Pisidia longicornis*  
(cliché Christian König)



Figure 60 : *Paphia rhomboides*



Figure 61 : *Scalibregma celticum*

## Conclusion

La distribution des habitats dans le domaine subtidal du secteur Glénan (fig. 62) est étroitement liée à la répartition des unités morpho-sédimentaires, elle-même fonction de l'agitation du plan d'eau sous l'action des courants de marée et de la houle, et du socle géologique qui dresse notamment une succession de hauts-fonds rocheux aux abords de l'archipel.

La région nord-est de l'archipel présente un gradient hydrodynamique et sédimentaire décroissant de la côte vers le large. On y observe successivement la présence :

- De biocénoses de maërl propre et ensablé au-dessus de 10 m de profondeur sur 3,4 km<sup>2</sup> (tab. 8). Ces fonds de maërl qui constituent un banc en terrasse accroché entre l'île Saint-Nicolas et l'île de Penfret (Augris *et al.*, 1986), sont façonnés de petites et moyennes dunes hydrauliques symétriques.
- De fonds de maërl envasé jusqu'au pied de cette terrasse sur 6,5 km<sup>2</sup>. Il s'agit d'un peuplement de transition entre les sables fins envasés et le banc de maërl. On y retrouve à la fois des espèces inféodées au sable envasé et au maërl.
- De peuplements de sable fin envasé sur 5,5 km<sup>2</sup>, de structure irrégulière, dominés par l'ophiure fouisseuse suspensivore *Amphiura filiformis*.
- De vases à *Haploops* localisées à l'extrême nord-est de la zone d'étude, structurant un fond chaotique modelé de cratères (pockmarks) de dimensions variables, submétriques à décamétriques. Ce peuplement est connecté à celui recouvrant les fonds vaseux de la baie de Concarneau.

Les régions occidentales et méridionales sont occupées par des peuplements s'adaptant à des conditions hydrodynamiques plus turbulentes. Les cortèges sédimentaires sont plus grossiers (mélanges sables et graviers jusqu'au pavage de cailloutis et blocs à proximité des roches) et épisodiquement remobilisés en surface. Les hauts fonds rocheux sont nombreux accélérant localement les courants :

- Le chenal de Penfret est caractérisée par un patchwork de peuplements essentiellement sableux à *Nephtys* et localement sablo-graveleux à amphioxus (*Branchiostoma lanceolatum*).
- Le peuplement des sables grossiers graveleux à *Branchiostoma lanceolatum* occupe presque la moitié de la zone couverte (tab. 8). La structure du sédiment est régulière, formée de mégarides plurimétriques et symétriques, et au sein de laquelle, la majorité des espèces ont une densité comparable.
- Les substrat durs rocheux ou à blocs représentent environ 16 % de l'aire d'étude et sont particulièrement bien représentés dans l'étage circalittoral, au-delà de 20 m de profondeur, dans la succession des basses qui prolongent l'archipel vers le sud-ouest. Nous ne les avons pas étudiées du point de vue biologique, si ce n'est au travers de quelques reconnaissances vidéo insuffisamment exploitées. Ils n'hébergent que des espèces sciaphiles (espèces qui supportent des conditions d'éclairement faibles). La couverture végétale est généralement faible et la faune fixée bien représentée par des hydriaires, bryozoaires, éponges, etc. A noter que deux sites au nord de Penfret et dans l'ouest du chenal des Bluiniers, font l'objet d'un suivi annuel par le MNHN de Concarneau (Derrien-Courtrel *et al.*, 2005), dans le cadre du projet Rebent

Peuplement	Typologie EUNIS	Surface couverte (km <sup>2</sup> )	Surface couverte (%)
Vase sableuse à <i>Haploops</i> *	A5.35_1	2,1	3,2
Vase sableuse à <i>Amphiura filiformis</i> *	A5.26_1	5,5	8,1
Sable moyen à <i>Nephtys</i>	A5.231	7,3	10,7
Sable grossier et gravier à <i>Amphioxus</i>	A5.135	31,2	46
Hétérogène grossier envasé	A5.43	0,6	0,8
Maërl	A5.511	1,7	2,5
Maërl sableux	A5.511	1,7	2,6
Maërl envasé	A5.514	6,5	9,6
Epifaune sessile sur blocs	A4 (boulder)	0,6	0,9
Epifaune sessile sur roche	A4	10,5	15,5
<b>Total</b>		<b>67,9</b>	<b>100</b>

\* Classes en cours de validation

Tableau 8 : Répartition des habitats sur le secteur d'étude

La classification EUNIS (European Nature Information System) constitue la référence européenne de classification des habitats pour les domaines terrestres, dulçaquicoles et marins.

