

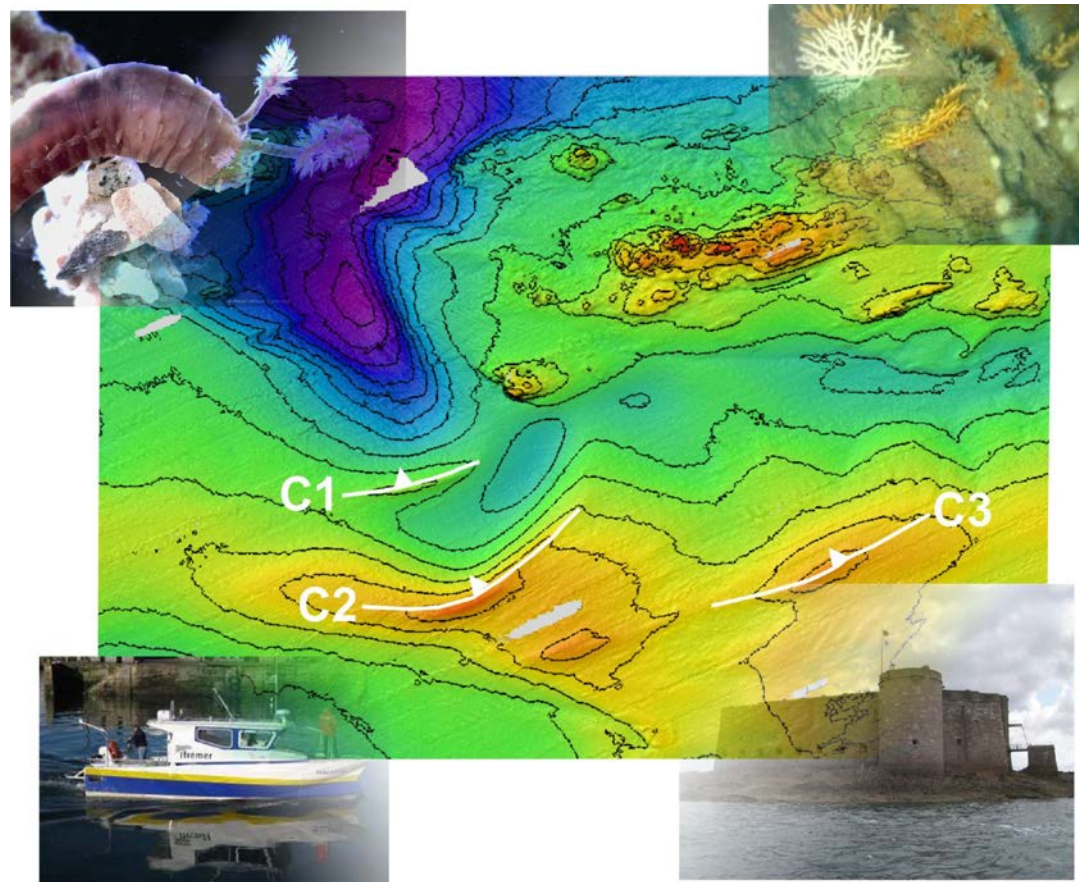


RST/IFREMER/ODE/DYNECO/EB/11-03/REBENT

Réseau de surveillance benthique

Région Bretagne

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



Coordination

Ifremer

Citation du document

Ehrhold A., Hamon D., Chevalier C., Autret E., Houlgatte E., Gaffet J.D., Caisey X., Cordier C., Dutertre M., Alix A.S., Monpert C., Navon M., Kerdoncuff J., Gentil F., Thiébaud E., 2011. Réseau de surveillance benthique (REBENT) – Région Bretagne. Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Morlaix. RST/IFREMER/ODE/DYNECO/Ecologie benthique/11-03/REBENT, 129 p + 14 annexes (Volume séparé, 276 p).

Numéro d'identification du rapport : ODE/DYNECO/EB/11-03/REBENT Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : Bajjouk Touria Version du document : Définitive		date de publication Décembre 2011 nombre de pages 129 p + 14 annexes (276 p) bibliographie (Oui) illustration(s) (Oui) langue du rapport Français	
Titre et sous-titre du rapport : Réseau de surveillance benthique – Région Bretagne Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Morlaix Titre traduit : Rebent network – Brittany pilot Subtidal sector habitat strategy : Identification and characterization of benthic habitats in Morlaix bay			
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom Ehrhold Axel Hamon Dominique Chevalier Claire		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DYNECO/EB IFREMER/DYNECO/EB B.E. HOCER, Brest	
Collaborateur(s) : nom, prénom Autret Elodie Caisey Xavier Cordier Céline Dutertre Mickaël Gaffet Jean-Dominique Monpert Coralie Houlgatte Eric Gentil Franck Kerdoncuff Julien Navon Maxime Thiébaud Eric		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/GM/LES IFREMER/DYNECO/EB IFREMER/DYNECO/EB IFREMER/DYNECO/EB IFREMER/DYNECO/EB IFREMER/DYNECO/EB B.E. Géologie, Brest Station Biologique Roscoff Station Biologique Roscoff Station Biologique Roscoff - IFREMER/DYNECO/EB Station Biologique Roscoff	
Travaux universitaires : diplôme : _____ discipline : _____ établissement de soutenance : _____ année de soutenance : _____			
Titre du contrat de recherche :		n° de contrat IFREMER	
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Responsable scientifique :			
Cadre de la recherche : Programme : Reconnaissance et caractérisation du plateau		Avec le soutien financier des fonds FEDER, de la région Bretagne, de la DREAL Bretagne et de l'Agence des Aires Marines Protégées. Projet : Cartographie des habitats	
Autres (préciser) : REBENT Bretagne		Campagnes océanographiques : (nom de campagne, année, nom du navire) REBENT 17 (2008), REBENT 18 (2009) et REBENT Vidéo 2010 (2 campagnes) - <u>N/O THALIA</u> (Ifremer) REBHALIO2 (2009) - <u>V/O HALIOTIS</u> (Ifremer) IFR-NEOMYSIS (2009), BIO-NEOMYSIS (2010) - <u>NEOMYSIS</u> (Navire Station Biologique Roscoff)	

Résumé :

Le REBENT (REseau BENThique), initié en 2000 à la suite de la catastrophe de l'Erika, a pour objectifs de suivre les habitats benthiques côtiers et de détecter les changements à différentes échelles de temps et d'espace. L'approche sectorielle, opérée 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.

Du fait de l'imbrication prononcée des fonds meubles et rocheux et de conditions hydrologiques contrastées, la baie de Morlaix offre une mosaïque d'habitats particulièrement riches et diversifiés, tant en ce qui concerne la flore que la faune.

Six unités majeures de peuplements ont été identifiées en substrats meubles, à partir des 36 stations biologiques échantillonnées. La cartographie détaillée de leur distribution a été rendue possible grâce aux travaux morphosédimentaires préalables s'appuyant sur la mise en œuvre d'outils acoustiques (sondeur multifaisceaux et sonar à balayage latéral) et de validations terrain sous la forme de prélèvements sédimentaires et d'observations vidéo.

Les nombreuses prospections vidéo sur fonds rocheux ont permis de rendre compte de la distribution verticale des peuplements et de la richesse floristique et faunistique avec des espèces remarquables comme les laminaires et les gorgones (*Echinaster sepositus*) qui confèrent à ces fonds un intérêt paysager de première importance.

Abstract :

In 2000, Ifremer launched and coordinated the development of a monitoring strategy for the REBENT network (REseau BENThique) in order to assess the aftermath of the "Erika" oil spill which took place in December 1999. Its aim is to provide consistent baseline knowledge on coastal benthic habitats, as well as to develop a monitoring tool that detects changes at various spatial and temporal scales. Sector-based seabed habitat mapping in shallow water (< 50 m deep), is currently being conducted throughout Brittany's coastal waters using a combination of geoaoustic marine systems together with ground-truthing using biological grab sampling and seabed observations.

Due to the overlap of soft and rocky bottoms, and contrasting hydrological conditions, the Bay of Morlaix is characterized by a mosaic of seabed habitats which host highly diversified fauna and flora.

Six major soft-bottom macrofaunal communities were identified from 36 sampling stations. Detailed mapping of their distribution was achieved by means of morphosedimentary analyses based on a combination of remote sensing geoaoustic systems (multibeam echosounder and sidescan sonar), grab samplings and video observations.

Numerous video recordings also revealed the vertical distribution and species richness of the rocky fauna and flora, especially kelps and sea fans (*Echinaster sepositus*) which give these seabeds a landscape interest of prime importance.

Mots-clés :

Rebent, baie de Morlaix, cartographie d'habitats, sonar latéral, macrofaune benthique, peuplements, dynamique sédimentaire, figures sédimentaires

Keywords :

Rebent, Morlaix bay, mapping, sidescan sonar, benthic macrofauna, communities, bedload transport, bedforms

Commentaire :

Contributeurs

Rédaction

Axel Ehrhold (1)
Dominique Hamon (1)
Claire Chevalier (5)

Relecture

Eric Thiébaud (4)
Franck Gentil (4)

Traitement des données acoustiques (SMF, sonar à balayage latéral, RoxAnn)

Axel Ehrhold (1)
Elodie Autret (3)
Coralie Monpert (1)

Analyse des échantillons sédimentaires (granulométrie, calcimétrie)

Elodie Autret (3)
Anne-Sophie Alix (5)
Jean-Dominique Gaffet (1)
Axel Ehrhold (1)

Tri biologique

Jean-Dominique Gaffet (1)
Julien Kerdoncuff (4)
Maxime Navon (4)

Analyses taxonomiques, macrophotographie

Claire Chevalier (5)

Traitement statistique des données biologiques

Mickaël Dutertre (1)
Claire Chevalier (5)

Analyse des films vidéo

Dominique Hamon (1)
Eric Houlgatte (6)

Maxime Navon (1)
Franck Gentil (4)

*Participation aux campagnes à la mer (*chef de mission)*

Michel Blanchard (1)
Aline Blanchet (1)
Xavier Caisey (1)
Céline Cordier (1)
Philippe Cugier (1)
Axel Ehrhold* (1)
Jean-Dominique Gaffet (1)

Dominique Hamon* (1)
Coralie Monpert (1)
Aurélie Sauron (1)
Benoît Segalen (1)
Daniel Gorman (2)
Franck Gentil (4)
Eric Thiébaud* (4)

Mise en forme définitive du rapport

Jacqueline Quentel (1)

Cartographie SIG

Axel Ehrhold (1)
Céline Cordier (1)

Responsables scientifiques

Axel Ehrhold (1)
Dominique Hamon (1)

Responsable du projet REBENT/Bretagne

Touria Bajjouk (2)

- (1) Ifremer Centre de Bretagne/Département DYNECO/Laboratoire Ecologie benthique
- (2) Ifremer Centre de Bretagne/Département DYNECO/Service Applications géomatiques
- (3) Ifremer Centre de Bretagne/Département GM/Laboratoire Environnement sédimentaire
- (4) Station Biologique de Roscoff/UMR 7144
- (5) Bureau d'Etudes HOCER, Brest
- (6) Bureau d'Etudes en Géologie, Brest

Les travaux de terrain n'auraient pu être menés à bien sans la contribution efficace des équipages et du personnel technique embarqué du N/O Thalia et de la vedette Haliotis de l'Ifremer-Genavir, ainsi que du navire Neomysis (CNRS-INSU) de la Station Biologique de Roscoff.

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 (aujourd'hui Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement) et coordonné par l'Ifremer, concerne prioritairement la zone de balancement des marées et les fonds 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 (aujourd'hui DREAL) 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 (aujourd'hui DREAL) 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 synthèses 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

Introduction	1
1. Caractères généraux de la zone d'étude	3
1.1. Géologie.....	4
1.2. Hydrologie	7
1.2.1. Courantologie	7
1.2.2. Zone d'influence des rivières.....	9
1.2.3. Caractéristiques physico-chimiques et production primaire	10
1.3. Peuplements benthiques.....	12
1.4. Activités anthropiques	14
1.5. Mesures de gestion et de conservation	15
2. Acquisition et analyse des données	16
2.1. Outils et techniques mis en œuvre	16
2.1.1. Moyens nautiques et modes de positionnement	16
2.1.1.1. Moyens nautiques	16
2.1.1.2. Systèmes de navigation et de positionnement	16
2.1.1.2.1. Le système de navigation Olex	16
2.1.1.2.2. Les systèmes de positionnement	17
2.1.2. Principes généraux de fonctionnement des systèmes acoustiques	18
2.1.2.1. Le sondeur multifaisceaux	18
2.1.2.2. Le sonar à balayage latéral.....	19
2.1.2.3. Le sonar interférométrique de la vedette Haliotis.....	21
2.1.2.4. Le sondeur vertical monofaisceau Simrad EK 60	23
2.1.2.5. Le système RoxAnn.....	24
2.1.3. Systèmes de prise de vues sous-marines	25
2.1.4. Engins de prélèvements sédimentaires et biologiques	26
2.1.4.1. Les bennes Shipek et Petite Ponar (prélèvements sédimentaires).....	26
2.1.4.2. La benne Hamon (prélèvements biologiques)	27
2.2. Stratégie d'acquisition des données	28
2.2.1. Les acquisitions acoustiques (sonars et EM1000).....	28
2.2.2. L'échantillonnage sédimentaire	30
2.2.3. L'échantillonnage biologique.....	30
2.2.4. Les prospections vidéo	32
2.3. Calendrier des travaux et bilan des données acquises	32
2.4. Analyses bathymétriques et morphosédimentaires.....	32
2.4.1. Analyse bathymétrique des données acoustiques.....	32
2.4.2. Analyse et interprétation des données sonar	33
2.4.2.1. Traitement de la navigation	33
2.4.2.2. Traitement des données sonar	34
2.4.2.3. Interprétation des mosaïques de réflectivité.....	36
2.4.3. Analyses des données RoxAnn	38
2.4.4. Analyses granulométriques	30
2.5. Analyses biologiques	42
2.5.1. Tri et analyse taxonomique des échantillons.....	42
2.5.2. Traitement des données.....	42
2.5.2.1. Analyses univariées	42

2.5.2.2. Analyses multivariées.....	44
2.6. Analyses des données vidéo	44
3. Résultats.....	46
3.1. Les principaux types de substrats	46
3.1.1. Le substratum rocheux.....	47
3.1.2. La couverture des formations superficielles meubles.....	49
3.1.2.1. Les dépôts grossiers détritiques et bioclastiques.....	49
3.1.2.2. Les dépôts sédimentaires meubles à dominante sableuse	51
3.1.2.3. Les dépôts phycogènes correspondant à l'accumulation de thalles vivants et morts de mélobésiés arbusculaires	54
3.1.2.4. Les sédiments envasés.....	56
3.2. La dynamique sédimentaire	57
3.2.1. Les figures sédimentaires transversales.	58
3.2.1.1. Les champs de mégarides.....	58
3.2.1.2. Les moyennes et grandes dunes hydrauliques	60
3.2.2. Les figures sédimentaires longitudinales	62
3.3. Les principales unités de peuplements de substrats meubles	63
3.3.1. Caractéristiques générales de la macrofaune	63
3.3.1.1. Structure taxonomique générale.....	63
3.3.1.2. Richesse spécifique et abondance par station.....	68
3.3.1.3. Indices de diversité et d'équitabilité.....	70
3.3.1.4. Structure trophique générale.....	71
3.3.2. Identification des ensembles faunistiques	73
3.3.3. Caractérisation biosédimentaire des unités de peuplements	76
3.3.3.1. Groupement de stations A	77
3.3.3.2. Groupement de stations B	81
3.3.3.3. Groupement de stations C	87
3.3.3.4. Groupement de stations D	91
3.3.3.5. Groupement de stations E.....	99
3.3.3.5.1. Sous-groupe E1	104
3.3.3.5.2. Station BH 3C.....	108
3.3.3.5.3. Sous-groupe E2.....	109
3.4. Les principaux peuplements de substrats durs.....	116
3.4.1. Traits généraux	116
3.4.1.1. Les formations algales de l'infra-littoral	116
3.4.1.2. Les fonds à épifaune sessile dominante.....	117
3.4.1.3. Autres faciès remarquables.....	118
3.4.2. Illustration de la distribution verticale des peuplements majeurs	118
3.4.3. Répartition spatiale dans la baie de quelques macro-espèces	119
Conclusion.....	121
Références bibliographiques.....	124

Annexes (Volume séparé, 276 p)

- 1 Fiche technique N/O Thalia
- 2 Fiche technique V/O Haliotis
- 3 Fiches des signatures acoustiques
- 4 Fiches granulométriques
- 5 Grille de classification sédimentaire
- 6 Les herbiers de zostères de la baie de Morlaix
- 7 Le maërl en baie de Morlaix (Secteurs Guerheon et Callot)
- 8 Liste des espèces inventoriées en substrats meubles (référentiel WoRMS) et code trophique associé
- 9 Matrice d'abondance des espèces/stations (3/8 m²) de substrats meubles
- 10 Cartes de distribution spatiale de quelques espèces d'invertébrés de substrats meubles
- 11 Illustrations de quelques macro-espèces végétales et animales inventoriées par vidéo sous-marine
- 12 Descriptif sommaire des profils vidéo, d'après captures d'images
- 13 Exemple d'analyse détaillée d'un profil vidéo (Neomysis – Profil 16)
- 14 Cartes de distribution spatiale de quelques macro-espèces végétales et animales inventoriées par vidéo sous-marine

Introduction

Par la diversité de ses habitats qui abritent une flore et une faune benthiques riches et diversifiées, par les intérêts qu'elle suscite sur le plan de l'exploitation des ressources marines (algues et crustacés notamment) ainsi qu'en matière de préservation du milieu, la baie de Morlaix est le terrain de nombreuses études scientifiques, renforcées par la proximité de la Station Biologique de Roscoff.

Le présent travail sur le secteur REBENT de la baie de Morlaix (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 depuis 2003.

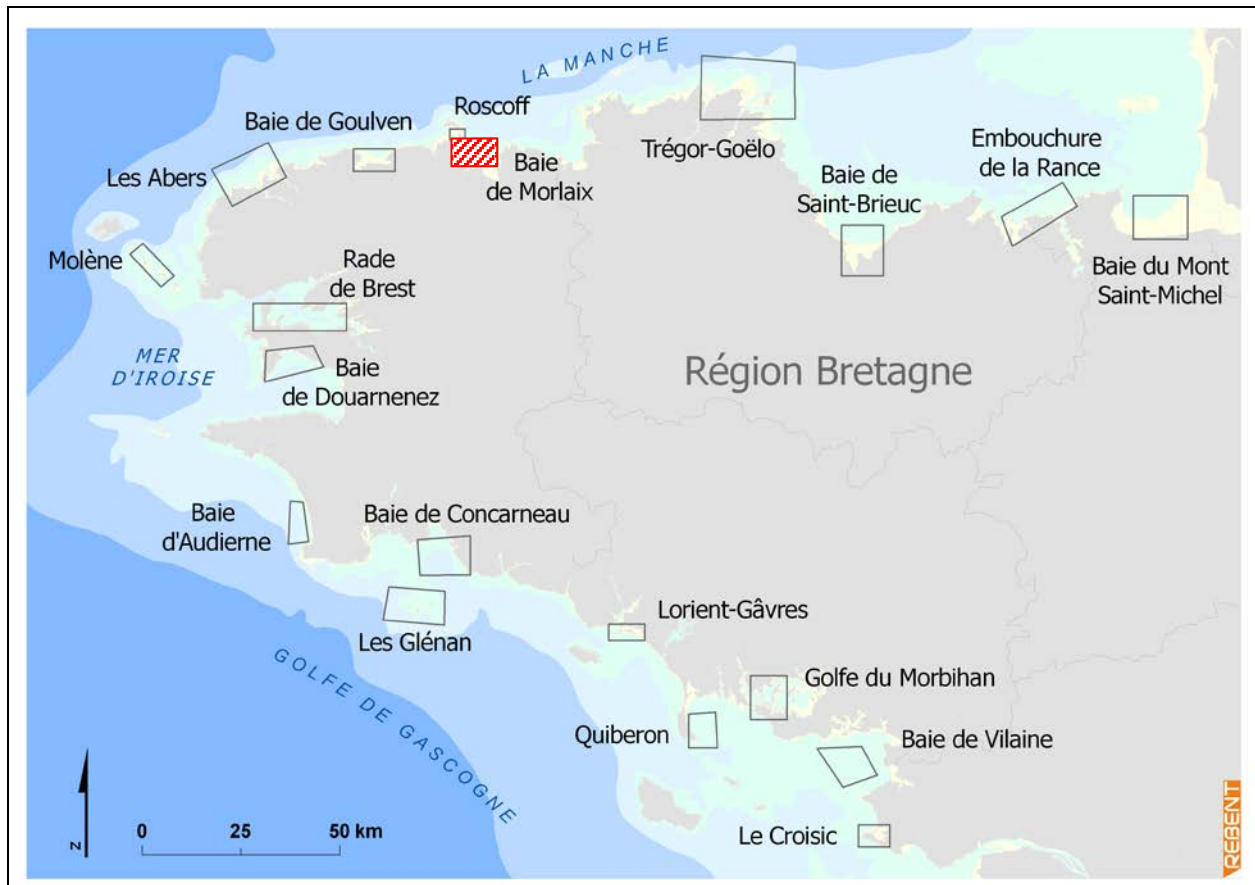


Figure 1 : Carte de répartition des secteurs de référence du REBENT/Bretagne

Le secteur étudié s'inscrit dans le périmètre du site Natura 2000 (fig. 2), prospecté par ailleurs dans le cadre du programme CARTHAM (CARTographie des Habitats Marins patrimoniaux), piloté par l'Agence des Aires Marines Protégées, en collaboration avec les DREAL et sous la responsabilité scientifique du MNHN et des CSRPN. Ce programme vise, au plan national, à établir l'inventaire biologique et l'analyse écologique des habitats marins patrimoniaux sur l'ensemble des sites Natura 2000 en mer.

En ce qui concerne la baie de Morlaix, les travaux Natura en cours, confiés aux Bureaux d'études TBM (Auray) et HOCER (Brest), portent majoritairement sur la zone complémentaire au secteur REBENT. *In fine*, les résultats des travaux REBENT et Natura conduiront à produire une cartographie des principaux habitats benthiques de la baie de Morlaix, considérée au sens le plus large.