Elle repose sur un classement hiérarchique des habitats prenant en compte, pour le domaine marin, des paramètres physiques du milieu (bathymétrie, nature du fond, niveau d'exposition aux, salinité...) et des descripteurs biologiques (faune et flore). Elle subit des évolutions au fur et à mesure de sa mise en application.

Son intérêt réside dans la possibilité de comparer les habitats au niveau européen et de faciliter la mise en œuvre de directives européennes telles que la Directive Habitats et son outil opérationnel Natura.

C'est pourquoi, *in fine*, les unités de peuplements identifiés dans le cadre de ce travail ont été traduites selon cette nomenclature (<http://eunis.eea.eu.int/habitats.jsp>).

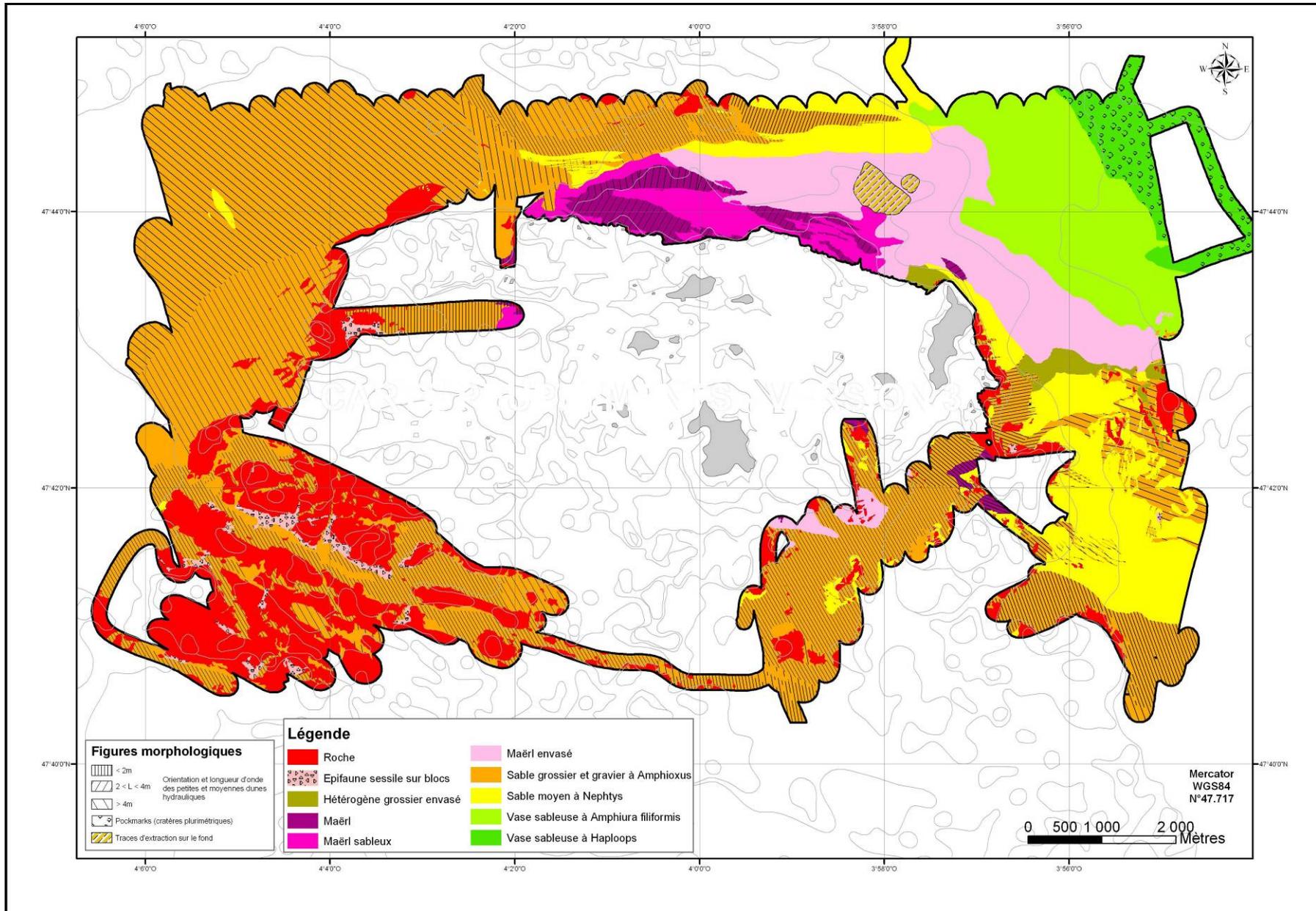
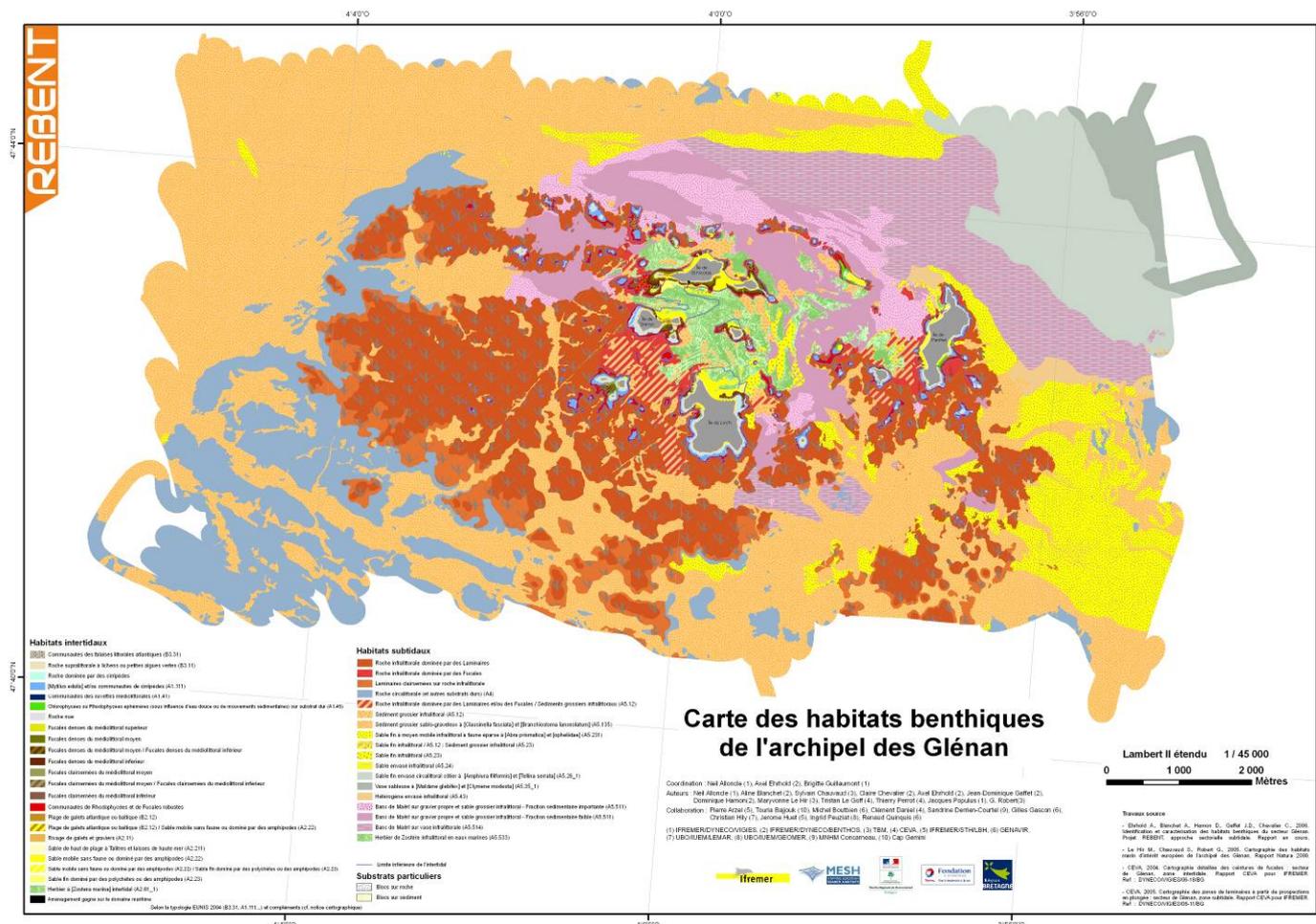


Figure 62 : Carte des peuplements benthiques sur le secteur Glénan

Les résultats de ces travaux, combinés à d'autres données issues du Rebut (en particulier la cartographie quantitative des principales ceintures végétales : herbiers de zostères et grandes algues) mais également d'autres travaux relatifs au site Natura des Glénan, ont permis d'entreprendre une synthèse cartographique des habitats sur l'ensemble de l'archipel.

La carte présentée ci-après en donne un aperçu, à titre d'information, car ce document est en cours de finalisation et fera prochainement l'objet d'une présentation spécifique.



## Références bibliographiques

### Caractères généraux de la zone d'étude

- Delanoë Y., Pinot J.P., 1977. Littoraux et vallées holocènes submergés en baie de Concarneau (Bretagne méridionale). Bull. Ass. Fr. Et. Quaternaire, 3, 27-38.
- \*In Vivo Environnement, 2003. Etude et cartographie du banc de Maërl au Nord de l'archipel des Glénan. Phase 1, Fugro : campagne d'acquisition bathymétrique et sonar latéral, 25 p, 7 cartes, 5 annexes. Phase 2, Grall J. : état de santé du banc de Maërl et de la macrofaune benthique, 32 p., 7 cartes, 13 annexes. Phase 3, Sogreah : modélisation du panache turbide de l'extraction, 68 p, 2 annexes. Phase 4, In Vivo : Synthèse des résultats, 26 p.
- Menier D., 2003. Morphologie et remplissage des vallées fossiles sud-armoricaines : Apports de la stratigraphie sismique, Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bretagne Sud, 212 p.
- Pinot J.P., 1974. Le pré-continent breton, entre Penmarc'h, Belle-île et l'escarpement continental, étude géomorphologique, Lannion Impram, 256 p.
- \*Tessier C., 2006. Caractérisation des turbidités en zone côtière, l'exemple de la région marine Bretagne Sud. Thèse de doctorat de l'université Bordeaux 1, à soutenir.
- Vanney J.R., 1977. Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine. S.E.D.E.S., Paris, 473 p.

### Acquisition et analyse des données

- Augris C., Clabaut P., Bourillet J.F., Dewez L., 1993. Notice explicative de la carte morpho-sédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et le Tréport (Seine Maritime). Éd. Ifremer, 48 p.
- Augris C., Hamon D. (coordinateurs) et al., 1996. Atlas thématique de l'environnement marin en baie de Saint-Brieuc (Côtes d'Armor). Éd. Ifremer, 72 p., 20 cartes.
- Barbault R., 1992. Ecologie des peuplements, structure, dynamique et évolution. Masson, 273 p.
- Blanchard M., Clabaut P., Abernot-Legac C., 2006. Cartographie et évaluation du stock de crépidules en baie du Mont Saint-Michel, en 2004. Éd. Ifremer 34 p.
- Blott S.J., Pye K., 2001. Gradistat : A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 26, Issue 11, 1237– 1248.
- Bray Curtis, 1957. An ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. Ecology Monograph. Vol.27, N° 4, 325-349.
- Chevillon C., 2001. Caractérisation des types de fonds et habitats benthiques par classification hydro-acoustique dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Rapport interne IRD.
- Connor D.W., Allen J.H., Golding N., Howell K.L., Lieberknecht L.M., Northen K.O., Reker, J.B., 2004. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland. Version 04.05 (internet version: [www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification](http://www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification)). Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Costello M. J., Emblow C., White R., 2001. European Register of Marine Species. A check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides of their identification, 463 p.
- Davies C.E., Moss D., Hill M.O. 2004. EUNIS Habitat Classification Revised 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, Paris for European Environment Agency, Copenhagen. October 2004. 307 p. (<http://eunis.eea.eu.int/habitats.jsp>)
- Degraer S., Van Lancker V., Moerkerke G., Van Hoey G., Vincx M, Jacobs P., Henriët J.P., 2002. Intensive evaluation of the evolution of a protected benthic habitat : HABITAT. Final report. Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs (OSTC) – Ministry of the Flemish Community, Environment and Infrastructure. Department. Waterways and Marine Affairs Administration, Coastal Waterways, 124 p.