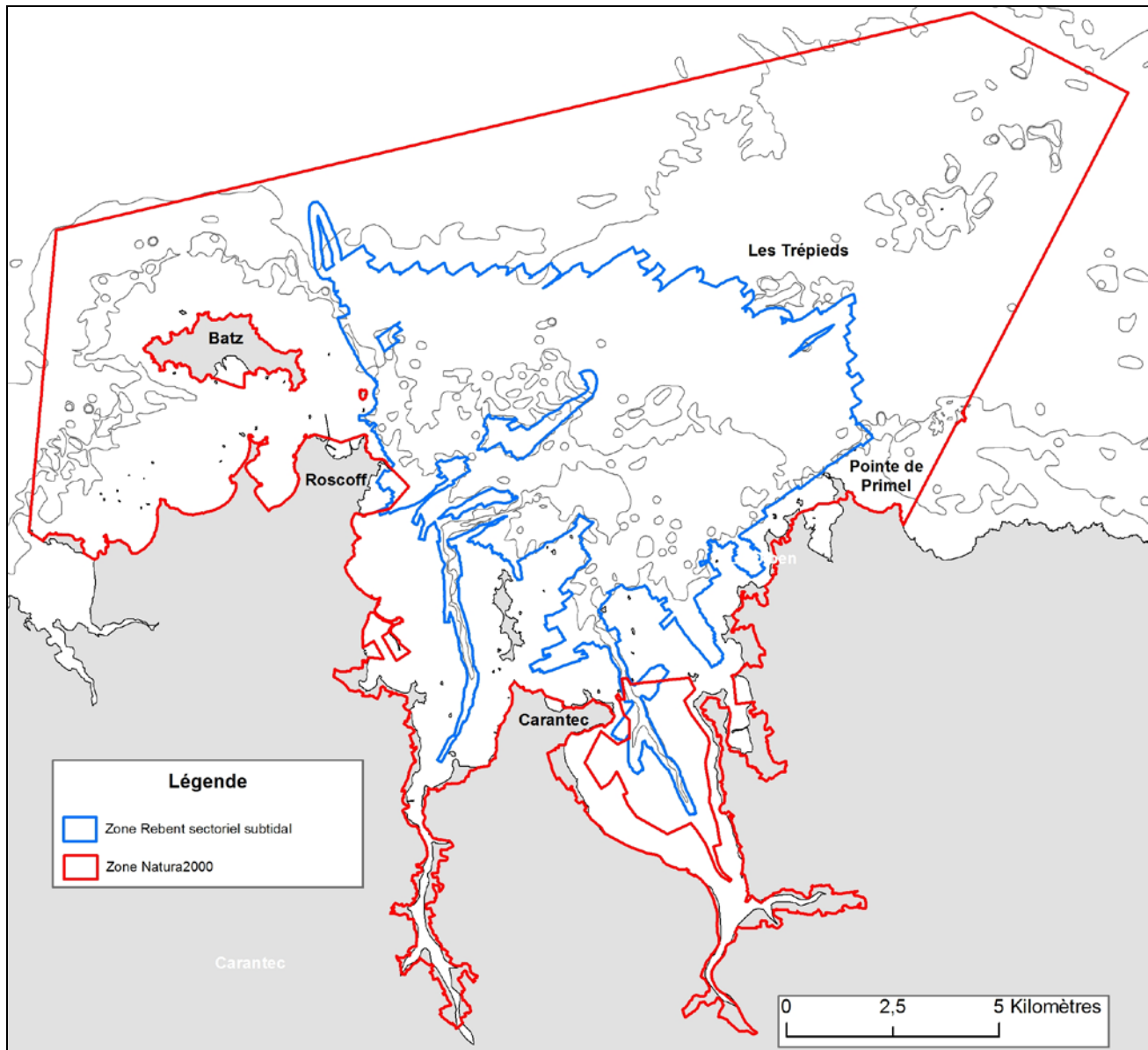


Figure 2 : Carte des emprises REBENT et Natura 2000 relatives à la baie de Morlaix et ses environs

Deux campagnes à la mer, à partir du N/O Thalia (REBENT 17 en avril 2008 et REBENT 18 en mai 2009), ont tout d'abord conduit à prospecter les fonds du large du secteur d'étude (fig. 2), aux moyens d'un sonar à balayage latéral et d'un sondeur multifaisceaux, puis à les caractériser du point de vue sédimentaire et biologique, par un échantillonnage stratifié à la benne et des observations vidéo.

En outre, en octobre 2009 une campagne mettant en œuvre la vedette Haliotis, dédiée à la cartographie acoustique des petits fonds, a permis de prolonger la cartographie acoustique vers la côte. Par la suite, en mars 2010, les petits fonds seront caractérisés du point de vue biologique dans le cadre d'un partenariat établi avec la Station Biologique de Roscoff qui mettra en œuvre son navire Neomysis.

Deux autres campagnes, l'une en mai 2010 à bord du N/O Thalia et l'autre en juin 2010 à bord de Neomysis, compléteront les reconnaissances vidéos, principalement en milieu rocheux.

Les résultats de l'ensemble de ces travaux effectués sur le secteur REBENT de Morlaix sont restitués dans ce rapport.

1. Caractères généraux de la zone d'étude

Située sur le littoral Nord du Finistère, la baie de Morlaix (fig. 3) constitue la première grande baie de la façade occidentale de la Manche. Elle se présente comme une large échancrure d'une dizaine de kilomètres de large sur autant de profondeur, divisée en son milieu par la presqu'île de Carantec prolongée par l'île Callot. La profondeur maximale à son extrémité nord, reliant l'île de Batz, à l'Ouest, au plateau des Trépiéds, à l'Est, est de l'ordre de 50 m, à partir de laquelle, un ressaut morphologique traduit le passage aux fonds plats de la Manche (Larsonneur, 1971). De nombreux hauts fonds rocheux, parfois relativement étendus comme ceux des plateaux des Duons, des Trépiéds ou du Rater, caractérisent la topographie sous-marine de cette région. Une multitude d'éperons rocheux et d'îles isolés (Callot, Stérec, aux Dames, Ricard, ...) donne un paysage sous-marin complexe qui va influencer la distribution et la richesse des habitats marins. Plusieurs grands corps sédimentaires sont reconnus dans cette baie : le banc sableux des Trépiéds et la grande dune du Rater.

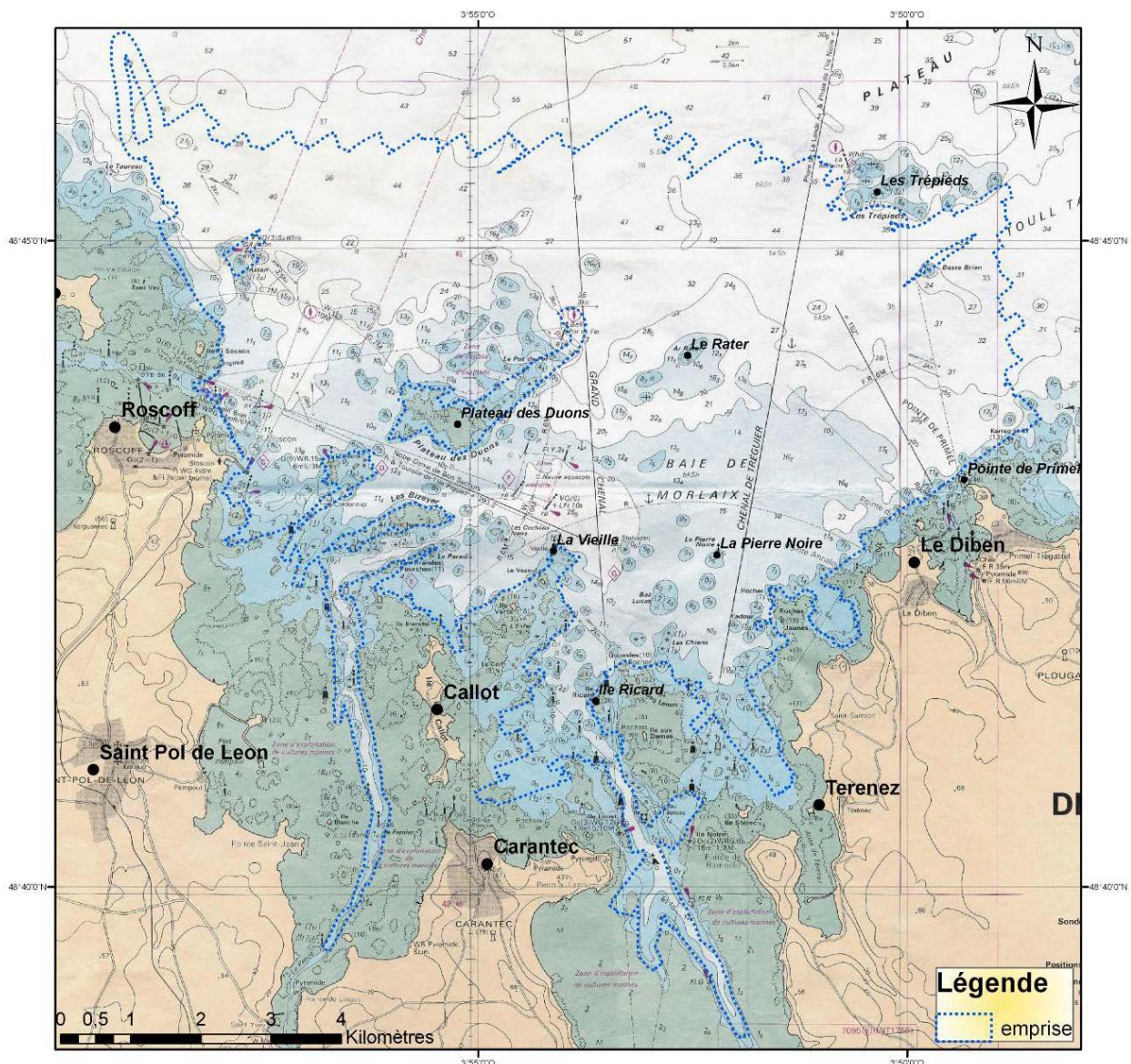


Figure 3 : Situations géographique et bathymétrique du secteur d'étude

Le fond de baie est traversé par deux rivières côtières dont les incisions demeurent encore vives dans la morphologie : à l'Ouest, la Penzé et à l'Est la rivière de Morlaix, qui débouche sur une large rade abritant d'importantes concessions conchylicoles. Elles ont fait l'objet de nombreuses études autant sur le plan sédimentologique (Bassoulet *et al.*, 1987), courantologique, biologique et géochimiques, mais cependant les zones estuariennes de la baie ne sont pas prises en compte dans le cadre du présent travail.

1.1. Géologie

Les contours de la baie de Morlaix dessinent une large échancrure dans le littoral nord-armoricain, correspondant à une importante limite structurale séparant les formations métamorphiques et granitiques à l'Ouest (pays du Léon), et les formations volcaniques et gabbroïques à l'Est (pays du Trégor) (Chauris, 1972 ; Chauris, 1997). Ces deux domaines géotectoniques se traduisent également dans l'origine des sables lourds qui composent les plages de la baie (Chauris, 1984). Les terrains paléozoïques, localisés dans la zone de contact entre les deux régions, présentent des faciès inhabituels ; les directions structurales sont aberrantes dans toute la baie et ses abords. L'évolution géologique de la baie de Morlaix a été complexe ; elle résulte du rebroussement des structures dites "léonardes" au contact du môle ancien constitué par le Petit-Trégor. Ce rebroussement a été aggravé par les fractures sub-méridiennes et les effondrements qui l'ont accompagné et suivi ; il a été également souligné par les injections de granites hercyniens (granite de Morlaix 300 Ma) dans les décollements et les fractures qui sont liés et qui ont en quelque sorte soudé les morceaux du puzzle formant la limite Léon-Trégor (Chauris, 1997). L'instabilité de la zone de rebroussement est attestée par les innombrables failles sub-méridiennes qui ont affecté ultérieurement le granite de Primel-Carantec. Deux directions tectoniques majeures ont favorisé la mise en place des formations granitiques rouges ; N70 ou direction du Léon et N15 ou direction de la Penzé (Chauris, 1978).

Les différentes roches qui composent le socle cristallin de la baie constituent une riche palette pétrographique (fig. 4). On y distingue des schistes, micaschistes, quartzites, amphibolites, gabbros et de nombreux granites (Chauris, 1997).

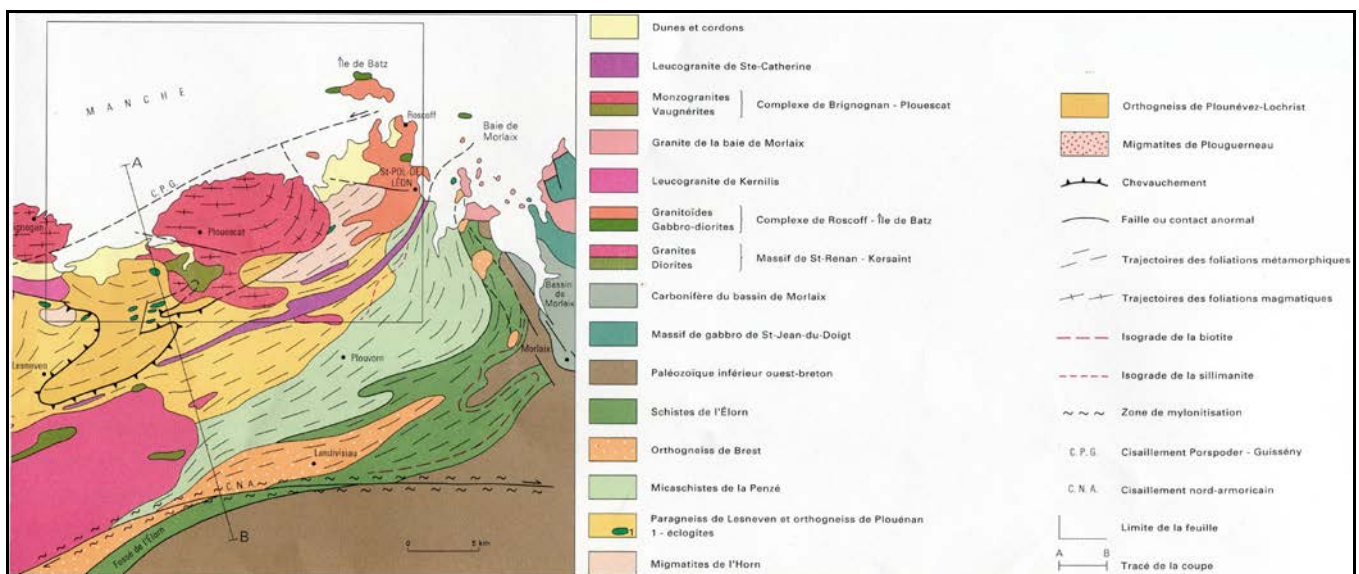


Figure 4 : Extrait de la carte géologique de Saint Pol de Léon (Chauris *et al.*, 1998)

Le modèle numérique de terrain (MNT) haute résolution (50 cm), devant le Bloscon (fig. 5), illustre la structuration du granite porphyroïde de Roscoff. Le MNT global à 2,5 m montre au large une limite entre la ceinture sub-côtère accidentée, correspondant au socle cristallin, et les fonds plats arasés du plateau calcaire (fig. 6). Intersectée par nos levés à l'extrémité NW de la zone, elle se situe entre 60 à 70 m de profondeur dans la zone étudiée (Muraour *et al.*, 1962), soit à une dizaine de kilomètres de la côte. Cette marche topographique a été relevée vers - 48 m, plus à l'Est, dans le nord Trégorois (Ehrhold *et al.*, 2007).

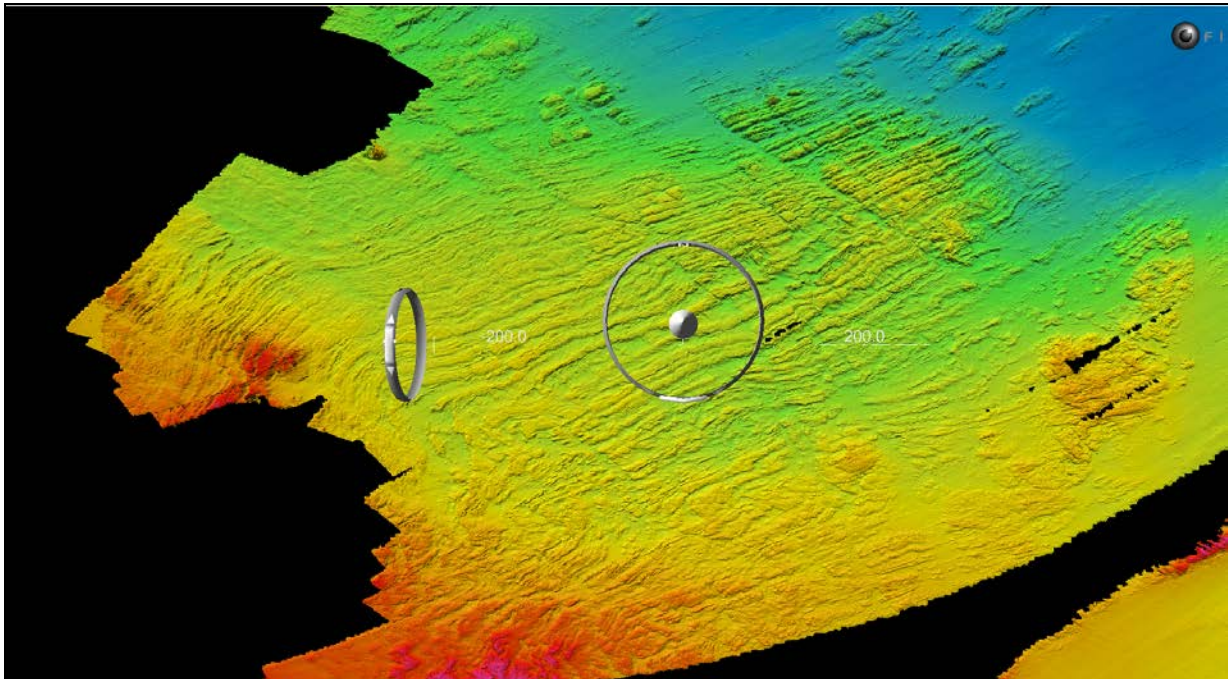


Figure 5 : Morphologie au toit de la formation granitique de Roscoff devant le port en eau profonde de Blosson

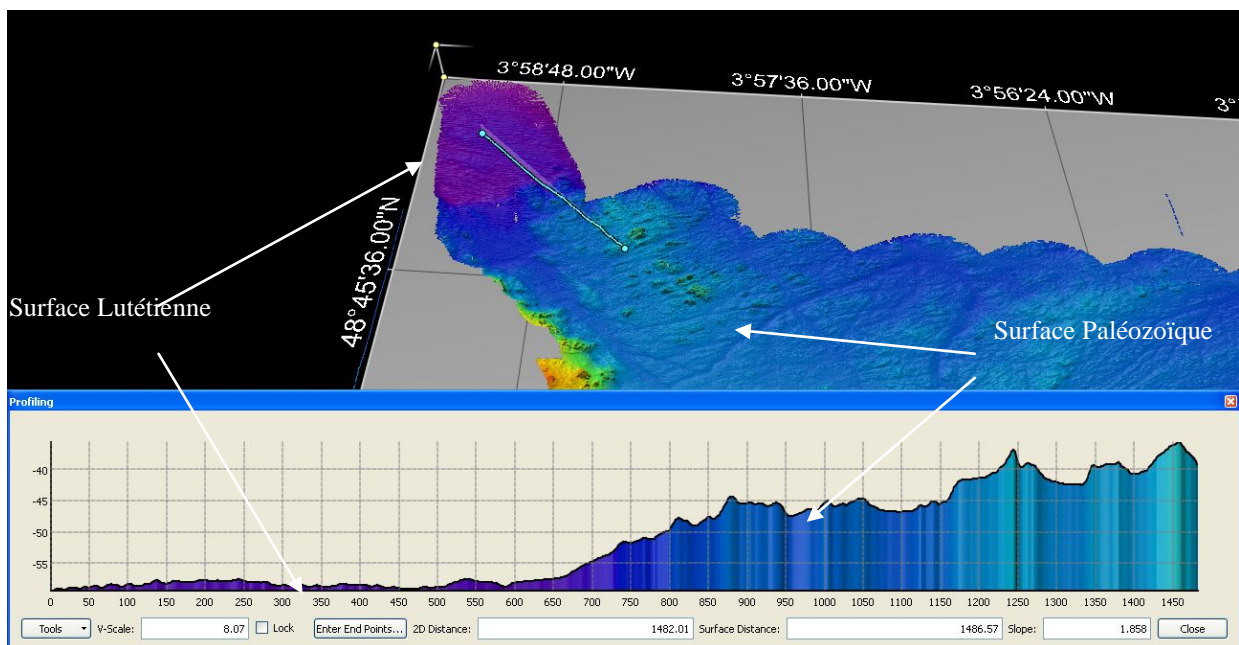


Figure 6 : Coupe illustrant le contact entre la ceinture sub-côtière (Eocène) et le socle armoricain, au nord de la zone étudiée

Cette ceinture sub-côtière est le prolongement sous la mer du socle armoricain dont les caractères pétrographiques et structuraux conduisent à une morphologie complexe. A l'inverse, les fonds plats du large sont décrits comme ayant un relief monotone, correspondant à la surface structurale lutétienne, composé d'une alternance de barres (grès et calcaire éocènes) jalonnées parfois de dépressions comme au nord-ouest de Batz, représentant d'anciennes dolines maintenant immergées. Cette frontière correspond donc au contact de l'Eocène et du socle ancien cristallin de la Bretagne (Boillot et Le Calvez, 1961).

Dans les années 60, les formations superficielles de la baie externe ont été étudiées dans le cadre des travaux de Boillot (1961), de Cabioch (1968), et plus récemment de Beslier (1981), dans le cadre de sa thèse, suite au naufrage de l'Amoco Cadiz. Des éléments relatifs à la distribution de la fraction biogène

dans la baie sont issus de l'étude de Wehrmann (1998) concernant la production carbonatée des plateformes tempérées. Plus à la côte, de nombreuses études sur la sédimentologie des estrans de la baie ont été résumées dans les notices des cartes géologiques de Saint Pol de Léon et de Plestin (Chantraine *et al.*, 1986 ; Chauris *et al.*, 1998). Le littoral est ainsi occupé par une succession d'anses et de criques qui ont été déblayées par l'érosion marine, à la faveur de failles et de fractures du socle, au fond desquelles des dépôts sableux se sont accumulés. Dans le cadre des travaux relatifs au REBENT sectoriel intertidal, une étude spécifique sur l'anse de Térénez a été conduite entre 2008 et 2009 (Loarer et Rollet, 2011). Par ailleurs, dans le cadre du REBENT/DCE une étude spécifique sur le maërl (Hamon *et al.*, 2010) a concerné les sites de Guerheon et de Callot en baie de Morlaix.

Les sédiments et les substrats durs qui composent les fonds de la baie constituent une mosaïque complexe de dépôts interrompus d'innombrables affleurements de roche. Les sédiments sont constitués pour partie d'un stock lithoclastique (détritique) et, ce qui en fait la caractéristique de cette baie, d'un important stock de matériel bioclastique (zoogène et phycogène) :

- Le premier est hérité de l'histoire anté-flandrienne marquée par l'exondation de la Manche durant les phases glaciaires. Les apports terrigènes actuels sont faibles, se résumant à des particules fines (suspensions) transportées par les rivières locales (Penzé, rivière de Morlaix, Dourduff, Douron), et des produits de l'érosion du littoral par les vagues (démentiellement des arènes, *head* et limons).
- Le second est particulièrement abondant, son origine est à la fois animale et végétale. Les algues calcaires arbusculaires appartenant à la famille des Corallinacées constituent par leur accumulation les fonds de maërl (*Phymatolithon calcareum* et *Lithothamnium corallioides*) entre 2 et 17 m de profondeur. Ces dépôts sont largement répartis en baie de Morlaix où, du Sud au Nord, ils constituent les gisements du Taureau, de Térénez, de Ricard, de Guerheon, de Pighet et de Primel. Le matériel zoogène est très diversifié, en lien avec la variété importante des peuplements benthiques sur cette frange côtière. Il est principalement constitué de débris de mollusques (bivalves majoritairement), d'échinides, de bryozoaires, de pièces de balanes, de tests de foraminifères. Ce matériel est d'âge flandrien, il vient progressivement contaminer les dépôts résiduels lithoclastiques anté-flandriens. Il s'accumule sur place ou se trouve dispersé par les courants de marée et de houle, selon sa granulométrie et la turbulence du milieu. Dans l'ensemble, les fonds rocheux et caillouteux constituent des zones productrices, tandis que les bancs sableux représentent des aires d'accumulation (dunes hydrauliques du Rater ou des Trépieds, par exemple).

De manière schématique, les fonds durs de la zone du large balayés par de puissants courants sont le siège de dépôts grossiers hétéroclastiques, en lien avec la proximité des affleurements du socle rocheux, très favorables à la production organogène issue de l'épifaune. Ils sont composés de mélanges de fractions granulométriques variables en proportion de galets, cailloutis et graviers, ces derniers essentiellement de nature bioclastique. Plus à la côte, de vastes étendues de sables graveleux riches en bioclastes (sédiments zoogènes graveleux de types SB1b et SB2b, selon la classification des sédiments de la Manche) constituent des zones d'accumulation bien ventilées (dunes hydrauliques du Rater et banc du Trépieds) avec un matériel bioclastique plus fin et mieux calibré (teneur en calcaire très élevée, de 80 à 90 %). Parallèlement à l'amortissement des courants vers le fond de baie, les sédiments s'affinent vers le sud, permettant le dépôt de sable fin homogène finement carbonaté, très localement, ou de manière plus étendue comme sur le banc de la Pierre Noire dans la moitié occidentale de la baie. Enfin, le prisme littoral siliceux est très peu étendu en baie de Morlaix et s'arrête vers - 5m, remplacé par les sédiments vaseux dans les estuaires. L'érosion par la mer des grèves exposées (limons, arènes granitiques) vient alimenter localement le stock des plages qui conservent leurs propriétés (pauvreté en calcaire et prédominance des apports terrigènes).

1.2. Hydrologie

1.2.1. Courantologie

Auffret et Douvillé (1974) ont réalisé une série de mesures de courant dans la moitié occidentale de la baie, centrée sur le banc de la Pierre Noire, pour des coefficients variant de 31 à 114. Les stations situées au nord du Rater, entre Primel et les Duons, montrent un caractère alternatif dominant avec une orientation des courants maximums déviant progressivement vers le NW, d'Est en Ouest. Au sud de cette ligne, sur le banc de la Pierre Noire, ils sont à caractère giratoire et influencés par la vidange des estuaires de la Penzé et de Morlaix. Les courants dépassent la vitesse de 2 nœuds en VE à mi-flot dans toute la partie ouest de la baie, s'accéléralant dans les zones chenalisées au débouché de la Penzé. Des simulations de courants intégrés sur la colonne d'eau, permettant une description fine des champs de courants, ont été réalisées dans la baie par le SHOM (fig. 7) et, pour des coefficients 52 et 86, par Salomon et Breton (1987) avec un maillage de 250 m.

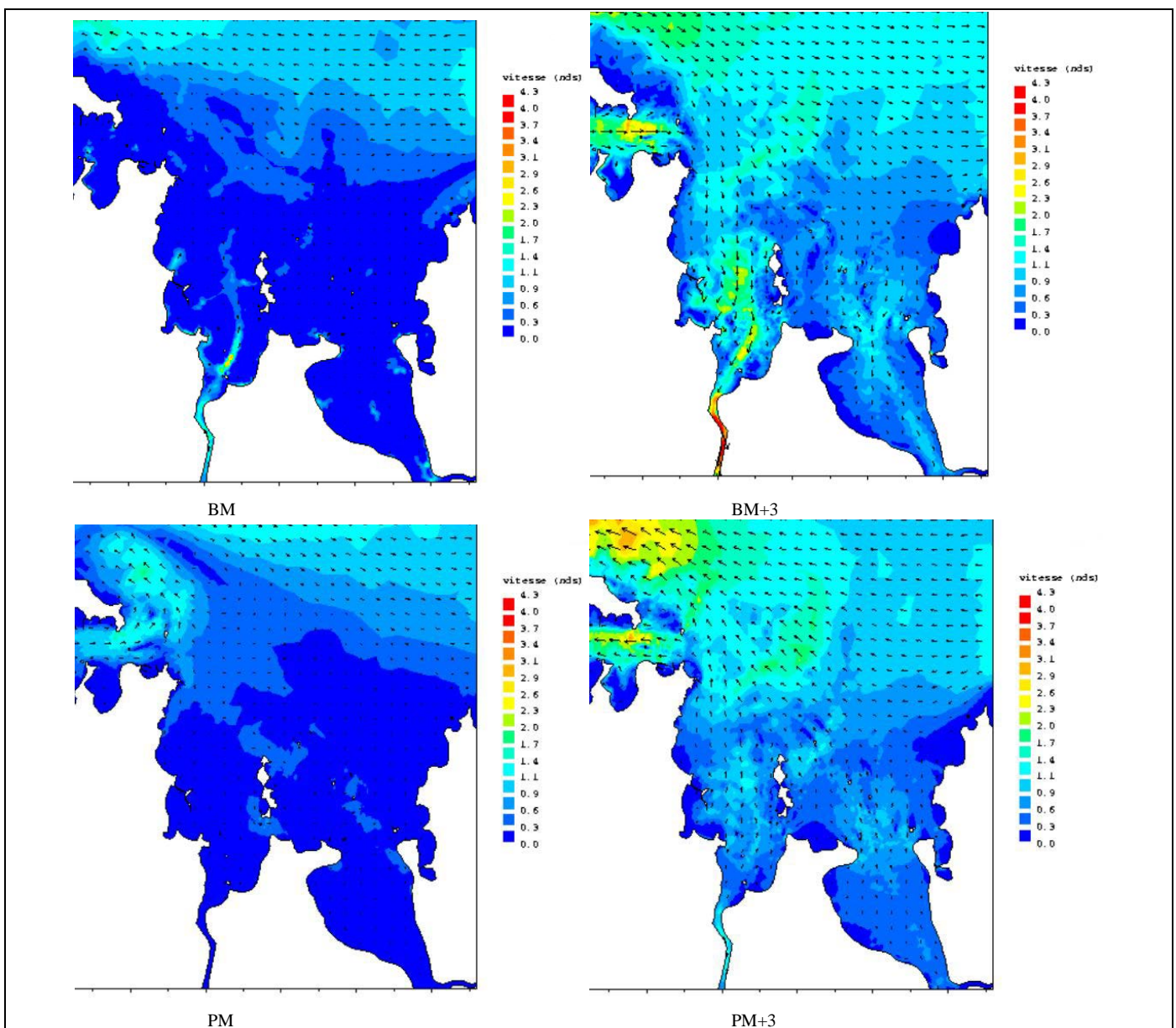


Figure 7 : Simulation du champ de courants pour une VE (SHOM)

Ces derniers soulignent que la baie est caractérisée par un courant de vidange ayant un caractère d'onde stationnaire, tandis qu'au large la marée a un caractère progressif avec une renverse des courants en retard sur les étales de niveau. La présence de nombreux hauts fonds tend à guider les courants en les divisant en chenaux, séparation particulièrement apparente en fin de jusant ou début de flot. A leur proximité, les courants sont plus irréguliers et giratoires.

Les mouvements résiduels (fig. 8), calculés sur la base des déplacements lagrangien, montrent une tendance dirigée vers l'Ouest, au nord de la zone, qui entraîne les eaux issues de l'Est vers le nord de l'île de Batz (Salomon et Breton, 1987) et vers le SW dans la moitié Est. Il existe une structure giratoire anticyclonique autour du plateau de la Méloine. Au sud d'une radiale entre Roscoff et Plougasnou, les courants résiduels sont très faibles et tournent autour des multiples îles. Il y a une bonne convergence avec les vecteurs résiduels calculés par Auffret et Douvillé (1974), sauf pour la zone au nord du Rater, pour laquelle le modèle ne représente pas bien les directions relevées par les courantomètres et traduites par les figures sédimentaire (cf. chapitre 3.2). Les vitesses résiduelles relevées sont donc relativement faibles et supposent de prendre en considération d'autres facteurs météorologiques, comme le vent, dans la circulation de la masse d'eau.

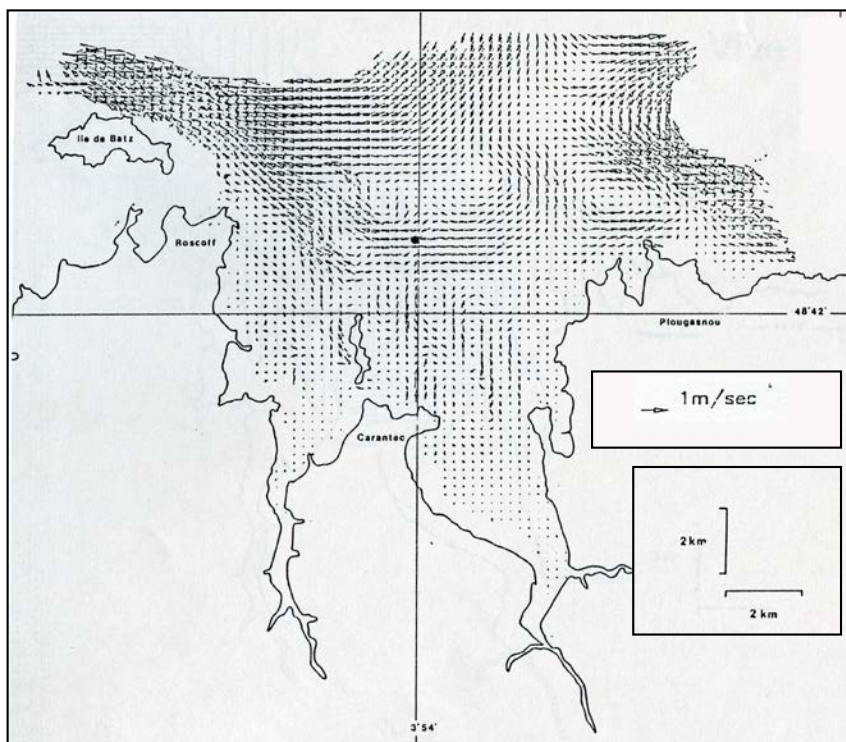


Figure 8 : Champs résiduel de Lagrange en coordonnées barycentriques (VE)
(Salomon et Breton, 1987)

Les vents de secteur W-NW et E-NE sont largement dominants dans la région de Roscoff (Dauvin, 1984), avec généralement les plus forts coups de vent en novembre-décembre et avril-mai.

Salomon et Breton montrent que, dans certaines circonstances (vent > 15 m/s), les effets du vent et de la houle sont du même ordre, voire supérieurs à l'effet résiduel de la marée. Ce résultat de modèle est conforté par les plans de vagues dressés par Auffret et Douvillé (1974) qui suggèrent pour des fortes houles de W-NW et E-NE, une agitation supérieure à 1 m/s sur le fond au droit de Primel et de l'île Callot. La houle agit sur les sédiments sublittoraux par son action alternative de courte période et de faible amplitude. Elle provoque la mise en suspension temporaire et le déplacement par saltation, et occasionnellement par charriage, de particules sédimentaires, lesquelles, sans cette augmentation des forces de tension, resteraient immobiles. La combinaison des deux peut favoriser les phénomènes de transport (Leclerc *et al.*, 1976). Dauvin (1984) observe au pied de la roche de la Pierre Noire, une importante érosion des sables fins suite à des forts coups de vent d'W-NW (> 30 m/s), et la mise en place d'un sable grossier à ripple-marks.

1.2.2. Zone d'influence des rivières

Dussauze et Ménesguen (2008), dans le cadre de leurs travaux sur la simulation de l'effet sur l'eutrophisation côtière bretonne de scénarios de réduction des teneurs en nitrate et phosphate des bassins versants, déterminent par modélisation (modèle mathématique ECO-MARS 3D) la zone d'influence de chacune des trois rivières (Penzé, Dourduff et Jarlot) qui se jettent dans la baie de Morlaix.

Influence de la Penzé

L'influence marine de la Penzé ne dépasse que rarement l'île de Batz (percentile 90). Elle reste localisée principalement près de l'embouchure de la rivière où les apports de la Penzé sont assez fortement dilués (apports dilués entre 200 et 1000 fois) (fig. 9). Aussi bien en période normale qu'en période de crue, seule une zone restreinte près de l'embouchure de la Penzé est enrichie de manière importante.

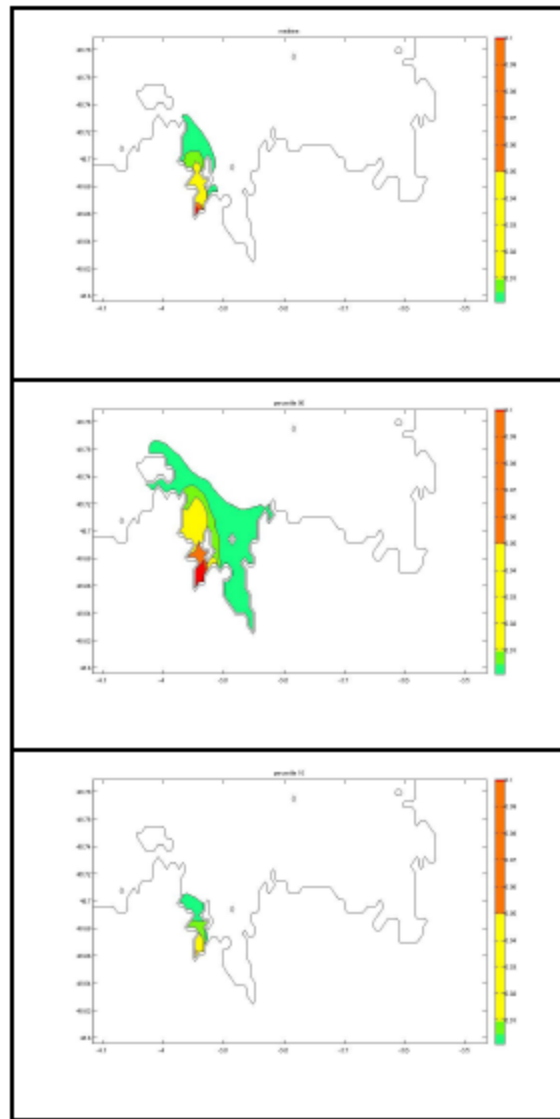


Figure 9 : Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Penzé

Influence du Dourduff

L'influence marine du Dourduff reste principalement localisée dans son estuaire et ne s'étend que très rarement au-delà de la baie de Morlaix (percentile 90) (fig. 10). Les apports sont assez vite dilués et l'enrichissement de la baie de Morlaix est relativement faible (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

Influence du Jarlot

La zone d'influence marine du Jarlot est plus ou moins la même que celle du Dourduff (fig. 10). Néanmoins elle s'étend plus loin (le débit du Jarlot est en moyenne 4 fois plus important que celui du Dourduff). Le Jarlot enrichit plus la baie de Morlaix que le Dourduff (apports dilués entre 200 et 1000 fois en baie de Morlaix pour le Dourduff ; apports dilués entre 20 et 100 fois pour le Jarlot).

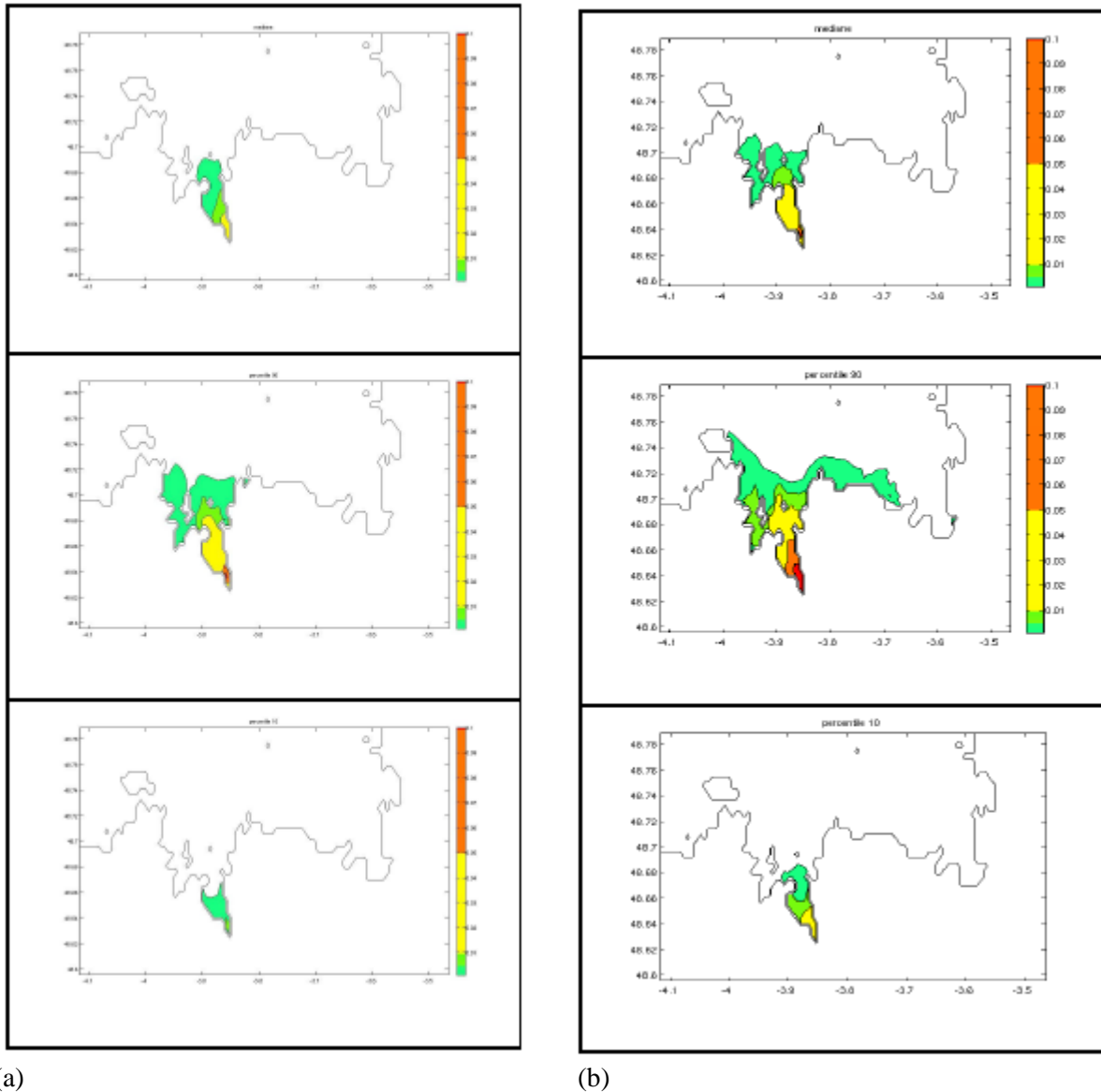


Figure 10 : Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Dourduff (a) et du Jarlot (b)

1.2.3. Caractéristiques physico-chimiques et production primaire

Les forts courants de marée, conjugués à l'action du vent, favorisent un brassage de la colonne d'eau qui empêche l'établissement d'une stratification verticale des eaux en période estivale. Martin-Jezequel (1983) souligne qu'à la fin de la période estivale, caractérisée par les maximums thermiques (16 °C) et halin (35.2 ‰), s'établit une phase de refroidissement, marquée par de fréquentes pluies entraînant une période de dilution de l'eau de mer du début de l'année jusqu'au mois de mai. Améziane *et al.* (1995) mentionnent une salinité dans la baie qui varie d'un minimum de 34.5 psu en hiver à un maximum de 35.3 psu à la fin de l'été, à l'exception du débouché des rivières où le minimum hivernal peut-être

inférieur à 25 psu. Hydrologiquement la baie peut être subdivisée en deux ensembles principaux : une zone estuarienne (rade de Morlaix et estuaire de la Penzé) avec des apports d'eau douce et de fortes concentrations de matières en suspension et la zone externe, ouverte sur le large avec de faibles teneurs de matières en suspension.

Wafar (1981) évalue les apports pour la seule rivière de Morlaix à 360 tonnes d'azote sous forme de nitrates, 41 tonnes sous forme d'ammoniaque, 2 tonnes de phosphates et 207 tonnes de silicates.

L'analyse des données du réseau ECOFLUX (<http://www-iuem.univ-brest.fr/ecoflux>) opérée sur la période 1999-2007 par l'Agrocampus de Rennes (<http://viviane.roazhon.inra.fr/geowww/cseb.html>) fait ressortir les résultats suivants concernant les apports en azote à la mer par les principaux bassins versants encadrant la baie de Morlaix :

Bassin versant du Dourduff

En moyenne, le flux d'azote à la mer est aux alentours de 250 tonnes de N par an. Sur la période concernée, ce bassin moyennement dégradé montre une amélioration de la qualité en nitrate.

Bassin versant du Jarlot

En moyenne, le flux d'azote à la mer est aux alentours de 330 tonnes de N par an. Il s'agit d'un bassin moyennement dégradé dont les critères d'évolution sont stables depuis 2002.

Bassin versant du Queffleuth

En moyenne, le flux d'azote à la mer est aux alentours de 280 tonnes de N par an. Ce bassin peu dégradé montre une stabilisation sur la période d'étude concernée.

Bassin versant de la Penzé

En moyenne, le flux d'azote à la mer est aux alentours de 1121 tonnes de N par an. Cette valeur moyenne est très élevée mais cependant des signes d'amélioration sont notés.

Dans son étude sur la distribution saisonnière et la production phytoplanctonique, en relation avec les paramètres physico-chimiques, Martin-Jezequel (1983) indique qu'il est peu probable que l'azote et les silicates soient limitants pour la production primaire, alors que le phosphore peut l'être potentiellement au moment des floraisons phytoplanctoniques. Wafar *et al.* (1983) soulignent le cycle particulier de la production primaire dans la baie car, du fait de l'agitation permanente de la colonne d'eau, le développement phytoplanctonique tarde à démarrer au printemps et le cycle se résume à un long pic de production avec un maximum estival.

Parmi les autres données disponibles sur le site de l'Agrocampus, il est important de souligner la situation préoccupante pour les pesticides (notamment pour le glyphosphate et son métabolite l'AMPA), en particulier pour les bassins versants du Dourduff, du Jarlot et du Queffleuth, alors que le niveau de contamination du bassin de la Penzé peut être qualifié de modérée pour la période considérée (1999-2009).

A noter que le bilan provisoire sur les résultats acquis dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE (<http://envlit.ifremer.fr/region/bretagne>) atteste, à partir des résultats disponibles au 31/12/2010, d'un bon état chimique et d'un état écologique moyen pour la masse d'eau côtière FRGC1-Baie de Morlaix.

1.3. Peuplements benthiques

Du fait de l'existence de la Station Biologique de Roscoff, créée en 1872, la baie de Morlaix n'a plus vraiment de secret en ce qui concerne les inventaires de la faune et de la flore benthiques, particulièrement riches dans cette portion du littoral breton. En revanche, les études d'écologie benthique dans le domaine subtidal n'ont pas été si nombreuses. Elles reposent principalement sur les travaux de Cabioch L. (1961, 1968), relatifs aux peuplements de macrofaune, ceux de Cabioch J. (1969) sur la macroflore, en particulier les Corallinacées, ou encore ceux de Cabioch *et al.* (1978, 1980, 1982), Dauvin (1982, 1984, 1987, 1998, 2000), Dauvin et Ibanez (1986), Dauvin et Gentil (1989), Ibanez *et al.* (1993), Poggiale et Dauvin (2001), Gomez Gesteira *et al.* (2003) consacrés aux effets des perturbations générées sur les peuplements de sables fins de la baie, suite au naufrage de l'Amoco Cadiz en 1978.

La baie de Morlaix sert aujourd'hui de terrain d'étude à divers travaux en biologie expérimentale et en océanologie, menés par les différentes unités de recherches de la station (<http://www.sb-roscoff.fr>). En outre, des suivis temporels de la biodiversité des sables fins, du maërl et des fonds rocheux subtidaux sont opérés respectivement par la Station Biologique de Roscoff, l'IUEM de Brest et le MNHN de Concarneau, notamment dans le contexte des réseaux de surveillance REBENT/Bretagne et DCE.