- De Grave S., Fazakerley H., Kelly L., Guiry M.D., Ryan M. and Walshe J., 2000. A study of selected maërl beds in Irish Waters and their potential for Sustainable Extraction. Rapport final Marine Institute, 50 p.
- Ehrhold A., 2000. Méthodologie de traitement des données RoxAnn : validation au large de la plateforme sud-armoricaine, Rapport d'Etude, EPSHOM, n°479, 22 p.
- Ehrhold A., Blanchard M., Auffret J.P., Garlan T., 1998. Conséquence de la prolifération de la crépidule (*Crepidula fornicata*) sur l'évolution sédimentaire de la baie du Mont-Saint-Michel (Manche, France). C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA, 327, n°9, 583-588.
- Fenstermacher L.E., Crawford G.B., Borgeld J.C., Britt T., George D.A., Klein M.A., Driscoll N.W., Mayer L.A., 2000. Enhanced acoustic backscatter due to high abundance of sand dollars, *Dendraster excentricus*. Marine Georesources & Geotechnology, vol. 19, n°2, 135-145.
- Folk R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. Journal of Geology, 62, 344-359.
- Foster-Smith R.L., Davies J., Sotheran I., 1999. Broad scale remote survey and mapping of sublittoral habitats and Biota. Report of sublittoral mapping methodology of the BMAP Project, Sea Map research group, 157 p.
- Frontier S., 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson, 494 p.
- Glémarec M., 1963. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Faculté des Sciences, 91 p.
- Greenstreet S.P.R., Tuck I.D., Grewar G.N., Armstrong E., Reid D.G., Wright P.J., 1997. An assessment of the acoustic survey technique, RoxAnn, as a means of mapping seabed habitat. ICES Journal of Marine Science, vol. 54, n° 5, 939-959.
- Hamilton L.J., 2001. Acoustic seabed classification systems. Rapport DSTO, TN, 0401, 75 p.
- Hily C. et Bouteille M., 1999. Modifications of the specific diversity and feeding guilds in an intertidal sediment colonized by an eelgrass meadow (*Zostera marina*) (Brittany, France). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 322, 1121-1131
- Hovland M., Vasshus S., Indreide A., Austdal L., Nilsen O., 2002. Mapping and imaging deep-sea coral reefs off Norway. Hydrobiologia, 471(1), 13-17.
- ISO/FDIS 16665, 2005 : Qualité de l'eau, lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles, 40 p.
- Kaiser M.J., Armstrong P.J., Dare P.J., Flatt R.P., 1998. Benthic communities associated with a heavily fished scallop ground in the English Channel. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., vol. 78, n°4, p. 1045-1059.
- Kostylev V.E., Courtney R.C., Robert G., Todd B.J., 2003. Stock evaluation of giant scallop (*Placopecten magellanicus*) using high-resolution acoustics for seabed mapping. Fisheries Research, vol 60, 2, 551-560.
- \*Lesueur P., Klingébiel A., 1986. Carte et notice de répartition des sédiments superficiels du plateau continental du Golfe de Gascogne, partie septentrionale (éch. : 1/500000). Coédition BRGM-IFREMER, Carte géologique de la marge continentale française, 1 carte, 1 notice, 23 p.
- Lunven M., Le Goualher V., Vasquez M. 2002. VIDEONAV : Logiciel de navigation, traitement des bandes vidéo benthiques. Rapport Ifremer, 20 p.
- Magorrian B.H., Service M., Clarke W., 1995. An acoustic bottom classification survey of Strangford Lough, Northern Ireland. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., vol. 75, 4, 987-992.
- Maravelias C.D., Reid D.G., Swartzman G., 2000. Seabed substrate, water depth and zooplankton as determinants of the prespawning spatial aggregation of North Atlantic herring. Mar. Ecol. Prog. Ser., vol. 195, 249-259.
- Murphy L., Leary T., Williamson A., 1995. Standardizing seabed classification techniques. Sea Technology, 36, 15-19.
- Nunny R., Santana M., Stone P., Tillet D., Walling D., 2001. An investigation of the impact on reef environments of changing land-use in the Stann Creek district of Belize. Report M3, WRICsc publication, 330 p.