Peuplements benthiques de substrats meubles

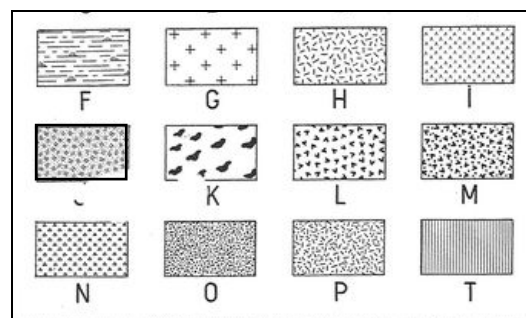
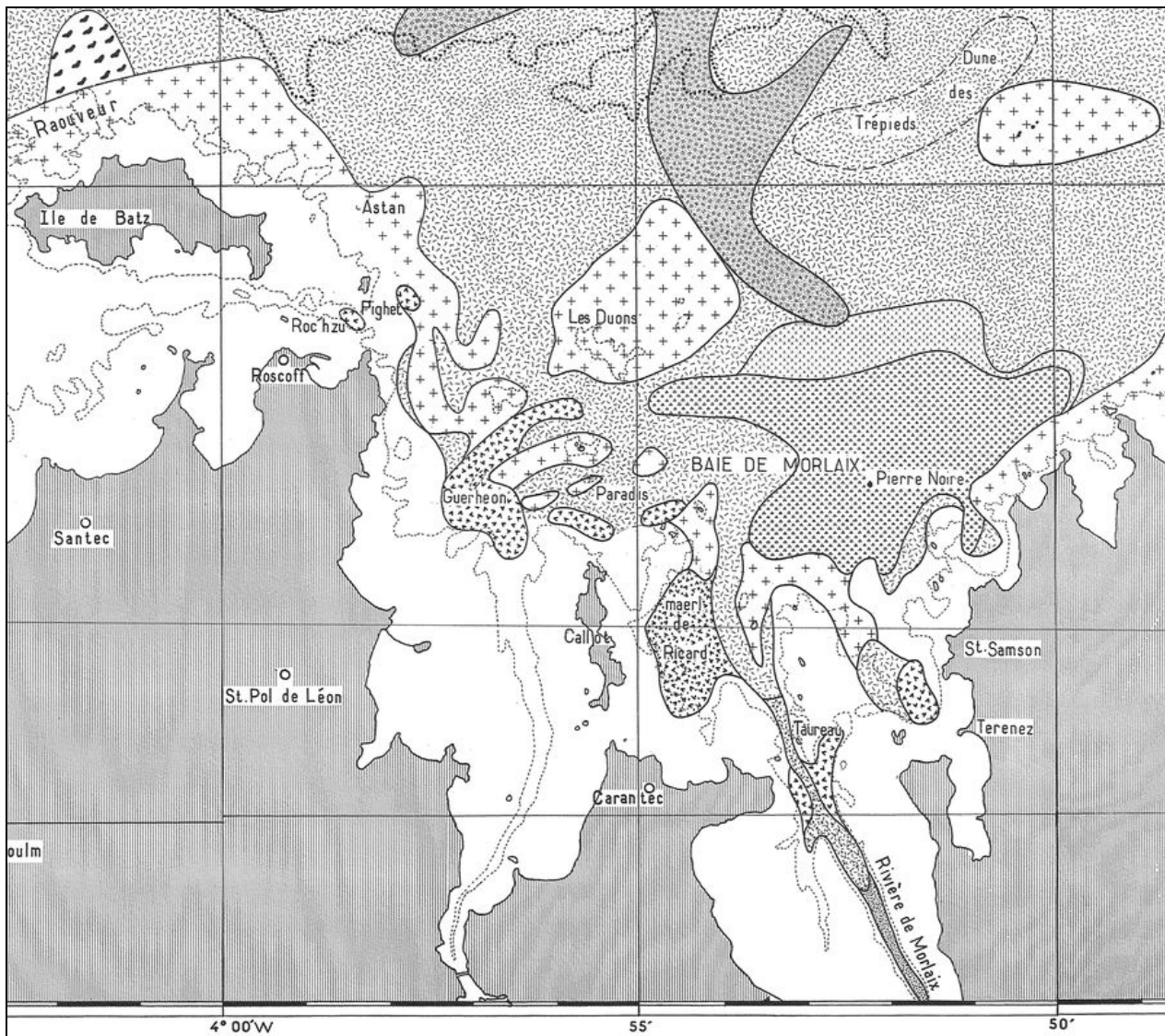
Dans le cadre de ses travaux relatifs à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale, Cabioch (1968) décrit, à partir de prélèvements réalisés à la drague Rallier du Baty, à la benne Petersen et d'observations sous-marines par photographie, les principaux peuplements de substrats meubles distribués dans la baie de Morlaix (fig.11). Les zones les plus profondes sont dominées par la biocénose des sédiments grossiers à *Venus fasciata* qui appartient pour l'essentiel au domaine circalittoral côtier, bien qu'étant relativement indépendant de l'étagement.

Dans le domaine infralittoral, le grand banc de sables fins qui entoure la Pierre Noire se réfère au peuplement des sables fins à *Abra alba* et *Corbula gibba*, principalement représenté par son faciès à *Hyalinoecia bilineata*. L'auteur note que les sables fins de la Pierre Noire sont, parmi les sables fins de la baie, ceux dont la faune est la plus diversifiée. Ils feront par la suite l'objet d'un suivi temporel de leur biodiversité, suite à la pollution par hydrocarbures provoquée par le naufrage de l'Amoco Cadiz (Dauvin, 1984, 1987, 1998, 2000 ; Dauvin et Ibanez, 1986 ; Dauvin et Gentil, 1989 ; Ibanez *et al.*, 1993 ; Poggiale et Dauvin, 2001 ; Gomez Gesteira *et al.*, 2003) et ce suivi se poursuit aujourd'hui dans le cadre du REBENT, de la DCE et des activités de l'observatoire de la Station Biologique de Roscoff

Dans les fonds inférieurs à 17 m de profondeur, et plus généralement sous quelques mètres d'eau, le maërl forme des accumulations denses, notamment les bancs de Ricard et de Guerheon.

Peuplements benthiques de substrats durs

En baie de Morlaix, les champs de laminaires colonisent les fonds rocheux dans la zone bathymétrique de 0 à 15-25 mètres. Les peuplements de laminaires, dont la sous-strate présente un riche peuplement sciaphile animal et végétal, laissent place en profondeur à une pelouse d'algues de petites dimensions et d'espèces d'épifaune sessile, localement en forte abondance (gorgones, alcyons, spongiaires...). Cabioch (1968) indique qu'en baie de Morlaix les peuplements des fonds de 25 à 30 mètres assurent la transition entre l'étage infralittoral (caractérisé par les macroalgues photophiles et la dominance de la flore sur la faune fixée) à l'étage circalittoral (algues sciaphiles de densité décroissante avec la profondeur et dominance de la faune fixée). Mais, au fur et à mesure que l'on pénètre vers le fond de la baie, la turbidité des eaux augmente et le niveau bathymétrique du passage infralittoral - circalittoral s'élève progressivement pour atteindre une quinzaine de mètres dans les parties intérieures de la baie. Bien que n'ayant pas spécifiquement exploré les fonds rocheux de la baie de Morlaix, les travaux en plongée de Castric-Fey *et al.* (2001), au sein de l'ADMS sur la faune et la flore sous-marines de Bretagne, constituent une référence incontournable sur la distribution des espèces et l'organisation des communautés de substrats rocheux en milieu côtier.



fonds rocheux G

PEUPLEMENTS RELATIVEMENT INDÉPENDANTS
DE L'ÉTAGEMENT

- Biocénose des sédiments grossiers à Venus fasciata (avec pointements rocheux à Axinella dissimilis dans l'ensemble fronto-littoral)* H
- faciès de transition à *Abra prismatica* et *Glycymeris glycymeris* (sables dunaires fins, non thixotropiques) I
- faciès d'épifaune à *Sabellaria spinulosa* J
- Faciès d'épifaune des fonds durs à *Musculus discors* K

PEUPLEMENTS INFRALITTORAUX
OU LOCALISÉS DANS L'INFRALITTORAL

- Biocénose du maerl* :
- faciès à *Lithothamnium corallioides* var. *corallioides* L
- faciès à *Lithothamnium corallioides* var. *minima* M
- Peuplement des sédiments fins à Abra alba et Corbula gibba* :
- faciès sableux à *Hyalinoecia bilineata* N
- faciès envasé à *Melinna palmata* O
- faciès hétérogène envasé à *Pista cristata* P

TERRE T

Figure 11 : Carte de répartition des peuplements benthiques dans la région de Roscoff, d'après Cabioch (1968)

Les travaux, également en plongée, de Derrien-Courtel *et al.* (2007) dans le cadre des réseaux de surveillance benthiques sur le littoral breton apportent un éclairage particulier sur deux stations de la baie de Morlaix, l'une (Le Corbeau) située à l'entrée de la rade de Morlaix, l'autre (Penven) située à proximité de l'île de Batz. A noter que le site Le Corbeau révèle l'une des plus fortes diversités (120 taxons identifiés) observée parmi les 30 sites étudiés autour de la Bretagne, celle de Penven étant de l'ordre de deux fois moindre.

1.4. Activités anthropiques

Les activités pratiquées dans la baie de Morlaix ayant un lien avec le compartiment benthique sont diverses. Il ne s'agit pas ici d'en faire l'inventaire exhaustif mais seulement d'évoquer les principales.

L'ostréiculture

Les concessions ostréicoles, majoritairement implantées dans la zone découvante, occupent une superficie de 7,2 km² (données DDTM) pour 2/3 dans la rade de Morlaix et pour 1/3 dans l'estuaire de la Penzé. La production annuelle est de l'ordre de 7 000 tonnes d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*) ; c'est le premier site de production d'huîtres creuses du département du Finistère. C'est une activité assez régulièrement confrontée à des difficultés : pollution bactériologique en partie résolue par l'amélioration de la qualité bactériologique des eaux rejetées dans la rade (contrat de baie signé en 1996), la présence d'un phytoplancton toxique (*Alexandrium minutum*) apparu en 1989, et aujourd'hui des mortalités anormales d'huîtres qui ne sont pas spécifiques à la baie de Morlaix, ni même au littoral breton.

La pêche

Principalement connu comme port crabier, le port de pêche se diversifie aujourd'hui vers le poisson. L'activité florissante de la criée de Roscoff n'est cependant pas représentative de l'activité de pêche dans la baie car l'essentiel des débarquements provient de captures effectuées à l'extérieur de la baie. Dans la baie proprement dite, on peut citer parmi les espèces cibles, la coquille Saint-Jacques, les crustacés (tourteau, araignée, homard, bouquet) et les poissons (bar, lieu jaune, dorade...).

L'exploitation des algues

Du fait de la richesse et de la diversité des algues dans la baie de Morlaix et d'une utilisation croissante et diversifiée d'un certain nombre d'espèces, 5 entreprises implantées à Roscoff se sont spécialisées dans la transformation des algues pour l'alimentation (12 espèces aujourd'hui autorisées à la consommation par le ministère de la santé) et les cosmétiques. Quelques centaines de tonnes sont ainsi transformées chaque année, ce qui reste somme toute modeste comparé aux quelques 25 000 tonnes (essentiellement des laminaires) récoltées annuellement dans le Bas Léon. A noter qu'une des entreprises cultive le wakamé (*Undaria pinnatifida*) et dispose pour cela d'une concession de 4 ha située entre le port du Bloscon et l'île Callot. C'est la seule algue cultivée en Bretagne et sa production est encore limitée car la consommation d'algues n'est pas encore vraiment entrée dans nos habitudes alimentaires.

L'exploitation du gisement de sable des Duons

L'exploitation de sable du site des Duons a débuté en 1965 avec un volume annuel d'environ 87 000 m³. Ce sable répond principalement à un besoin d'amendement des terres des producteurs légumiers du nord de la Bretagne.

Une nouvelle concession a été sollicitée en 2007 par la Compagnie Armoricaïne de Navigation (CAN) sur un périmètre de 0,18 km². Après que la préfecture du Finistère l'ait autorisé à procéder à l'extraction annuelle de 30 000 m³ de sable coquillier pour les années 2010 et 2011, le tribunal administratif de Rennes a, en mai 2010, suspendu l'autorisation, suite à l'action d'associations locales reprochant notamment à la compagnie de ne pas posséder de titre minier. Par un décret publié au Journal officiel le 19 juillet 2011, il est finalement accordé à la CAN la concession de sables coquilliers dite "Concession des Duons". Le décret autorise cette exploitation pour 25 ans, à dater de juillet 2011, pour un volume limité à 50 000 m³ par an.

La concession est accordée aux conditions suivantes :

1. L'arrêté d'autorisation d'ouverture de travaux devra définir :

- un programme de suivi scientifique des impacts de l'extraction sur les sites Natura 2000, sur l'évolution morphologique du banc, de ses environs et de sa richesse faunistique ;
- les mesures de réduction de ces impacts ;
- les modalités de concertation avec les usagers sur ce suivi scientifique.

2. Le volume d'extraction peut être annuellement réduit et ajusté par le préfet au regard de la capacité de recharge de la dune en apports naturels et des résultats du suivi scientifique.

1.5. Mesures de gestion et de conservation

En raison des intérêts multiples que revêt la baie de Morlaix, du point de vue notamment de sa biodiversité, le secteur côtier Morlaix-Plateau de la Méloine, d'une superficie de 26 500 ha, a été retenu comme site du réseau européen Natura 2000 en mer. Il comporte trois grands ensembles différenciés :

- le secteur Roscoff-Ile de Batz qui constitue un vaste platier rocheux à forte biodiversité, notamment algale ;
- la baie de Morlaix proprement dite baignée par les rivières de Morlaix et de la Penzé et parsemée de nombreuses petites îles ;
- le plateau rocheux de la Méloine dont la richesse halieutique a justifié un cantonnement de pêche aux crustacés.

La présente étude contribue, en complément des travaux en cours confiés par l'Agence des aires marines protégées aux bureaux d'études TBM (Auray) et HOCER (Brest), à réaliser un bilan actualisé des espèces et des habitats benthiques sur l'emprise globale du domaine subtidal du site. D'autres travaux (Lamarche, 2010, Loarer et Rollet 2011) concernent plus particulièrement le domaine intertidal.

A noter également l'intérêt de la baie de Morlaix pour certains oiseaux marins nicheurs et en particulier la sterne de Dougall dont la quasi-totalité de la population nicheuse française est recensée. Plus globalement, la baie de Morlaix représente l'un des trois sites ornithologique d'importance patrimoniale majeure en Bretagne.

Ainsi, ce sont des considérations liées d'une part à la richesse et à la diversité benthiques (*cf.* Directive Habitats, Faune, Flore), d'autre part à l'intérêt ornithologique (*cf.* Directive Oiseaux) qui ont justifié la désignation en site Natura 2000 de l'emprise marine "Baie de Morlaix-Plateau de la Méloine".

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. Moyens nautiques

L'investigation des fonds en centre baie et au large, a été conduite à partir du N/O Thalia et, dans les petits fonds côtiers (< à 10-15 m de profondeur), à partir de la vedette Haliotis. Ces deux navires de la flotte côtière scientifique sont armés par GENAVIR (cf. annexes 1 et 2).

Haliotis est une vedette instrumentée, mise en service en 2008, spécialisée dans les travaux d'acoustique sous-marine par petits-fonds. Un pilote mécanicien, un opérateur électronicien et jusqu'à 2 scientifiques peuvent y prendre place. La vedette peut être déplacée entre les sites d'études, par la route, au moyen d'un camion et de sa remorque (fig. 12). La mise en œuvre de la vedette est assurée par une grue disposée sur la remorque, afin de permettre la mise à l'eau sur l'ensemble de l'espace maritime en complète autonomie. Les caractéristiques de la vedette sont détaillées en annexe 2 et sur <http://flotte.ifremer.fr/flotte/Presentation-de-la-flotte/Navires/Navires-cotiers/Haliotis>.



Figure 12 : La vedette Haliotis en mer et sur son camion porteur

Plusieurs campagnes se sont également déroulées à partir du navire Neomysis de la Station Biologique de Roscoff, armé par l'INSU (<http://www.dt.insu.cnrs.fr/flottille/neomysis.php>).

2.1.1.2. Systèmes de navigation et de positionnement

2.1.1.2.1. Le système de navigation Olex

Olex V4.10 (fig. 13) 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 Ifremer, il utilise des cartes vectorielles au format S57 ou C-MAP CM93 en WGS84. 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 (<http://flotte.ifremer.fr/flotte/Presentation-de-la-flotte/Equipements/Equipements-de-navigation>).

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.

OLEX assure les fonctions suivantes :

- Acquisition des mesures de positionnement et de profondeur
- Suivi temps réel du navire
- Archivages des mesures
- Suivi d'engins remorqués
- Fonction automatique et temps réel de calcul de bathymétrie
- Visualisation de la cartographie 2 D classique avec une vision 3D

OLEX peut être connecté à différents types de capteurs :

- GPS
- Sondeurs
- Central météo Météo France Batos
- Lochs
- Capteurs de positionnement de chalut - Geonet, Scanmar
- Capteur de traction et de longueur de funes - Marelec

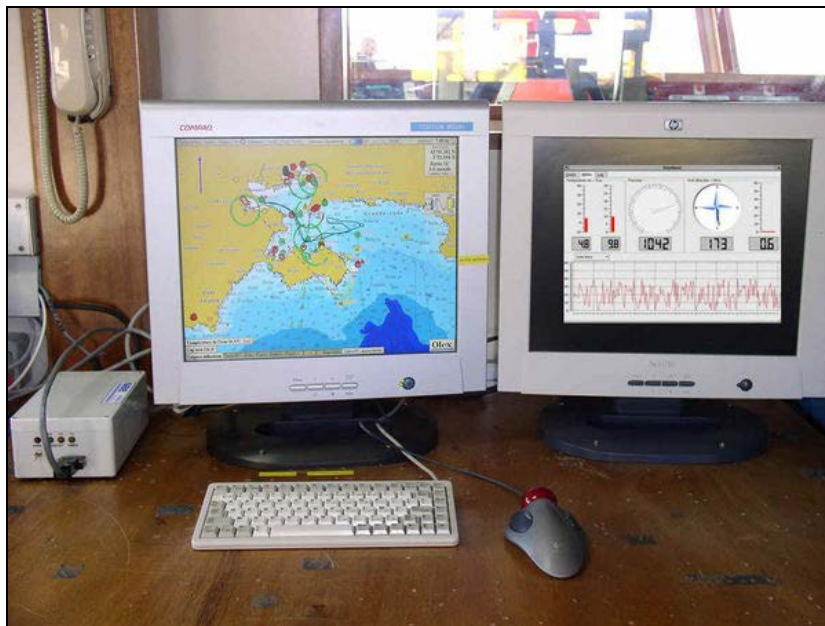


Figure 13 : PC scientifique OLEX sur le N/O Thalia

A noter que la vedette Haliotis dispose, tout comme le N/O Thalia de son propre système OLEX.

2.1.1.2.2. Les systèmes de positionnement

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 d'environ 5 m en mode naturel et moins de 5 m en mode différentiel. Celles obtenues à bord de Neomysis sont en mode naturel WGS84.

Les données enregistrées à bord d'Haliotis sont en Lambert 93, à partir d'un positionnement GPS RTK Thales. L'infrastructure de base d'un réseau RTK (Real Time Kinematic ou cinématique en temps réel) est constituée par une station GPS de référence installée à terre et une station distante implantée à proximité du levé, en hauteur sur un toit, sémaphore, château d'eau,... Cette station permanente, dont la position est connue avec une très grande précision, émet en temps réel par 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 station pour la mission RebHali02, était positionnée sur le toit du centre nautique de Saint Pol de Léon (Presqu'île de la Groue).

2.1.2. Principes généraux de fonctionnement des systèmes acoustiques

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

La mesure bathymétrique par sondeur multifaisceaux (SMF) est rendue possible par l'emploi d'antennes de grandes dimensions longitudinales et transversales : environ 60 fois la longueur d'onde pour une ouverture de 1° (soit 8 m à 12 kHz), ce qui impose de lourdes contraintes d'installation sur les coques de navires porteurs (Lurton et Augustin, 2004). Aujourd'hui routinière, la mesure oblique de bathymétrie reste une opération exigeante qui demande une méthodologie rigoureuse, une instrumentation de bonne qualité et des capteurs associés au sonar pour la mesure de la position géographique du porteur, de ses mouvements instantanés (roulis, tangage, pilonnement) et du profil de célérité dans l'eau (qui provoque une réfraction des trajectoires sonores).

Le sondeur multifaisceaux EM1000 de la société Simrad a été mis en œuvre sur le secteur (tabl. 1). Un sondeur multifaisceaux mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions déterminées par les faisceaux de réception du système (fig. 14 et 15). 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 $0,05^\circ$ 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.

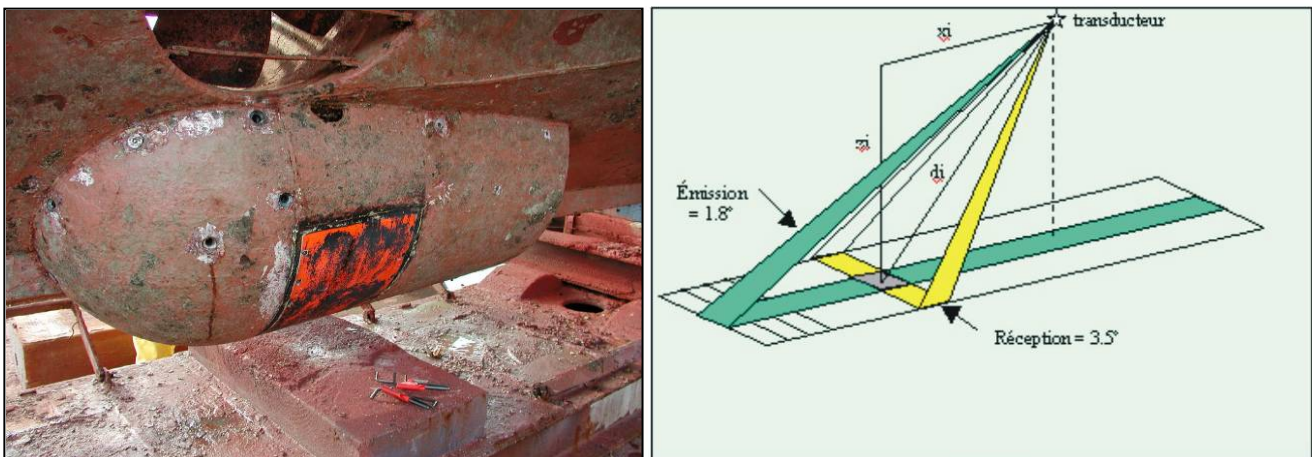


Figure 14 : Bases acoustiques sous le N/O Thalia et principe de fonctionnement d'un SMF

Caractéristiques	EM 1000 Simrad
Antenne	Circulaire
Fréquence	95 kHz
Nombre de faisceaux	120
Ouverture angulaire	150
Largeur faisceaux	3,3 x 3,3°
Couverture	7,4 x prof.
Résolution en z	3,75 cm
Centrale inertielle	Hydrins IXsea

Tableau 1 : Résumé des caractéristiques du sondeur multifaisceaux

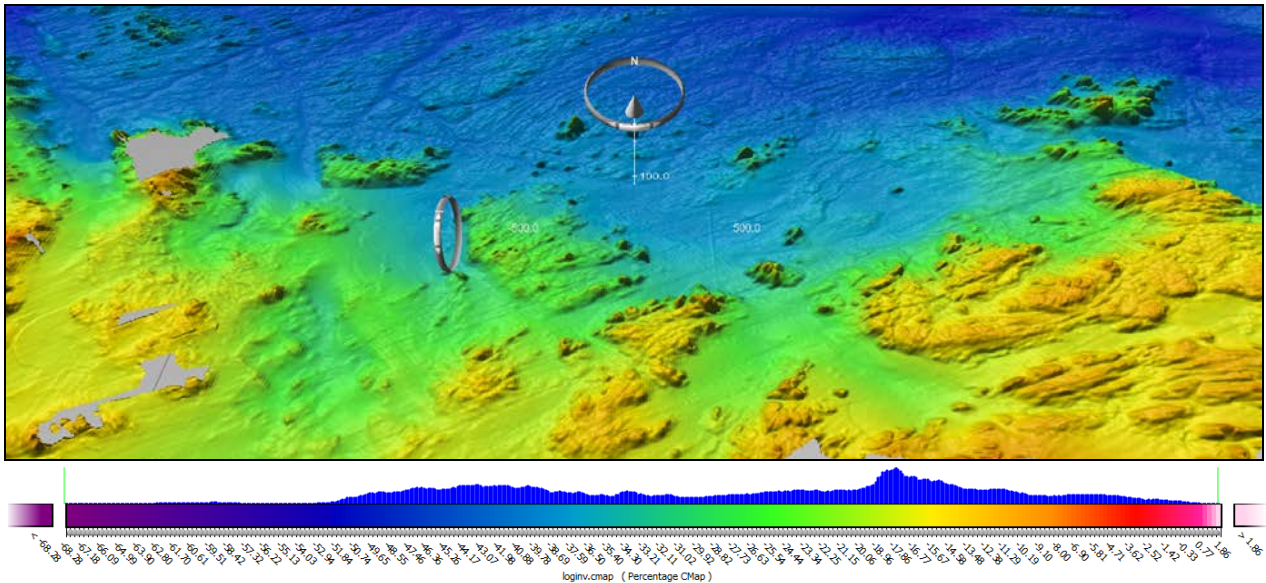


Figure 15 : Exemple de résultat bathymétrique au NE de Roscoff, à partir des données de l'EM1000 traitées sous Carairbes

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

Les systèmes acoustiques hautes fréquences, de type sonar à balayage latéral, sont employés depuis plusieurs années pour prospector rapidement de larges zones côtières avec une très bonne résolution sur le fond (fig. 16). Ils permettent de cartographier directement certains peuplements macro-benthiques en forte densité lorsque leur signature n'est pas marquée par la rugosité du fond avoisinant. Au titre de la faune et flore détectée avec un tel système, on peut citer particulièrement l'étude de la ressource en calmars (Foote *et al.*, 2006), celles sur les herbiers de posidonies en Méditerranée (Paillard *et al.*, 1993 ; Piazzini *et al.*, 2000), sur les biocénoses de maërl (Augris *et al.*, 1993) ou sur la crépidule (Hamon *in* Augris et Hamon, 1996 ; Ehrhold *et al.*, 1998, Blanchard, 2009). Mais les résultats couvrent bien d'autres espèces dites "ingénieurs".

Le sonar à balayage latéral se compose d'un engin remorqué de forme fuselée, relié à un système d'acquisition par l'intermédiaire d'un câble électro-porteur (fig. 17). 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. La qualité de l'imagerie sonar dépend d'une part de la configuration d'acquisition (plus l'incidence est rasante plus le contraste des échos est élevé), et d'autre part des caractéristiques intrinsèques du sonar, en particulier en résolution : plus celle-ci est fine, meilleure est la qualité picturale et l'accès aux détails de la scène. La résolution transversale, en général est excellente, en revanche la résolution longitudinale donnée par l'ouverture angulaire de l'antenne se dégrade avec la distance R ; elle

atteint 2 m à une distance de 100 m pour une ouverture de 1° (Lurton et Augustin, 2004). Quelle que soit la réponse acoustique, elle nécessite d'être calibrée par des prélèvements sédimentaires ou par des images de vidéo sous-marine.

La position du poisson remorqué est calculée soit à partir de la valeur de layback (longueur de câble à l'eau et distance à l'antenne GPS du bateau), soit à partir d'une balise USBL qui transmet les informations de distance, de cap et d'immersion jusqu'au récepteur fixé sur une perche sur le franc-bord du bateau et qui permet de repositionner les images du fond encore plus précisément.

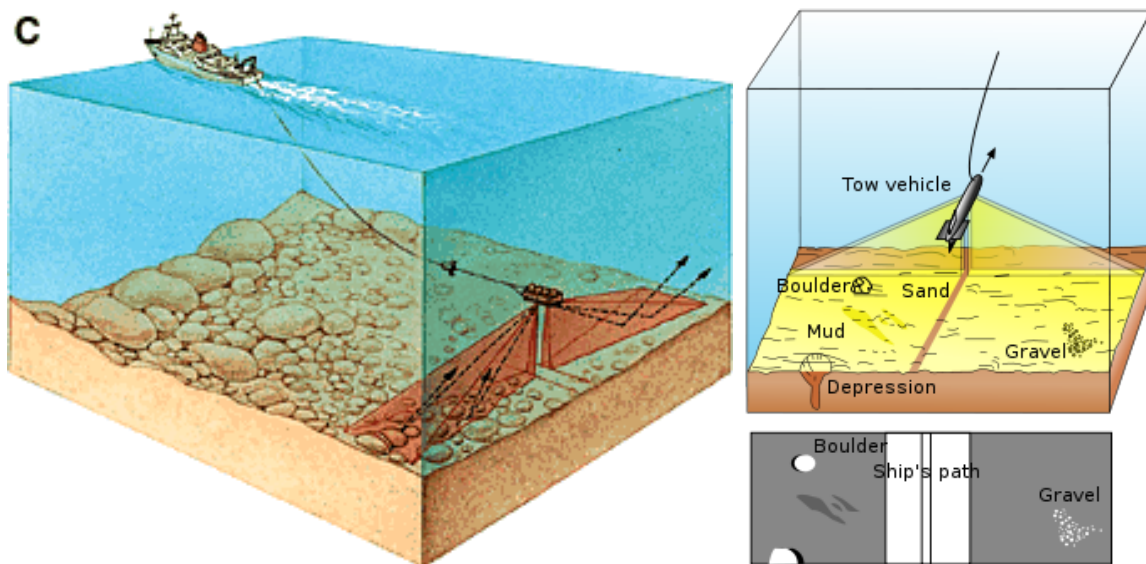


Figure 16 : Principe de mise en œuvre d'un poisson sonar remorqué (source web)

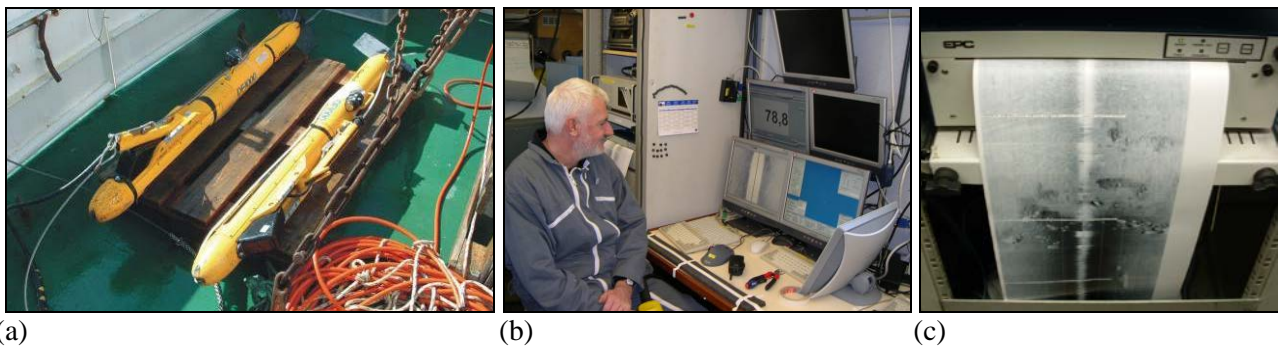


Figure 17 : Poissons sonar DF1000 (a) ; poste opérateur (b) ;
impression temps réel des sonogrammes (c)

Sur les images acoustiques, encore appelées "sonogrammes", peuvent être directement différenciés et délimités avec précision, les zones de roches, des contacts entre deux types de sédiments, des peuplements benthiques denses (maërl, moulières, crépidules, lanices, coraux, herbiers...), des figures sédimentaires modelant le fond (fig. 18) ou bien l'impact d'engins de pêche sur le fond (Smith *et al.*, 2007).

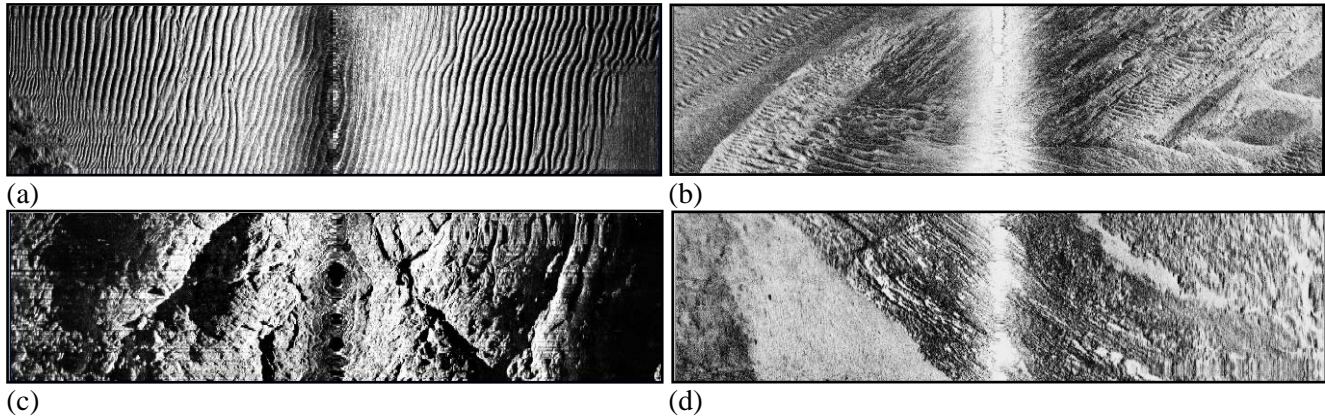


Figure 18 : Exemples de sonogrammes acquis sur les fonds bretons (largeur 200 m) :
 (a) substrat meuble ridé, (b) figures sédimentaires sableuses longilignes,
 (c) formation rocheuse massive, (f) formation rocheuse litée

L'application de cette technique nécessitant de remorquer le poisson à hauteur constante pour cartographier les affleurements rocheux des substrats meubles sur les fonds accidentés du pourtour armoricain (bosses et marches topographiques brutales) balayés par des courants puissants, rend parfois la navigation périlleuse, allant jusqu'à occasionner des collisions entre le matériel sonar et la roche en place (fig. 19).

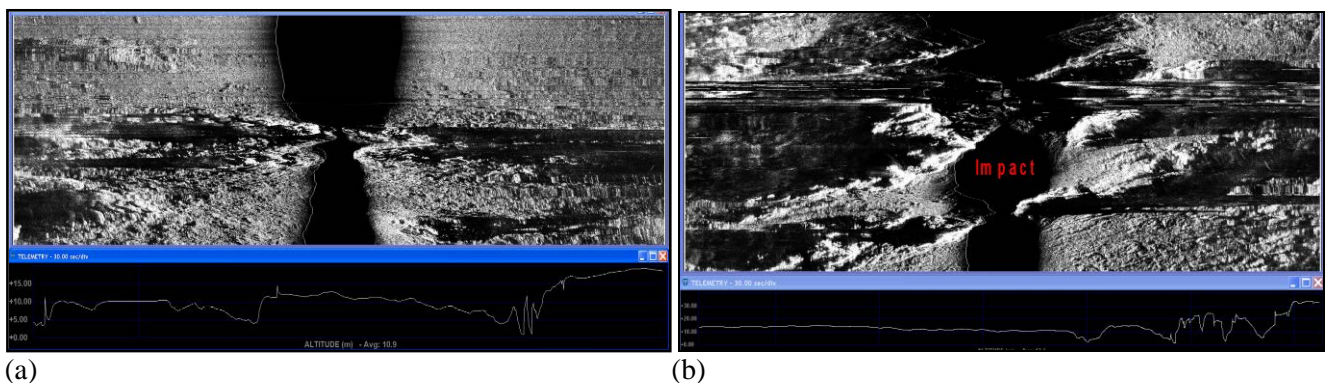


Figure 19 : (a et b) Images de la hauteur du poisson par rapport au fond
 (zone médiane noire) et (b) d'une collision sonar vs roche

2.1.2.3. Le sonar interférométrique de la vedette Haliotis

Haliotis est équipée sous la coque d'un sonar interférométrique GeoSwath à 250 kHz (fig. 20 ; tabl. 2), d'un sondeur à sédiments Ifremer (1,7 à 5,5 kHz) et d'un sondeur mono-faisceau Simrad EK60 à 120 kHz, associé à un système de caractérisation des fonds RoxAnn (Pluquet et Ehrhold, 2009). L'ensemble des équipements électroniques (suivi temps réel, acquisition et archivage des données) est installé à poste fixe dans la cabine.

La vedette Haliotis concentre ainsi à son bord un large éventail de capteurs acoustiques permettant de fournir des informations sur la structure externe et interne du fond marin (morphologie, rugosité, épaisseur du sédiment, stratification, etc...). Le sonar GeoSwath embarqué en est le système principal. Il a vocation à cartographier les fonds comme un sonar à balayage latéral avec une fauchée équivalente à 10 fois la profondeur et de restituer la bathymétrie des fonds comme un sondeur multifaisceaux mais sur 5 fois la profondeur pour la fauchée réellement exploitable (fig. 20). Les faciès acoustiques sont donc parfaitement corrélés avec la morphologie du fond (fig. 21). Les données sont enregistrées avec le logiciel d'acquisition et de traitement propriétaire GS+. L'affichage paramétrable du logiciel permet de suivre en temps réel le déroulement des acquisitions, en permettant de visualiser la navigation, la réflectivité du fond, les rendus en termes de bathymétrie et d'imagerie acoustique, ainsi que la couverture accomplie.

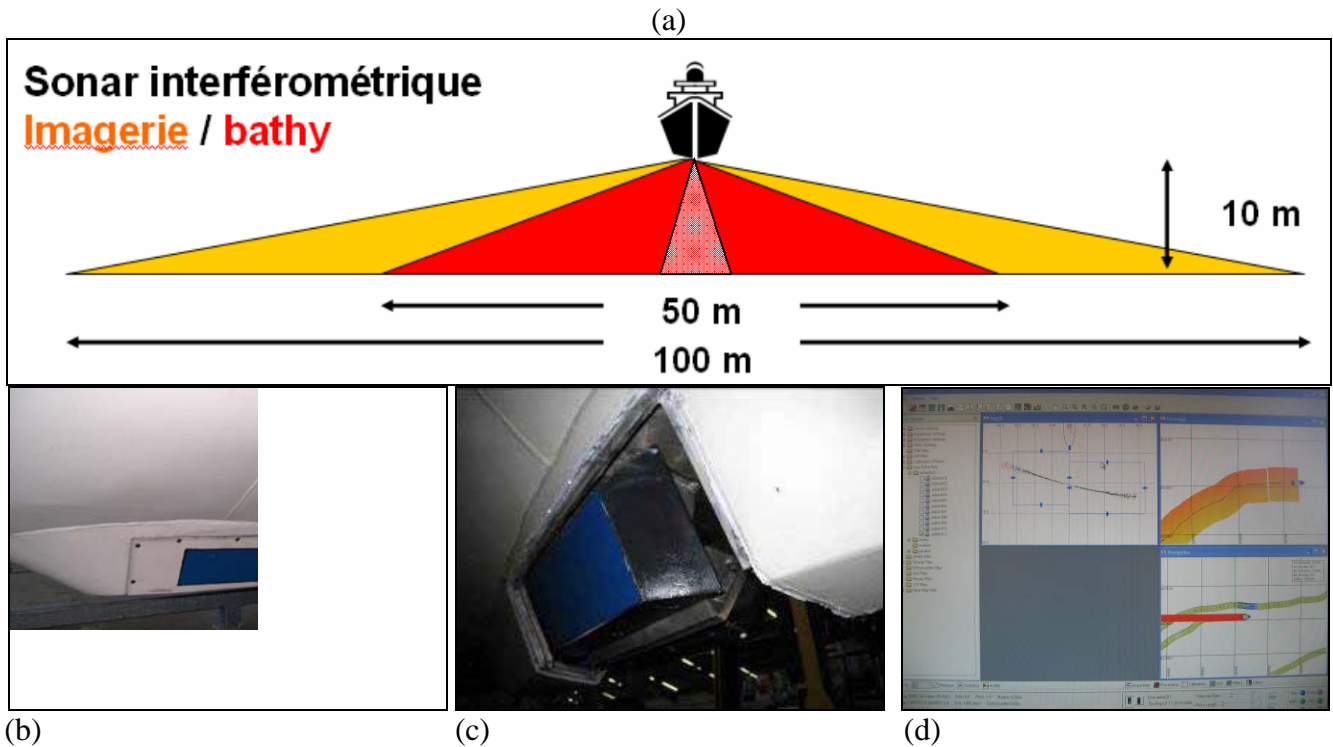


Figure 20 : Fauchées utiles sur le GeoSwath (a), antennes en V sous la coque (b et c) et visualisation temps réel (d)

Pour le mode bathymétrique, son principe de fonctionnement réside dans la méthode de direction de différence de phase (Lurton, 2001) qui est souvent utilisée pour l'adjonction d'une fonction bathymétrique secondaire à des sonars latéraux destinés à l'imagerie. Elle consiste à mesurer, à un instant donné, la différence de phase entre deux points récepteurs pour en déduire une estimation précise de la direction angulaire. Dans le cas de la mesure topographique, la cible instantanée est délimitée par la cellule de résolution du signal sur le sol ; une grande quantité de points de mesure indépendants peuvent ainsi être obtenus sur la bande transversale balayée par le signal. Cette technologie souffre de deux inconvénients majeurs : l'impossibilité d'effectuer la mesure dans le secteur angulaire autour de la normale du fond (± 10 à 15°) et l'ambiguïté de détermination de la différence de phase aux plus fortes incidences (% d'erreurs relatives important).

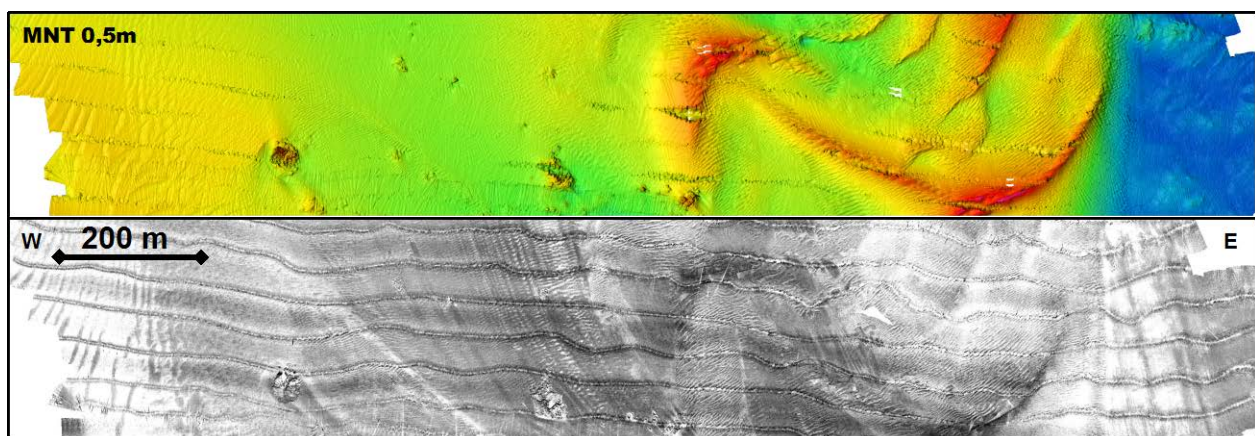


Figure 21 : Morphologie (relief) et réflectivité des fonds sur un même profil GeoSwath

Technologie	Interférométrie
Fréquence	250 kHz
Profondeur	0-100 m
Fauchée	Bathymétrie : 10 P Imagerie : 20 P Fauchée max # 300 m
Cadence d'émission / fauchée	10 Hz @ 150m 5 Hz @ 300m
Echantillonnage bathymétrie	1,5 cm Pas de mesure à la verticale
Echantillonnage imagerie	1,5 cm
Résolution angulaire	Emission : 0,5°
Géométrie d'antennes	2 antennes en V
Logiciel TR	GS+

Tableau 2 : Résumé des caractéristiques du sonar interférométrique GeoSwath

Une centrale inertielle de type Phins Ixsea (fig. 22) corrige en temps réel les mouvements du bateau. Le principe de base de fonctionnement d'une telle centrale est l'estime. Le système fournit la position du navire par référence à sa position initiale du départ de la navigation. Des accéléromètres précis mesurent l'accélération horizontale de la trajectoire. Un calculateur effectue un premier calcul intégral pour déterminer la vitesse du navire. Une deuxième intégration donne la position du navire en connaissant la position de départ.



Figure 22 : Centrale inertielle Phins (société Ixsea)

Un bathy-célérimètre Valeport est également utilisé pour corriger *a posteriori* la vitesse du son dans la colonne d'eau, ainsi qu'un marégraphe Valeport MIDAS WLR pour corriger les sondes des variations du niveau de l'eau. Dans le cas présent, la proximité du marégraphe côtier numérique de Roscoff a permis de se dispenser de son utilisation.

2.1.2.4. Le sondeur vertical monofaisceau Simrad EK60

Ce sondeur scientifique est un outil destiné autant à la détection de bancs de poissons dans la colonne d'eau par les pêcheurs ou les scientifiques (Coetzee *et al.*, 2008), qu'à discriminer l'énergie renvoyée par les différents types de fond (Jordan *et al.*, 2005 ; Hutin *et al.*, 2005). Il fonctionne dans notre cas, à la fréquence de 120 kHz (sensibilité de l'ordre du centimètre), et une durée d'émission avec au maximum 20 pings par seconde. L'ouverture angulaire de la base acoustique est de 7°. Pour des fonds de 10m, on a donc une empreinte au sol de l'ordre de 1m.

L'écho sondeur détermine la profondeur de la cible en émettant une impulsion sonore au travers d'un faisceau dirigé selon la verticale du navire. Le temps aller-retour navire/cible/navire est calculé. A l'aide

de la célérité des ondes dans l'eau, il est possible de définir la profondeur de la cible (profondeur = $c \cdot dt/2$). Pour un ping émis, plusieurs échos du fond sont retournés et l'on obtient donc un échogramme qui permet d'établir une coupe transversale de la colonne d'eau (fig. 23). Comme tous les temps d'arrivées sont enregistrés, il est possible de travailler sur le multiple (Lurton, 1998).

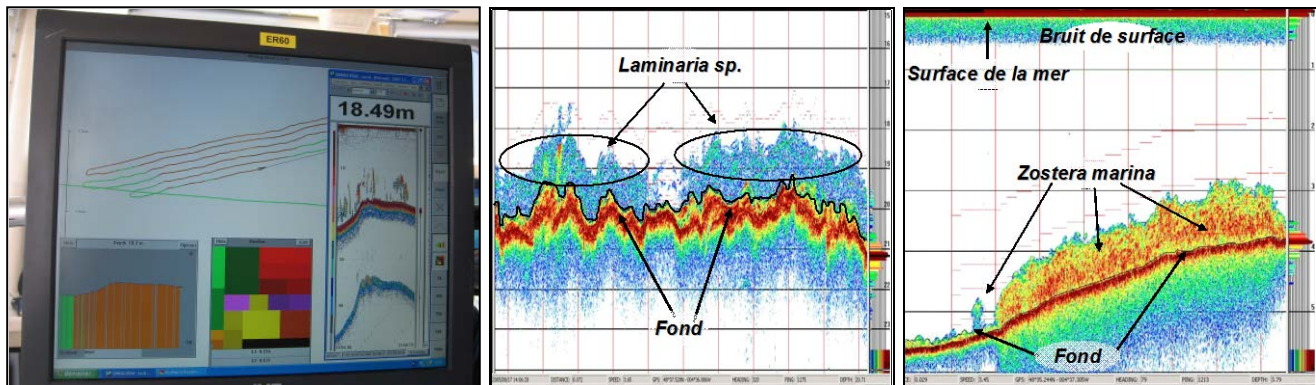


Figure 23 : Exemples d'échogrammes enregistrés par le logiciel ER60 (source CEVA)

Plusieurs travaux ont montré la capacité de ce sondeur à détecter la présence d'algues, notamment de laminaires (CEVA in Méléder *et al.*, 2010 ; Monpert, 2010), par la méthode dite de l'écho-intégration, à l'aide du logiciel MOVIES + (Ifremer). Le coefficient de rétrodiffusion SA est calculé pour différentes couches au-dessus du fond et moyenné sur une longueur fixée à 100 pings, ce qui correspond à une durée d'environ 5 secondes et une distance au fond de 5 à 10 m. Chaque unité d'écho-intégration (ESU) est calibrée avec les données récoltées par plongeur ou vidéo, permettant d'extrapoler les données ponctuelles du sondeur en cartes de distribution de présence ou d'absence de laminaires, jusqu'à établir des cartes d'iso-densité.