- \*Paillard M., Gravez V., Clabaut P., Walker, P., Blanc J.J., Boudouresque C.F., Belsher, T., Urscheler F., Poydenot F. et al., 1993. Cartographie de l'herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica*) et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var - France) : reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. Notice de présentation. Document Ifremer, 3 cartes en annexe, 36 p.
- Piazzzi L., Acunto S., Cinelli F., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta*, Vol. 23, Issue 3, 339-346.
- Pielou E.C., 1966. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and measure. *American Naturalist*, 100: 463- 465.
- Pinn E.H., Robertson M.R., Shand C.W., Armstrong F., 1998. Broad-scale benthic community analysis in the Greater Minch Area (Scottish west coast) using remote and nondestructive techniques. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, n°16, 3039-3054.
- Provencher L., Giguere M., Gagnon P., 1997. Seabed characteristics between the 10 and 50 meter isobaths around the Magdalen Islands measured by hydro-acoustics and sediment sampling. Evaluation of acoustic RoxAnn USP system. Ministère des Pêches et des Océans, Mont-Joli, Canada, Dir. Sci., 49 p.
- Rivière A., 1977. Méthodes granulométriques : techniques et interprétations. Masson, Paris, 170 p.
- Roberts H.H., Phipps C.V., Effendi, L.L., 1987. Morphology of large Halimeda bioherms, eastern Java Sea (Indonesia) : A sidescan sonar study. *Geo. Mar. Lett.*, vol. 7, n°1, 7-14.
- Service M., 1998. Monitoring benthic habitats in a Marine Nature Reserve (1998). *Journal of Shellfish Research*, 17, (5), 1487-1489.
- Seaward-Thomson B.L., Hails J.R., 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. *Sedimentology*, 20, p. 161.
- Sotheran I.S., Foster-Smith R.L., Davies J., 1995. Mapping of marine benthic habitats using image processing techniques within a raster-based geographic information system. Proc. 25. Ann. Symp. of ECSA. Part 3, Dublin (Ireland), 11-16 Sep 1995, Science for Management in coastal and estuarine waters, eds. 1997, vol. 44, Suppl. A, 25-31.
- Smith G.F., Bruce D.G., Roach E.B., 2001. Remote Acoustic Habitat Assessment Techniques Used to Characterize the Quality and Extent of Oyster Bottom in the Chesapeake Bay. *Marine Geodesy*, vol. 24, (3), 171-189.
- Qinghong L., 1995. A model for species diversity monitoring at community level and its applications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 34 : 271-287.
- Voisin P., Baltzer A., Fournier J., Lelong F., Moore C.G., Poizot E., Rousset J.M., Stephanian A., 2005. Utilisation du sonar à balayage latéral pour la cartographie des peuplements récifaux du ver tubicole *Serpula vermicularis* dans un loch écossais. Résumé au colloque MESH-MALO, Saint-Malo les 8 et 9 novembre 2005.
- Williamson A., 1998. Use of acoustics in remote sensing of the seabed. *Hydro. Int.*, vol. 2, n° 2, 51-53.

## Résultats

- Audren C., Lefort J.P., 1977. Géologie du plateau continental sud armoricain entre les îles de Glénan et de Noirmoutier. Implications géodynamiques. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), n°2, 395-404.
- Auffret J.P., Augris C., 1987. Sillons graveleux sous-marins courbes portant des mégarides symétriques en baie de Morlaix. *Congrès français de Sédimentologie*, publi. ASF, vol. 1, p. 27.
- Augris C., Ménesguen A., Hamon D., Blanchet A., Le Roy P., Rolet J., Jouet G., Véron G., Delannoy H., Drogou M., Bernard C., Maillard X., 2005. Atlas thématique de l'environnement marin de la baie de Douarnenez (Finistère). Partenariat Ifremer et ville de Douarnenez. Éd. Ifremer, Atlas & Cartes, 10 cartes, échelle 1/25000 + livret d'accompagnement, 135 p.