2.1.2.5. 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 (Chivers *et al.*, 1990 ; Chivers et Burns, 1992), 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. 24).

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 pluridécimétriques), en fonction de la profondeur moyenne sur la zone et de l'ouverture du sondeur.

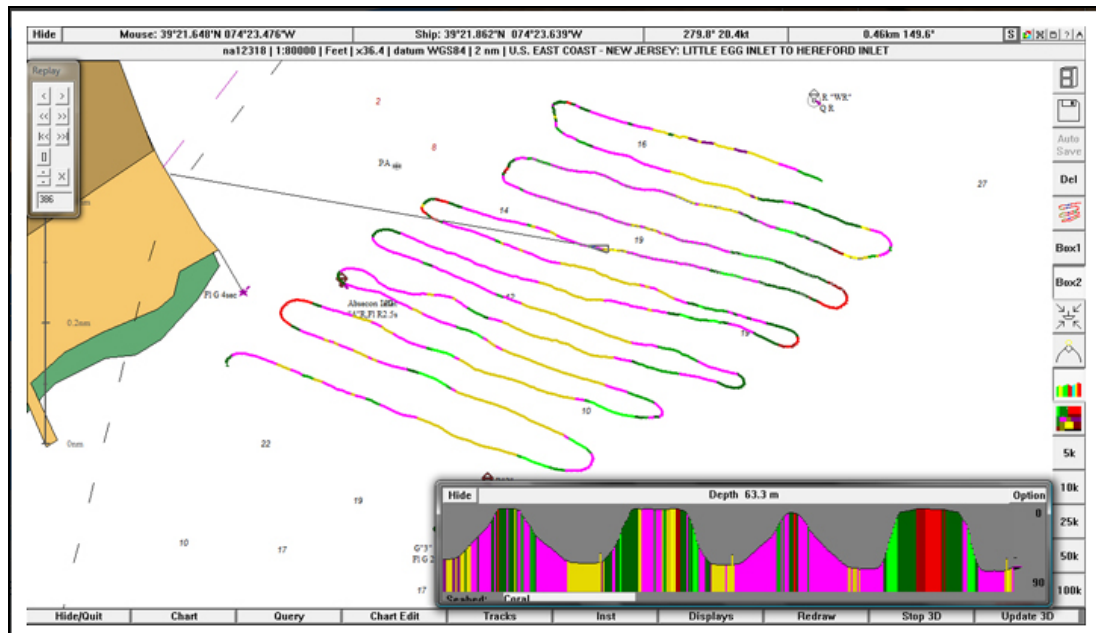


Figure 24 : Exemple de restitution des données RoxAnn en temps réel

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) et la végétation sous-marine (Laminaires : Hass et Bartsch, 2008 ; Ulves : NOAA, 2000 ; Posidonies : Siakavara *et al.*, 2000 ; Zostères : Monpert, 2010). Les exemples sont nombreux et ne se limitent pas uniquement aux biocénoses très rugueuses directement décelables par le système mais permet également de cartographier les différents types de substrats (Ehrhold, 2000, Monpert 2010) et de renseigner sur la teneur du sédiment en matière organique (Serpetti *et al.*, 2012).

2.1.3. Systèmes de prise de vues sous-marine

Deux types de caméras, montées sur un bâti ponctuel utilisé en dérive, suspendu au-dessus du fond, ont été mis en oeuvre :

- une caméra analogique OE 1372, munie d'un projecteur Kongsberg OE11-130 (fig. 25a) ;
- un caméscope numérique Sony HD CX6 muni d'un éclairage LED de 50 W (fig. 25b).

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. 26a). Dans le cas des prospections avec la caméra analogique, les films sont enregistrés sur support numérique de type cassette DV-CAM, et, dans le cas de l'utilisation de la caméra numérique, les fichiers sont directement enregistrés sur ordinateur (fig. 26b) à partir de la carte mémoire du caméscope. Le bâti peut être équipé de deux faisceaux lasers qui, quelque soit la hauteur du bâti au-dessus du fond permettent de connaître précisément la distance entre les deux marques de faisceaux sur le fond et ainsi d'avoir l'échelle des éléments observés.

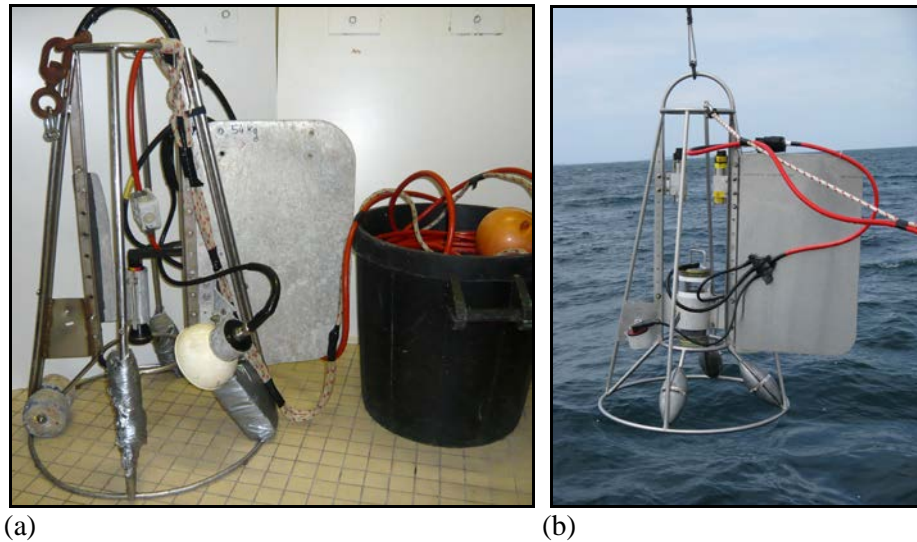


Figure 25 : Dispositifs de prise de vues sous-marine sur bâti ponctuel
(a : équipement analogique ; b équipement numérique HD)

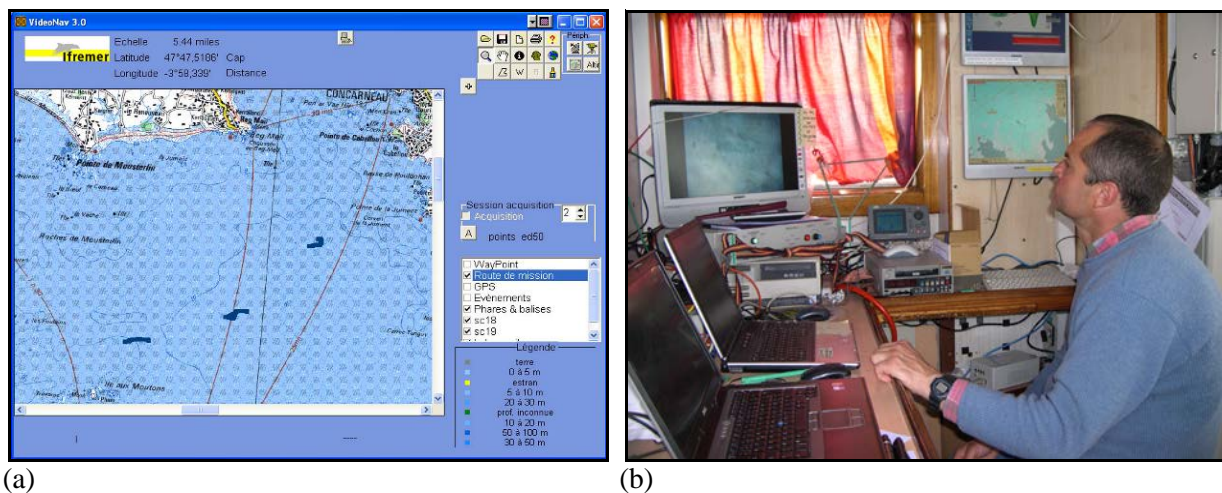


Figure 26 : Dispositif d'enregistrement de prise de vues sous-marine
(a : copie d'écran du logiciel Vidéonav 3 ; b : centrale d'acquisition)

2.1.4. Engins de prélèvements sédimentaires et biologiques

2.1.4.1. Les bennes Shipek et Petite Ponar (prélèvements sédimentaires)

La benne Shipek (fig. 27) est 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. La surface échantillonnée est de 4 dm², le volume maximal de sédiment récolté de 3 litres, et la profondeur maximale de prélèvement de 10 cm. Deux lests peuvent être employés en fonction de la dureté des sédiments ; 20 et 53 kg, seul le premier a été mis en œuvre.

La benne Petite Ponar (fig. 28) est une benne légère en acier inoxydable. Elle peut être manipulée depuis une embarcation de petite taille non équipée d'un treuil ou d'un winch. Son poids total est de 14 kg avec une surface échantillonnée de 15x15 cm. Elle fonctionne par gravité, le déclenchement étant assuré au moment de la remontée de la benne.



Figure 27 : Benne Shipek et sa mise en oeuvre



Figure 28 : Benne Petite Ponar et sa mise en oeuvre

2.1.4.2. La benne Hamon (prélèvements biologiques)

La benne Hamon (fig. 29), utilisée pour l'échantillonnage biologique, présente l'avantage de fonctionner sur tous les types de fonds meubles, 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. 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 m² et une profondeur d'environ 30 cm. Nous avons utilisé un godet plus petit (prélèvement sur 1/8 m², à la même profondeur), de manière à pouvoir réaliser des réplicats (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 épibenthique est sous-échantillonnée ; en revanche, sa bonne pénétration dans le sédiment permet de récolter des espèces profondément enfouies.



Figure 29 : Mise en œuvre de la benne Hamon

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 (Ehrhold, 2004). Une première prospection est réalisée à bord du N/O Thalia, du large jusqu'à 10 m de profondeur environ. Le navire est équipé, à la demande, d'un sondeur multifaisceaux EM1000 pour acquérir la bathymétrie, et remorque un sonar à balayage latéral (DF1000) pour l'imagerie.

2.2.1. Les acquisitions acoustiques (sonars et EM1000)

Le système sonar Edgetech DF1000, composé d'un poisson tracté derrière l'embarcation à une altitude constante au-dessus du fond (entre 10 et 20 m), a été mis en œuvre pour des fonds supérieurs à 10 m. Les paramètres d'acquisition (fréquence, portée, ouverture, contraste) ont été identiques à ceux des secteurs levés depuis 2003. La portée latérale 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 types de fonds) et la durée d'exécution du levé. Pour ce sonar remorqué, 224 km de profils ont été acquis lors de la mission REBENT 17 (fig. 30) et 130 km lors de la mission REBENT18. Dans cette configuration, la surface moyenne couverte est de l'ordre de 1,4 km²/heure, à la vitesse de 5 nœuds. Le recouvrement entre les profils a été de l'ordre de 12%. Le choix de la direction des profils sonar est primordial (fig. 31). En effet, l'objectif étant aussi de caractériser la dynamique des fonds, il s'agit d'éclairer acoustiquement selon la meilleure direction, les figures sédimentaires transversales au courant (exemple des mégarides), théoriquement le plus perpendiculairement possible à l'axe d'élongation de leur crête. La direction du champ de profils en baie de Morlaix a donc été orientée au NE. Le logiciel d'acquisition ISIS sonar (© Triton Elics) a permis de rejouer, le soir même à bord, les profils un à un et de pointer les signatures acoustiques à échantillonner.

Les données acquises au sonar interférométrique et avec le système RoxAnn de la vedette Haliotis représentent 469 km de profils cumulés, soit une surface continue de 26 km² (fig. 30). Le recouvrement des profils sonar est géré sous OLEX, permettant d'optimiser la surface levée, de l'ordre de 2 à 3 km²/jour.

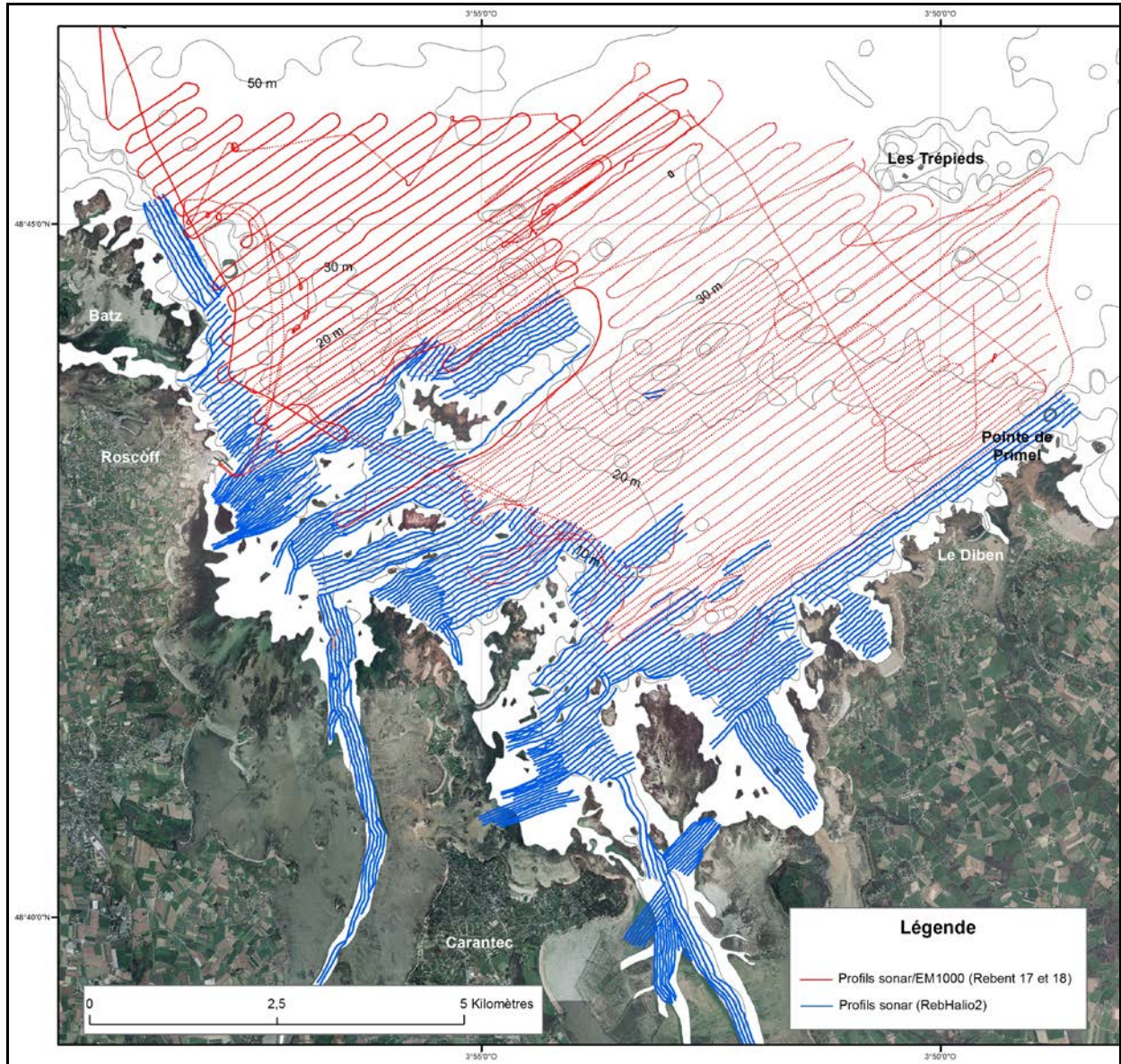


Figure 30 : Carte des profils acoustiques réalisés au cours des missions REBENT17 et 18 (Thalia) et RebHalio2 (Neomysis)

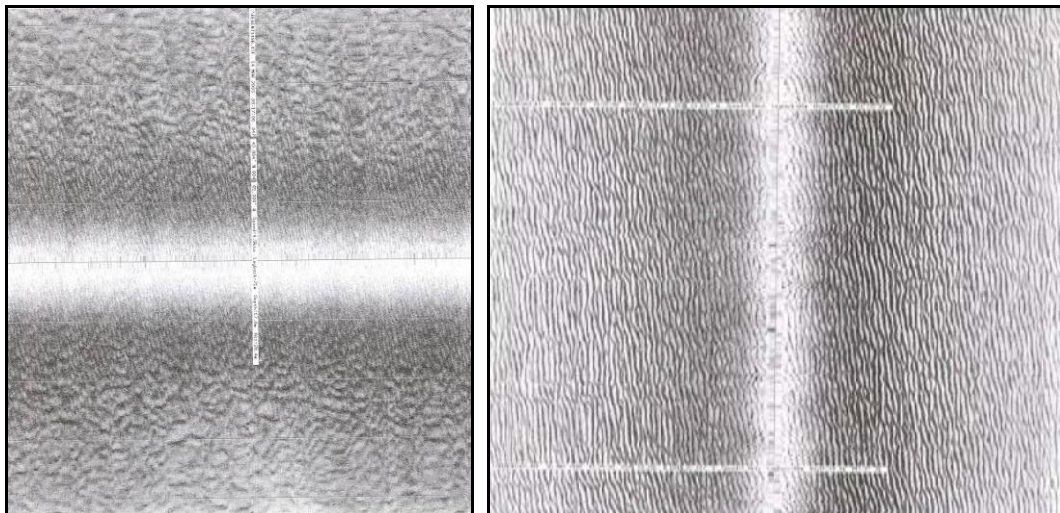


Figure 31 : Exemple de distorsion des mégarides sablo-graveleuses en fonction de la direction des profils sonar (profils Edgetech DF1000 perpendiculaires, à 9 mn d'intervalle, au nord-ouest de Glénan)

Les profils sont parallèles entre eux, mais la fauchée imagerie est modulée par la profondeur, de 2x20 à 2x50m pour les zones plus profondes, avec une cadence d'acquisition toujours supérieure à 9 ping/s, de sorte de pouvoir *a posteriori* mosaïquer la donnée avec un pas d'au moins 50 cm. La direction des profils, tout comme celle pour le sonar tracté, est dictée par la morphologie des structures sédimentaires, mais les contraintes liées à la navigation dans les eaux peu profondes (courants et relief), obligent à adopter souvent une stratégie de lever indépendante des structures sableuses en place.

Pour les données bathymétriques acquises avec l'EM1000, plusieurs inter-profils ont été réalisés au cours de la mission REBENT18, dans la tranche d'eau inférieure à 30 m, afin de densifier la donnée acquise en 2008 lors de la mission REBENT17, notamment dans la moitié orientale de la baie (fig. 30).

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 20 kg). La surface et le volume prélevé sont bien adaptés à la compréhension des signatures acoustiques. Au total, 120 prélèvements sédimentaires ont été réalisés sur la zone d'étude (fig. 32), répartis de la manière suivante :

- 49 prélèvements à la benne Shipek lors des missions REBENT17 et 18
- 53 prélèvements à la benne Shipek lors de la mission Neomysis en 2009
- 18 prélèvements à la benne Petite Ponar lors de la mission RebHalio2

Chaque échantillon remonté à bord est numéroté, photographié et décrit (fig. 33). En fonction du volume remonté, un sous-échantillonnage peut-être effectué puis stocké en sachet et congelé jusqu'au retour au laboratoire. Parallèlement, les coordonnées géographiques du prélèvement sont archivées dans un fichier sous SIG et dans le carnet de mission.



Figure 33 : Exemples de sédiments récoltés avec les bennes Shipek (a, b) et Petite Ponar (c)

2.2.3. L'échantillonnage biologique

En se référant à la carte de distribution des principaux faciès acoustiques (niveaux de gris), et avant même que l'interprétation morpho-sédimentaire ait pu être établie, un échantillonnage biologique stratifié a été réalisé à la benne Hamon (1/8m²). Il convient de souligner tout l'intérêt que représente cette stratification en termes d'économie de moyens, en particulier pour ce qui concerne l'analyse taxonomique de la faune. Ceci, sans entacher la précision apportée 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, 36 stations ont été échantillonnées (fig. 32), à raison de 3 réplicats par station. 24 stations ont tout d'abord été échantillonnées au printemps 2009, à partir du N/O Thalia par l'équipe Ifremer, puis 12 stations complémentaires ont été échantillonnées en 2010 par la Station Biologique de Roscoff, à partir du Neomysis. A noter que la mise en œuvre de la benne Hamon sur Neomysis s'est révélée délicate, mais les bonnes conditions de mer et le savoir-faire de l'équipage ont permis un résultat concluant. Les échantillons prélevés sont tamisés à bord (fig. 34) 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 formaldéhyde à 5%, en vue des analyses taxonomiques au laboratoire.

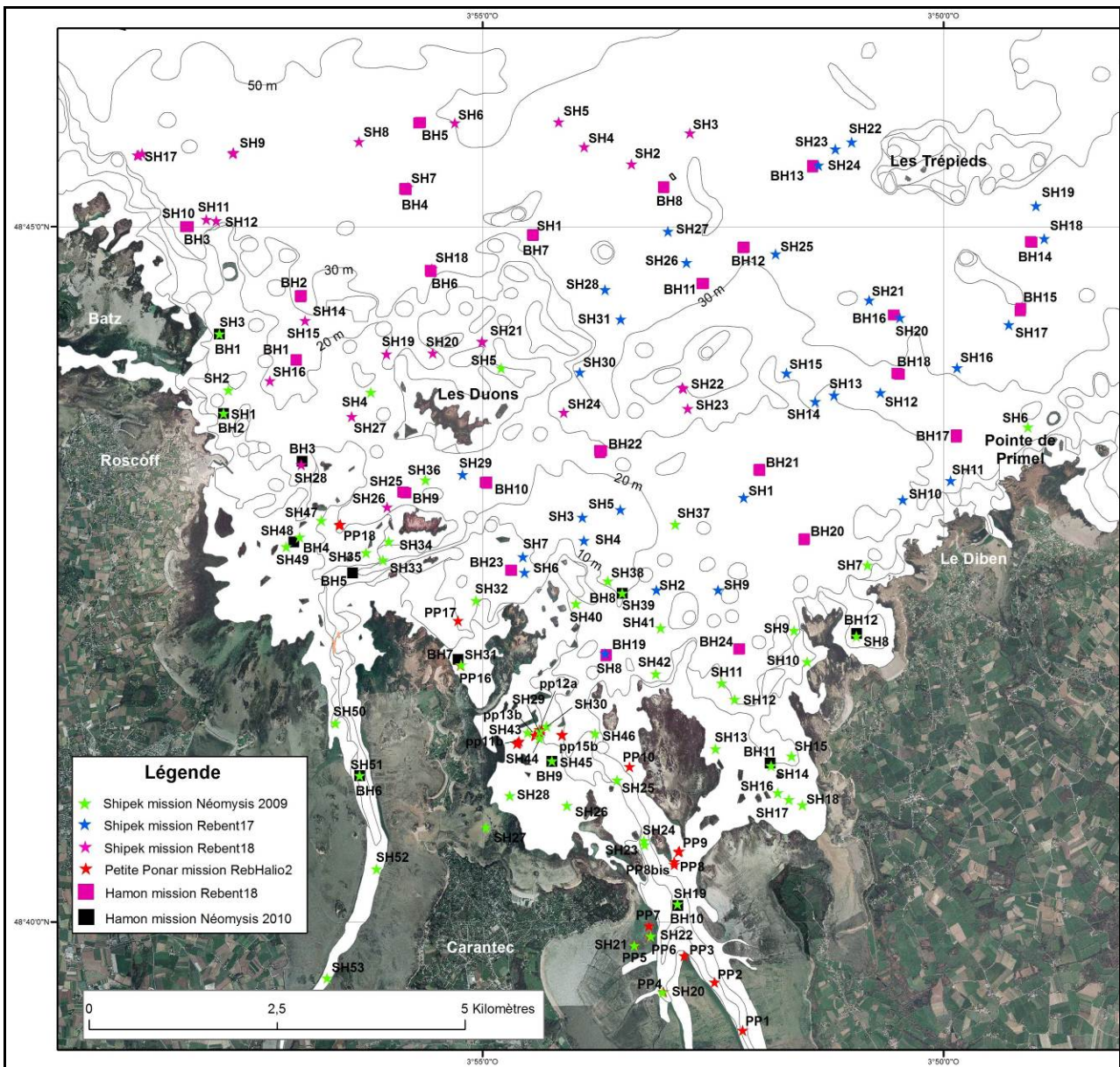


Figure 32 : Carte de situation des prélèvements sédimentaires et biologiques



Figure 34 : Exemple de prélèvement à la benne Hamon (avant et après lavage sur table de tri)

2.2.4. Les prospections vidéo

En raison de la part importante occupée par les substrats durs dans la baie de Morlaix, un effort particulier a été consenti à la prospection des fonds par vidéo sous-marine, moyen privilégié pour rendre compte des peuplements associés. Les observations vidéo n'ont cependant pas été limitées aux seuls fonds durs car elles constituent également une aide significative pour préciser la nature et la morphologie des fonds meubles et renseigner sur certaines macro-espèces qui les colonisent. L'imagerie sous-marine constitue ainsi un moyen de prospection intermédiaire entre l'imagerie acoustique et les prélèvements sédimentaires et biologiques à la benne.

Ainsi, entre 2008 et 2010, 77 profils vidéo ont été réalisés dans le cadre de 5 missions assurées à partir du N/O Thalia et de Neomysis (tabl. 3 et fig.35). Ces profils ont été définis à partir des premiers résultats de l'exploitation des données acoustiques, de manière à prospecter les principaux faciès, tout en observant une répartition géographique à peu près équilibrée. 45 profils ont été effectués sur fonds à dominante rocheuse et caillouteuse, les autres ayant été réalisés sur fonds de sables et de maërl. Les prospections s'effectuent en dérive à une vitesse voisine de 1 nœud, ce qui n'est pas toujours évident à respecter, en fonction de la vitesse des courants, de l'état de la mer et de la faible manoeuvrabilité du bateau au ralenti. La difficulté de prospection sur les fonds rocheux tient au risque d'accrocher le bâti vidéo et de l'endommager. Il convient d'anticiper la remontée des fonds en relevant le bâti tout en restant suffisamment proche du fond pour obtenir des images exploitables. La reconnaissance préalable des fonds par imagerie acoustique (sondeur multifaisceaux et sonar à balayage latéral) est d'une aide indéniable pour la prospection vidéo sur fonds accidentés. Autant que possible, des posées sur le fond sont régulièrement effectuées de manière à pouvoir par la suite effectuer des captures d'images de bonne qualité.

Les enregistrements analogiques sont ensuite numérisés en vue des analyses ultérieures. Lors des dernières campagnes, l'utilisation d'une caméra vidéo HD, a permis d'emblée d'obtenir des enregistrements numériques.

2.3. Calendrier des travaux et bilan des données acquises

L'ensemble des travaux réalisés et des données collectées sur le secteur de Morlaix lors des différentes campagnes de terrain est résumé dans le tableau 3 :

Campagne	Période sur zone	Navire	Sonar (km)/SMF	Prélèvements Shipek	Prélèvements Hamon	Profils vidéos
REBENT 17	19/04 au 23/04/2008	Thalia	224/224	31	-	3
REBENT 18	17/05 au 25/05/2009	Thalia	130/247	18	24 (x3)	25
REBHALIO2	28/06 au 14/07/2009	Haliotis	469	18	-	-
IFR-NEOMYSIS	01 et 02/10/2009	Neomysis	-	53	-	12
BIO-NEOMYSIS	12 et 22/03/2010	Neomysis	-	-	12 (x3)	-
IFR-MORLAIX-HD	16 et 17/05/2010	Thalia	-	-	-	18
IFR-MORLAIX-HD2	29 et 29/06/2010	Neomysis	-	-	-	19

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

2.4. Analyses bathymétriques et morphosédimentaires

2.4.1. Analyse bathymétrique des données acoustiques

La procédure de post-traitement réalisée à partir de Caraibes 3.6 est décrite dans la fiche technique sur les sondeurs multifaisceaux (*cf.* <http://www.rebent.org/documents/>) et sur le site web www.ifremer.fr/flotte/equipements_sc/logiciels_embarques/caraibes. Au post-traitement, des grilles de sondes de 1x1m, 3x3m et 5x5m ont été générées avec le logiciel Caraibes 3.6 pour les données de l'EM1000 et jusqu'à 50 cm pour les données d'Haliotis. La précision en z est de l'ordre 30 cm. Les MNT sont rejoués sous ArcGIS 10 (© Esri) et Fledermaus 7 (© IVS 3D) pour mieux interpréter l'imagerie acoustique et la morphologie des fonds (fig. 36).

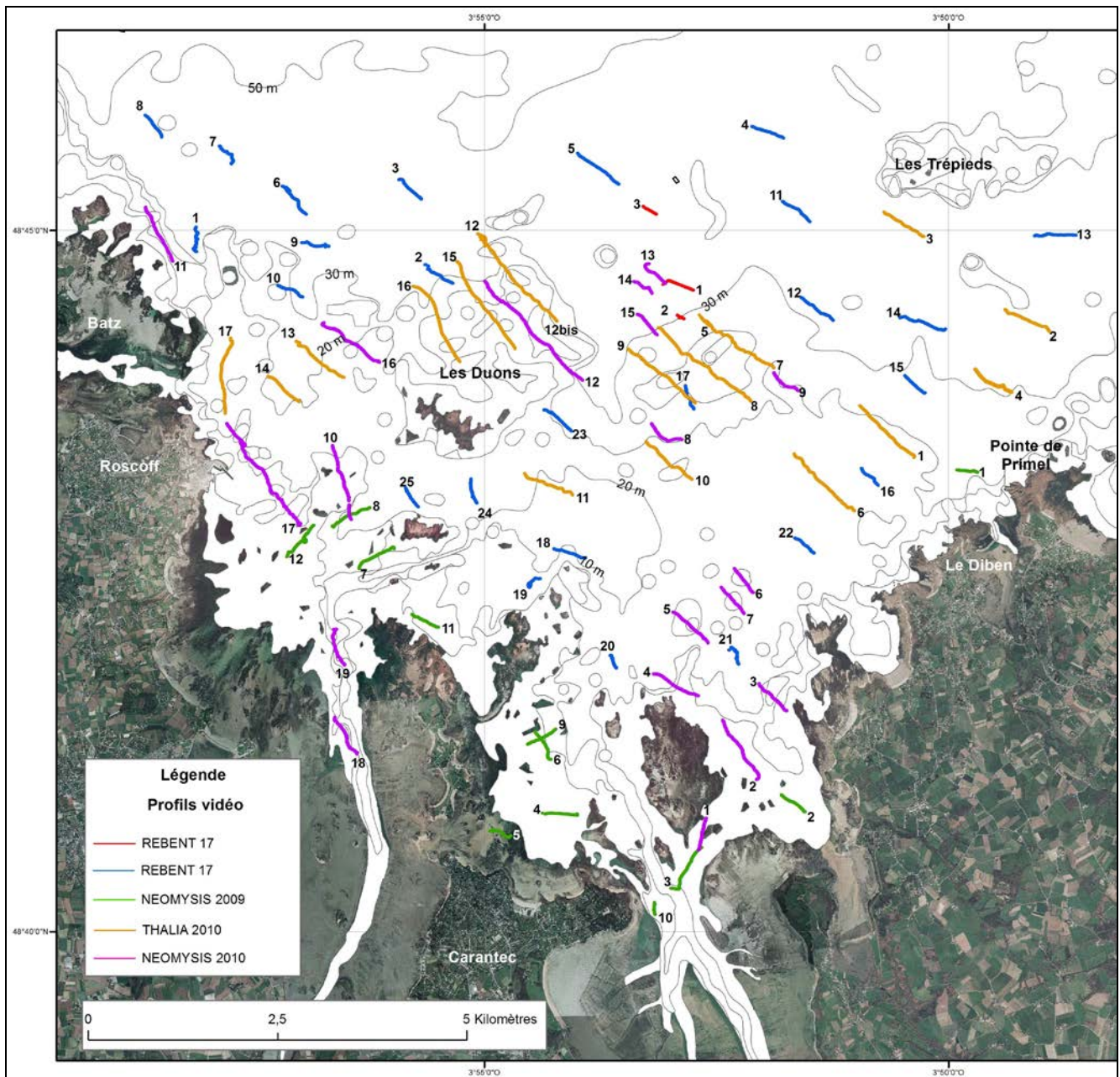


Figure 35 : Carte de positionnement des profils de vidéo sous-marine

2.4.2. Analyse et interprétation des données sonar

(cf. <http://www.rebent.org/documents/>)

L'ensemble des traitements est réalisé dans Caraibes 3.6

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 3.6) permet également de recalibrer certains tronçons de la navigation par rapport à des objets parfaitement positionnés sur le fond (plateaux rocheux, épaves), soit à partir des données bathymétriques du sondeur multifaisceaux, soit à partir de l'imagerie du même sondeur ou d'un autre capteur mis en œuvre pendant la mission. Au demeurant, le résultat en termes de calage des images sonar, varie de quelques mètres à

une vingtaine de mètres, du fait de l'orientation oblique des profils par rapport aux courants dominants sur le secteur.

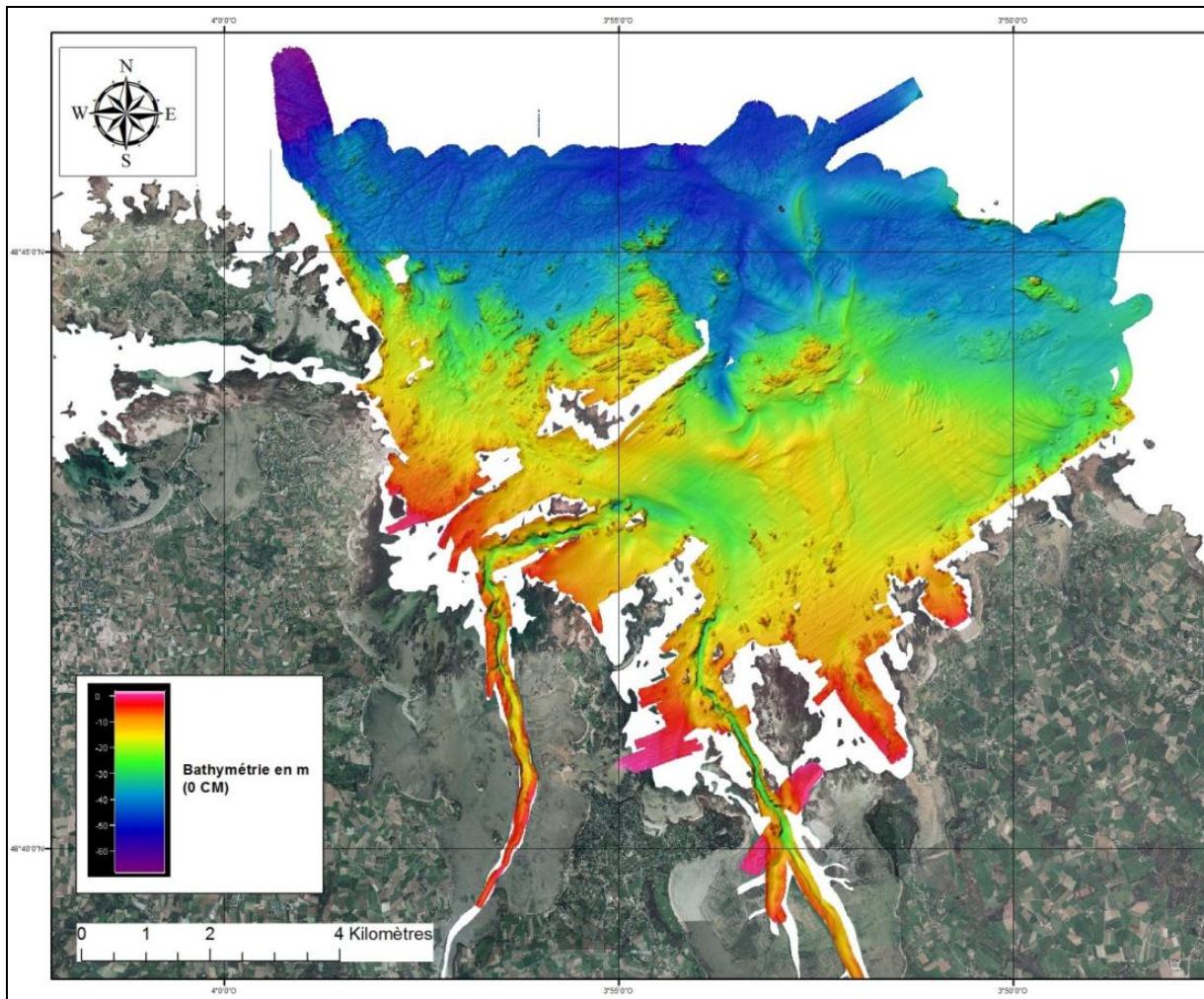


Figure 36 : Morphologie des fonds de la baie de Morlaix (synthèse des sondes Thalia et Haliotis)

2.4.2.2. Traitement des données sonar

Il s'agit de traiter chaque profil dans une chaîne de traitements spécifiques du logiciel Caraibes 3.6 (fig. 37). Les données sonar sont par ailleurs compensées afin de réduire l'hétérogénéité entre les deux voies d'émission et de réception (babord et tribord) et entre les différents sonars utilisés. 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

Les données du sonar interférométrique ont été traitées et normalisées uniquement à partir du logiciel Geotexture (©KONGSBERG GEOACOUSTICS LTD), pour des raisons de commodités, avant d'être interprétées et assemblées sous ArcGis aux données sonar du DF1000.

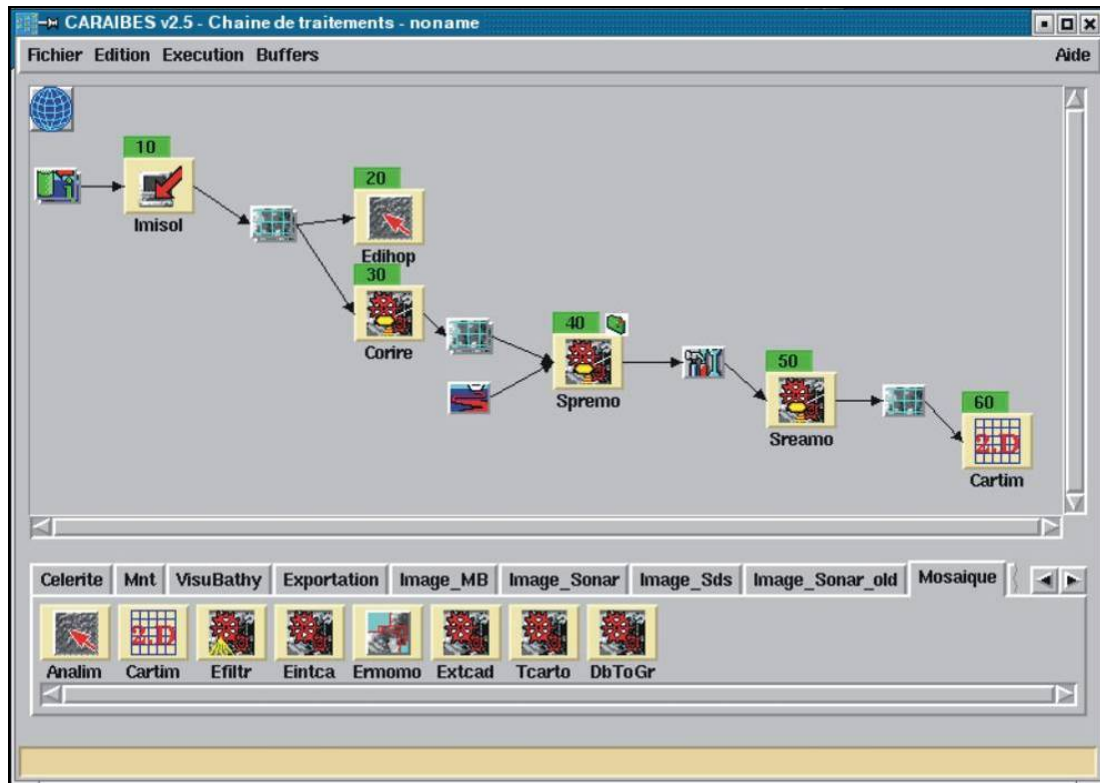


Figure 37 : Chaîne de traitements des données sonar dans Caraibes 3.5

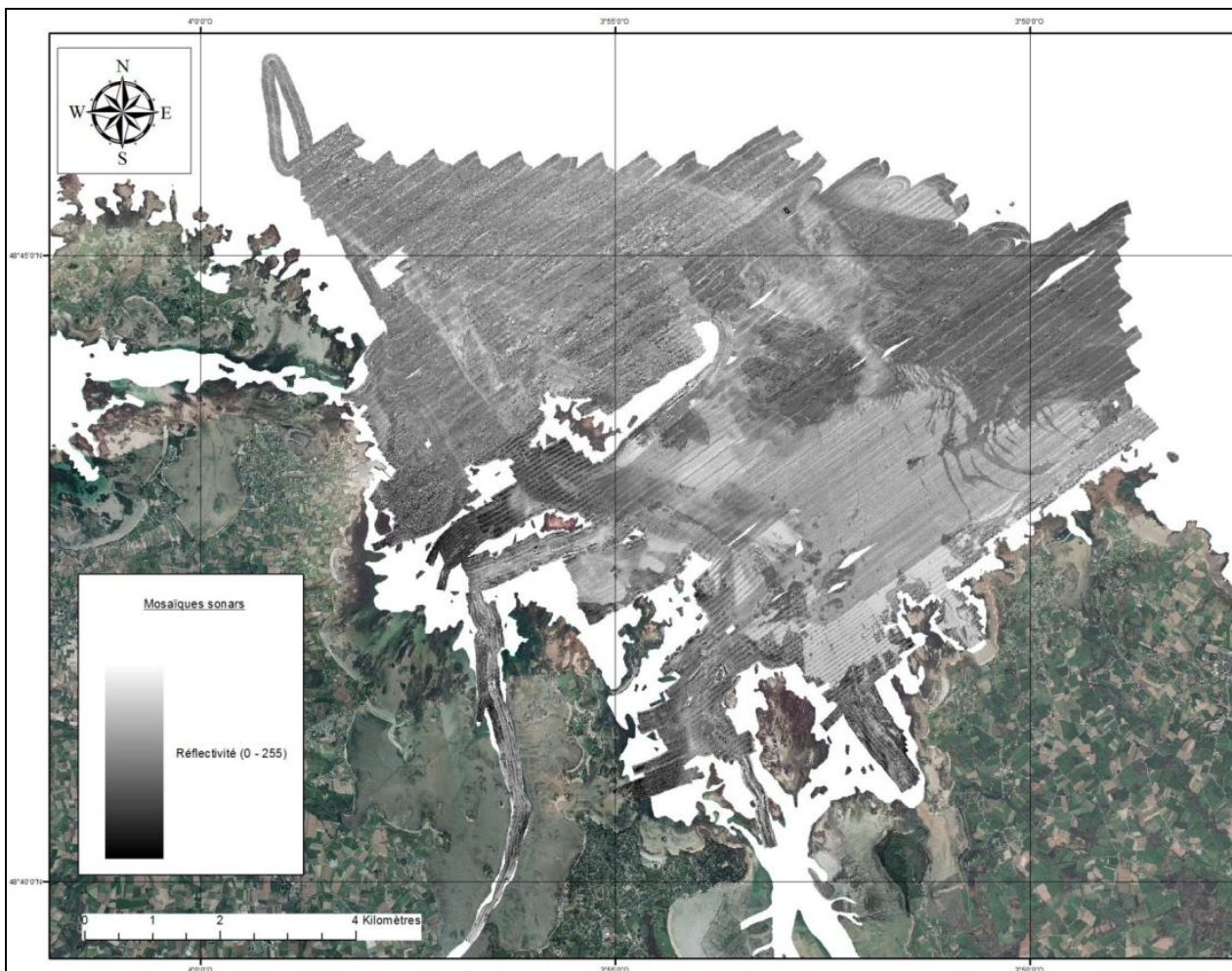


Figure 38 : Mosaïque sonar sur la zone d'étude

2.4.2.3. Interprétation des mosaïques de réflectivité

Les mosaïques à la résolution de 50 cm (fig. 38) sont importées dans un SIG (ArcGis © Esri) afin d'y être interprétées. La première étape consiste à vectoriser au 1/2000^{ème}, dans la projection de la mosaïque, les contours délimitant les principales classes acoustiques au nombre de 16 pour le large et 17 à la côte sur le secteur de Morlaix (tabl. 4 et 5) et les figures sédimentaires (banc de sable, dunes hydrauliques, sillons d'érosion ...). Ces dernières sont des objets géologiques remarquables qui permettent de caractériser la dynamique sédimentaire résiduelle 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 et retours avec les bandes sonar papier imprimées à bord ou avec l'impression des mosaïques au 1/5000^{ème}, 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 texture n'est pas toujours aussi facile du fait des effets de lissage ou de rehaussement de contrastes effectués en amont dans les modules de traitements. En raison des fréquences différentes pour les deux sonars utilisés (100 et 250 kHz), ce dépouillement a été réalisé indépendamment, l'un de l'autre.

La deuxième étape consiste à identifier les signatures acoustiques en termes de nature de fond (granulométrie, morphologie). Elles ont été calibrées à partir des observations du fond par prélèvements et images vidéo. Chaque faciès au DF1000 ainsi reconnu est décrit dans une fiche récapitulative type (cf. annexe 3) 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. chapitre 2.4.4)

La principale difficulté demeure l'interprétation biologique et/ou sédimentaire des signatures acoustiques détectées par le capteur. Les phénomènes observés sont physiquement très complexes du fait de la morphologie et de la rugosité du fond, de la granularité des particules sédimentaires, de la nature du fluide interstitiel (Garlan, 2004), des communautés biologiques qui s'y développent, et d'une investigation imparfaite par les systèmes acoustiques (Lurton, 1998). Même si, en théorie, un fond sédimentaire meuble (vase) renvoie moins d'énergie qu'un fond rocheux ou caillouteux, du fait de son faible contraste d'impédance avec l'eau et de la régularité de l'interface, la calibration par les observations est indispensable à l'expertise géologique des données acoustiques. L'expérience montre que la panoplie de signatures sonar est vaste, souvent résumées à un nombre limité de faciès bio-morphosédimentaires, faute d'une calibration exhaustive du fait des contraintes de la mission et des limites propres à l'échantillonnage à la benne. La granulométrie ne permet pas toujours, à elle seule, d'expliquer l'origine des faciès détectés (Ehrhold, 1999), la morphologie du fond est aussi importante à prendre en compte. En baie de Concarneau, une vase graveleuse assez compacte, colonisée par *Maldane glebifex* aura une réponse très proche, en terme de niveau de gris, d'un gravier hétérogène en baie de Quiberon (Ehrhold *et al.*, 2007).