- Augris C., Blanchard M., Berthou P., 1986. Etude d'un site d'exploitation de maërl au Nord des îles Glénan. Rapport interne Ifremer, 29 p.
- Belderson R.H., Wilson J.B., Holme N.A., 1988. Direct observation of longitudinal furrows in gravel and their transition with sand ribbons of strongly tidal seas. in P.L. de Boer et al. (Ed), Tide-influenced Sedimentary Environments and facies, 79-90.
- Blanchet A., Chevalier C., Gaffet J.D., Hamon D., 2004. Bionomie benthique subtidale en baie de Douarnenez. Rapport Ifremer DEL/EC/BB 04.01, 50 p + annexes.
- Braud F., Weber O., 1985. Répartition des formes et des faciès sédimentaires du plateau interne vendéen (Sud de l'île d'Yeu). Bull. Inst. Géol. Bass. Aquitaine, 38, 19-29.
- Désaunay Y., Guérault D., 2003. Evolution du peuplement halieutique de la baie de Vilaine au cours des décennies 1980 et 1990. Rapport Ifremer, Laboratoire d'Ecologie Halieutique, Nantes, 24 p.
- Ehrhold A., Hamon D., Guillaumont B., Populus J., and Blanchet A., 2006. The REBENT monitoring network, a spatially integrated acoustic approach to survey nearshore macrobenthic habitats: application to the Bay of Concarneau (South Brittany, France). GEOHAB abstracts, meeting May 3rd to 6<sup>th</sup> 2006, Edimburgh, Scotland.
- Ehrhold A., Hamon D., and Guillaumont B., 2006. The REBENT monitoring network, a spatially integrated, acoustic approach to surveying nearshore macrobenthic habitats: application to the Bay of Concarneau (South Brittany, France). ICES Journal of Marine Science, *sous presse*.
- Ehrhold A., 1999. Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal : exemple de la baie du Mont Saint-Michel. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Caen, 271 p.
- Flood R.D., 1983. Classification of sedimentary furrows and a model for furrow initiation and evolution. Geol. Soc. Am. Bull., 94, 630-639.
- Garnaud S., Lesueur P., Garlan T., 2005. Origin of rippled scour depressions associated with cohesive sediments in a shoreface setting (eastern Bay of Seine, France). Geo-Mar. Lett, 25, 34-42.
- Grall J., 2002. Biodiversité spécifique et fonctionnelle du maërl : réponses à la variabilité de l'environnement côtier. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bretagne Occidentale, 302 p.
- Le Bris H., Glémarec M., 1996. Marine and brackish ecosystems of South Brittany (Lorient and Vilaine Bays) with particular reference to the effect of the turbidity maxima. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 42, 737-753.
- Ménesguen A., 1980. La macrofaune benthiques de la Baie de Concarneau : peuplements, dynamique de populations, prédation exercée par les poissons. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bretagne Occidentale, 127 p.
- Ockelmann et Muus, 1978. The biology, ecology and behaviour of the bivalve *Mysella bidentata* (Montagu). Ophelia, 17, 1-93.
- O'Connor, B., Bowmer, T. & Grehan, A., 1983. Long-term assessment of the population dynamics of *Amphiura filiformis* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Galway Bay (west coast of Ireland). Marine Biology, 75, 279-286.
- Raffin C., 2003. Bases biologiques et écologiques de la conservation du milieu marin en Mer d'Iroise. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 424 p.
- Stride A.H., Belderson R.H., Kenyon N.H., 1972. Longitudinal furrows and depositional sand bodies of the English channel. Colloque sur la Manche, 14 et 15 janvier, Mémoire du BRGM, n°79, 233-240.
- Walker P., 2001. Dynamique sédimentaire dans le Golfe Normand-Breton, intérêt de l'imagerie par sonar à balayage latéral. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Caen, 287 p.

## Conclusion

Derrien-Courtel S., Derrien R., Pecard M. 2005. Suivi stationnel des roches subtidales. Lieux de surveillance du Benthos ; Région Bretagne, Rapport Rst/Ifremer/Dyneco/Vigies/06-21/Rebent, 10 p + annexes.

\* *Référence commune à plusieurs chapitres.*