Classe	Niveau de gris	Texture	Faciès acoustique	Classification sédimentaire (Code sédim2)	% carbonate	Médiane (mm)	Code eunis	Typologie
I	blanc	ridée		Sable moyen	57	0,266	S&mS	I
II	gris pâle	homogène	1a	Sable fin	57	0,216	S&mS	II1a
			1b	Sable moyen	68	0,344	S&mS	II1b
			1c	Sable grossier	30	0,765	S&mS	II1c
		rubanée	2	Sable graveleux coquillier	68	0,277	Cs	II2
III	gris moyen	homogène	1a	Sable fin	65	0,193	S&mS	III1a
			1b	Sable gravelo-vaseux	76	0,298	Ms	III1b
		ridée	2	Sable gravelo-vaseux	83	0,283	Cs	III2
IV	gris sombre	homogène	1a	Gravier sableux	48	2,075	Cs	IV1a
			1b	Gravier vaso-sableux	50	1,942	Mx	IV1b
		ridée	2a	Gravier sableux	72	2,705	Cs	IV2a
			2b	Cailloux graveleux	50	10,633	Cs	IV2b
			2c	Gravier sablo-vaseux	58	2,133	Ms	IV2c
V				Roche discontinue				
VI			1	Roche massive				
			2	Roche sub-affleurante				

Tableau 4 : Liste des faciès reconnus et calibrés sur les mosaïques DF1000 du secteur d'étude

Classe	Niveau de gris	Texture	Faciès acoustique	Classification sédimentaire (Code sédim2)	% carbonate	Médiane (mm)	Code eunis	Typologie
1	Gris pâle	homogène	a1	Sable fin	51	0,207	S&mS	1a1
			a2	Sable très fin vaseux	33	0,129	Mx	1a2
		hétérogène	b1	Vase sableuse	10	0,184	Mx	1b1
			b2	Sable fin	5	0,238	S&mS	1b2
		ridée	c	Sable grossier graveleux	71	1,194	Cs	1c
2	Gris moyen	homogène	a1	Sable grossier graveleux	62	1,409	Cs	2a1
			a2	Gravier sablo-vaseux	64	1,967	Mx	2a2
		hétérogène	b	Sable moyen vaseux	19	0,291	Cs	2b
		ridée	c	Sable grossier graveleux	20	1,019	Cs	2c
3	Gris sombre	homogène	a1	Gravier sablo-vaseux	44	1,713	Mx	3a1
			a2	Cailloux graveleux	38	11,897	Ms	3a2
		hétérogène	b	Vase sablo-graveleuse	52	0,124	Mx	3b
		ridée	c1	Graviers caillouteux	77	3,424	Cs	3c1
			c2	Sable graveleux	50	1,695	Cs	3c2
4				Roche discontinue				
5			a	Roche massive				
			b	Roche sub-affleurante				

Tableau 5 : Liste des faciès reconnus et calibrés sur les mosaïques GeoSwath du secteur d'étude

2.4.3. Analyses des données RoxAnn

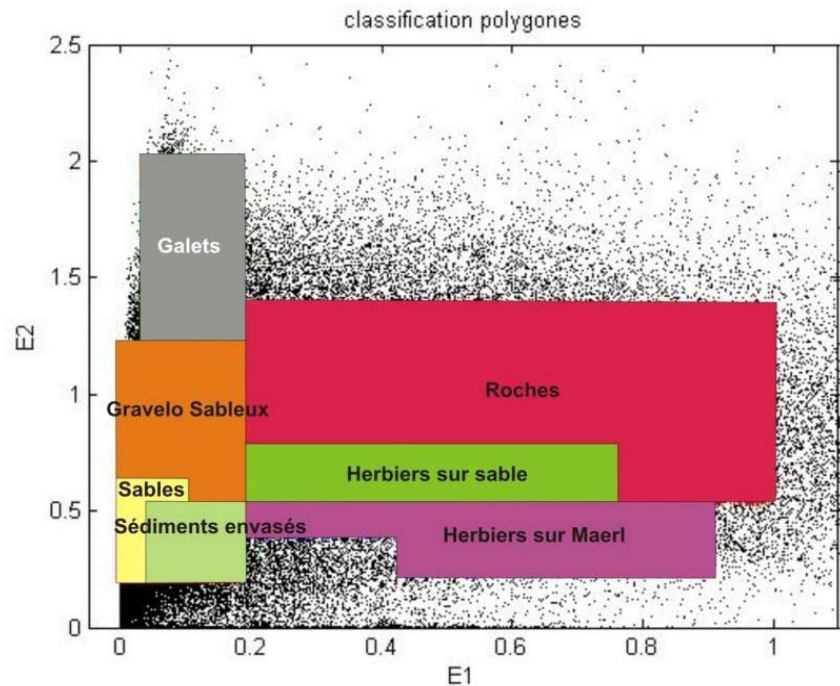
Les données RoxAnn de la mission RebHali02 ont été analysées, d'une part pour aider à l'interprétation des faciès acoustiques, mais également pour examiner la capacité de ce système à détecter la présence de laminaires sur les fonds rocheux ou d'herbiers sur les fonds meubles (Monpert, 2010). Les couples E1/E2 ont été traités selon une méthode de classification supervisée à partir de la bibliothèque des données d'observations de terrain (prélèvement et vidéo). La campagne IFR-MORLAIX-HD2 a permis, par exemple, d'isoler deux catégories se rapportant aux herbiers de zostères sur sable et sur maërl, à l'est de Callot.

21 classes morpho-sédimentaires ont été ainsi retenues dans un premier temps (fig. 39a). Les données RoxAnn, à proximité des prélèvements, ont été sélectionnées sous ArcGIS 9.2 dans le périmètre de polygones s'appuyant sur l'imagerie sonar. Chaque polygone est caractérisé par une valeur moyenne du couple E1/E2 et de son écart type, calculés sous MATLAB. Ainsi, à chaque type de fond est associé un ensemble dans le diagramme E1/E2 global. Le résultat montre un recoupement important des sous-ensembles impliquant la nécessité de lisser les compositions de types de fond par regroupement de sédiments proches selon leur composition.

La classification a donc été simplifiée dans un second temps à 12 classes (fig. 39a). En reportant spatialement le résultat de cette classification, l'emprise de plusieurs classes est trop faible pour être réellement significative. Le choix a été arrêté sur une classification à 7 classes (fig. 39a et b et 40), plus cohérente avec la classification non supervisée du constructeur et la fréquence du sondeur du bord (120 kHz).

Vase		
Sédiments envasés fin	Vase	
Sédiments grossier envasé		Sédiment envasé
Sédiments grossier un peu envasé	Fin à grossier envasé	
Majorité de Maërl		
Sédiments fins homogènes		
Sédiments fins avec quelques coquilles	Sable fin	
Mouture de coquilles		Sable
Coquilles mal cassées + sable	Sable	
Coquilles		
Sédiments grossiers sableux homogènes	Sable graveleux	
Gravillons		Gravelo sableux
Mélange gravelo-sableux		
Graviers sableux	Gravelo-sableux	
Mégarides		
Crépidules	Crépidule	
Herbier sur Maërl	Herbier sur Maërl	Herbier sur Maërl
Herbier sur sable	Herbier sur sable	Herbier sur sable
Galets	Galet	Galet
Roches	Roche	Roche
Inconnue	Inconnue	Herbier sur sable

(a)



(b)

Figure 39 : (a) Etapes de simplification des catégories de types de fonds et (b) représentation de la classification finale dans le diagramme E1/E2 (modèle à 7 classes)

Au final, 14% de données ne sont pas classées. Ceci est dû au mode de détermination de classes choisies (classification selon des boîtes dont les limites proviennent de l'approche statistique) et de la qualité de l'acquisition du système RoxAnn (instabilité de E1 et E2 due à la vitesse du bateau, aux conditions de mer, etc...) (Foster-Smith *et al.*, 1999 ; Hamilton, 2001).

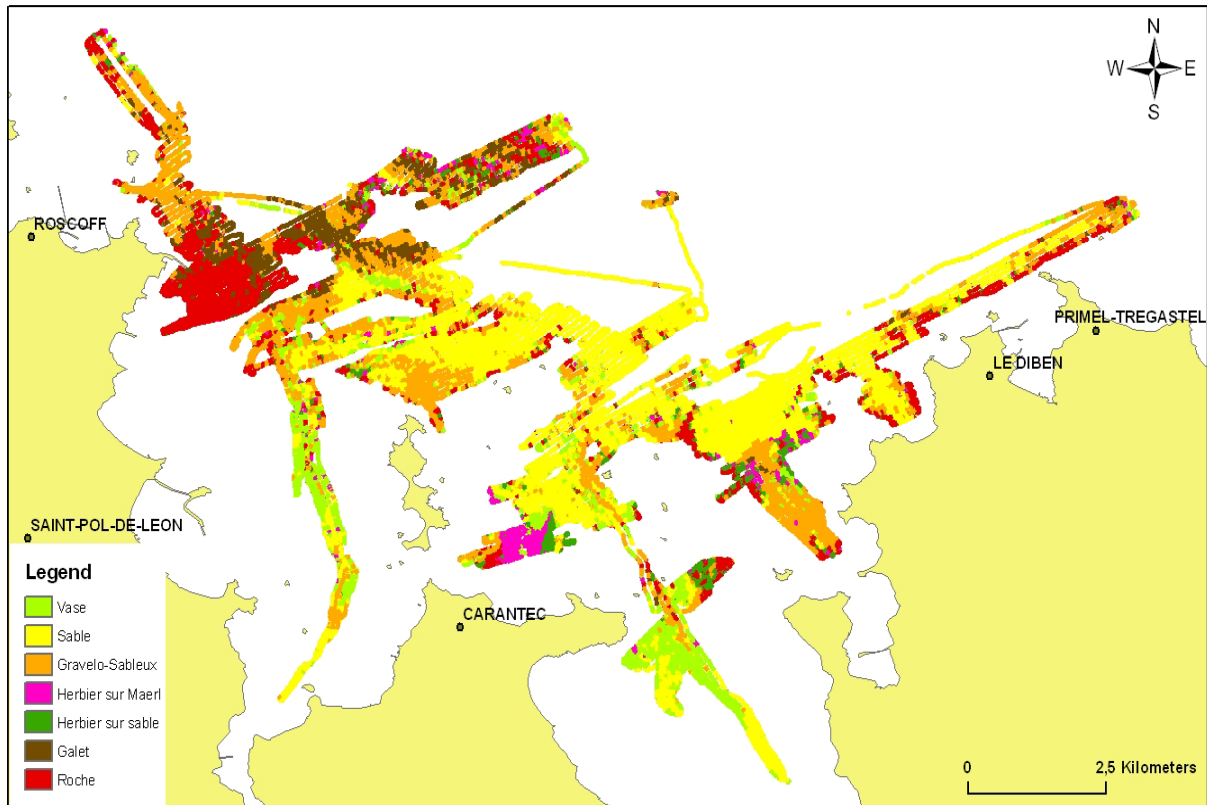


Figure 40 : Classification RoxAnn des types de fond dans la zone levée par Haliotis

Ces données non qualifiées sont dispersées géographiquement et ne semblent pas avoir d'impact sur le résultat. Concernant les zones de roches, la classe RoxAnn "Roches" se corrèle spatialement très bien avec les limites du faciès acoustique sonar sur les mosaïques, et les vases se cantonnent principalement aux deux principales rivières qui se jettent dans la baie.

Le second objectif a été de chercher la sensibilité du système RoxAnn à la présence de grandes algues colonisant les roches de la baie. Les données de vidéo sous-marine ont été utilisées pour vérifier les résultats de la classification. La zone au sud du port du Blosson a été choisie comme site d'expérimentation. La première étape consiste à s'assurer que le système RoxAnn travaille bien sur le haut de la canopée et non sur le fond. Il s'agit donc de comparer le MNT obtenu par l'écho-intégration (sondeur ER60) avec le MNT obtenu avec le système RoxAnn (valeur de sonde calculée par RoxAnn). Aucune différence entre les deux surfaces n'a été mise en évidence, suggérant bien que le système RoxAnn travaille sur le signal algal. Un calcul des paramètres E1/E2 sur les zones végétalisées a permis d'isoler un sous-ensemble algal dans le polygone rocheux et à extrapoler à l'ensemble des petits fonds cartographiés avec la vedette (fig. 41 et 42). Un ensemble distinct se différencie bien dans le diagramme E1/E2 (fig. 41b) mais dans certaines zones, la présence de laminaires est surestimée au regard des observations de terrain. En effet, d'autres facteurs interviennent sur l'installation et le développement des grandes algues brunes (profondeur, turbidité, etc...) que la simple nature des fonds.

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, gravier, sable, sable fin, 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/FDIS 16665 (2005) sur le traitement des échantillons de la macrofaune des sédiments meubles.

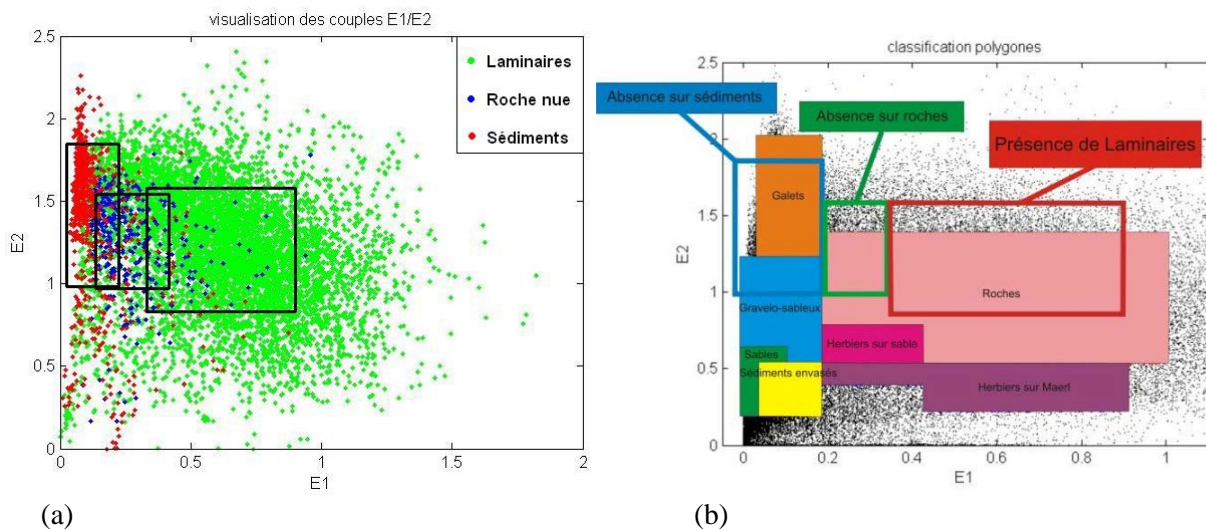


Figure 41 : (a) Visualisation des couples E1/E2 sur la zone d'expérimentation (a) et de leur représentation dans le diagramme global (b)

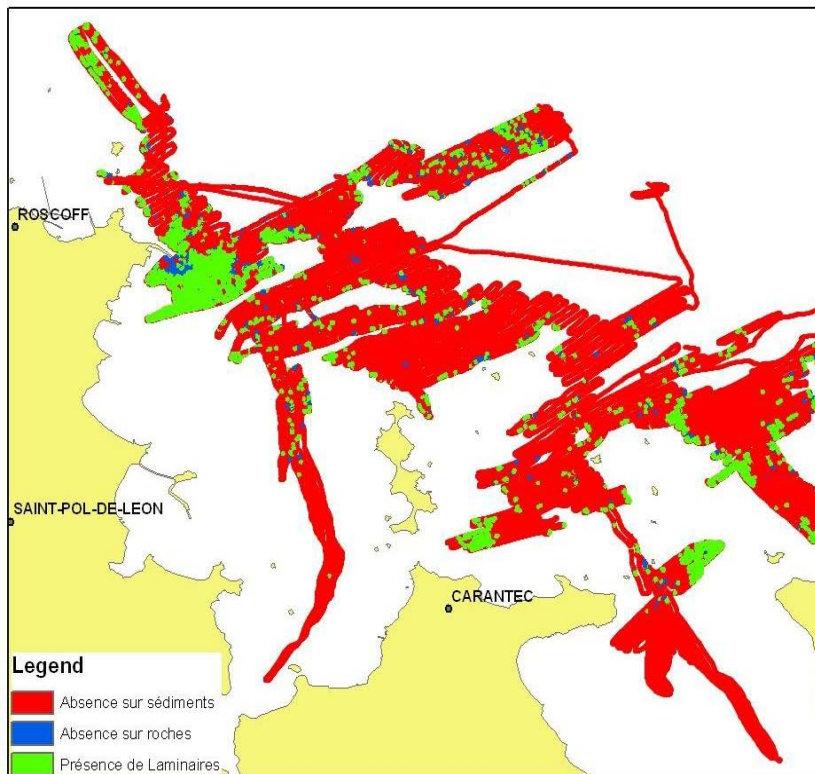


Figure 42 : Extrapolation des roches colonisées par les laminaires à l'ensemble des petits fonds

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°C, pendant 24 heures. Une fraction de l'échantillon (environ 300 g) est lavée sous l'eau, sur 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 ultrasons. Le taux de carbonate n'a pas été mesuré. Pour certains échantillons, le pourcentage en matière organique a été mesuré par la technique de la perte au feu (incinération à 450° pendant 4h). 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 (cf. annexe 4). Pour ce secteur uniquement, une renumérotation des échantillons a été nécessaire. Chaque prélèvement se réfère donc à une numérotation prévisionnelle, faite à bord, et à celle effectuée ultérieurement au laboratoire.

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 de la Manche (Vaslet *et al.*, 1979) 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 (cf. annexe 5). 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. 43), 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 sables vaseux, vases et vases sableuses).
 - 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.43).
 - la classification d'ordre III, selon le diagramme triangulaire (gravel, sand, mud) de Folk (1954) qui différencie 15 types de sédiments (fig. 43).

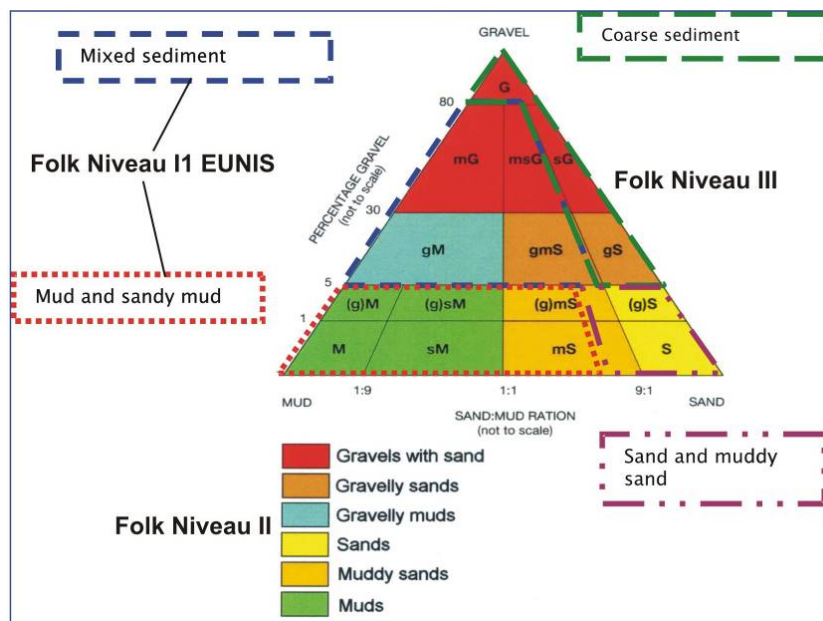


Figure 43 : Classification sédimentaire selon Folk (1954)

2.5. Analyses biologiques

2.5.1. Tri et analyse taxonomique des échantillons

Au laboratoire, les refus de tamis (2 mm) des échantillons biologiques sont triés et les individus de macrofaune sont identifiés, dans la mesure du possible au niveau spécifique, et dénombrés. Cependant, compte tenu du mauvais état de certains individus, ou bien de la difficulté à déterminer certains groupes après leur séjour dans un fixateur, seul le nom de genre ou de la famille est alors mentionné.

La classification des espèces suit celle proposée par le World Register of Marine Species (WoRMS), disponible sur le site : www.marinespecies.org. Aucune estimation de biomasse n'a été réalisée.

2.5.2. Traitement 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 et de les caractériser. Différentes analyses univariées et multivariées ont ainsi été appliquées aux données faunistiques afin de caractériser au mieux les entités biomorphosédimentaires.

2.5.2.1. Analyses univariées

La richesse spécifique (S) est représentée par le nombre total ou moyen d'espèces recensées par unité de surface (par réplikat, par station ou pour l'ensemble des stations d'un peuplement ou d'un faciès).

L'abondance (A) se définit comme le nombre total ou moyen d'individus d'une espèce par unité de surface (par station de 3/8m² ou par m²)

Le coefficient de dominance-présence DxP, proposé par Glémarec en 1963, permet de comparer l'importance des espèces entre elles dans un même habitat et entre les habitats. L'identification des espèces qui sont le mieux représentées dans les peuplements considérés tient compte, à la fois des espèces présentes en fortes densités (données d'abondance), et celles qui y sont présentes régulièrement, sans pour autant être représentées nécessairement par de fortes densités (données d'occurrence).

L'obtention des valeurs du coefficient DxP nécessite quelques calculs intermédiaires :

- la fréquence de l'espèce *i* dans l'entité *A* qui est donnée par le pourcentage du nombre de stations de *A* où l'espèce est présente. C'est un indice de fidélité de l'espèce pour cette entité.

$$F(i) (A) = 100 \times \text{Nb}(i) (A) / \text{Nb}(A)$$

- le coefficient de présence de l'espèce *i* dans l'entité *A* est le pourcentage représenté par la fréquence de cette espèce dans *A*, par rapport à la somme de ces fréquences dans chaque entité.

$$P(i) (A) = 100 \times F(i) (A) / \sum F(i)$$

- le coefficient de dominance de l'espèce *i* dans l'entité *A* est le rapport entre l'effectif de cette espèce dans l'entité *A* et l'effectif total des individus de cette entité.

$$D(i) (A) = N(i) (A) / N(A)$$

Les espèces "leaders" sont déterminées par rapport à une valeur du coefficient DxP supérieure à une valeur seuil. Cette valeur seuil est définie de façon à obtenir une description précise des peuplements de chaque entité. Ces espèces peuvent être relativement rares, avoir des abondances similaires mais une fidélité à un type d'habitat, ou bien des fréquences homogènes, mais des abondances marquées pour un type de milieu.

Afin d'identifier au mieux les espèces caractéristiques de chaque peuplement, en complément du calcul du coefficient DxP, l'indice IndVal a été utilisé (Dufrêne et Legendre, 1997).

L'indice IndVal repose sur la moyenne des abondances des espèces et leur fréquence relative d'occurrence.

Pour chaque espèce i , dans chaque groupe j de stations, on calcule le produit de A_{ij} , soit la moyenne des abondances de l'espèce i dans le groupe j de stations par rapport à l'ensemble des groupes, par B_{ij} , soit la fréquence relative d'occurrence de l'espèce i dans le groupe j de stations.

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

avec : $A_{ij} = N_{\text{individus}_{ij}} / N_{\text{individus}_i}$ et $B_{ij} = N_{\text{sites}_{ij}} / N_{\text{sites}_j}$

Cet indice est maximum (100%) si une espèce n'est présente que dans un groupe de stations et dans toutes les stations de ce groupe. Plus l'indice IndVal est élevé plus l'espèce est indicatrice de ce groupe de stations.

Les autres indices utilisés dans cette étude sont l'indice H' de diversité de Shannon et l'indice J' d'équitabilité de Pielou (1966).

L'indice de diversité de Shannon est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S ((Ni / N) \times \log_2(Ni / N))$$

avec : N l'effectif total de l'échantillon et Ni l'effectif de l'espèce i dans l'échantillon.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont la même abondance) (Grall et Coic, 2006)

L'indice de Shannon est souvent accompagné de **l'indice d'équitabilité J' de Pielou** (1966).

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

Cet indice mesure la répartition entre la diversité (H') et la diversité maximale théorique dans le peuplement (H'_{max}) et varie entre 0 et 1. Il est minimal lorsqu'une seule espèce domine le peuplement et maximal quand les espèces ont des abondances identiques. Insensible à la richesse spécifique, cet indice est utile pour comparer les dominances potentielles entre stations ou entre dates d'échantillonnage.

Le regroupement des espèces en groupes trophiques constitue une approche complémentaire à l'étude des peuplements ou faciès, basée sur leur composition spécifique. Les espèces sont regroupées en unités fonctionnelles en se basant sur leur régime alimentaire. Cependant, cette démarche n'est pas toujours aisée. En effet, l'information sur le régime trophique de chaque espèce n'est pas toujours disponible et l'extrapolation de son régime trophique à celui du taxon auquel elle appartient peut être source d'erreur. De plus, il existe une certaine flexibilité dans le régime trophique des espèces, liée aux variations des conditions environnementales et/ou l'âge des individus.

La classification en groupes trophiques reprend sept des huit groupes définis par Grall (2002) d'après les travaux de Hily et Bouteille (1999) et codés de 2 à 9 (tabl. 6).

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

Tableau 6 : Groupes trophiques pris en compte

2.5.2.2. Analyses multivariées

La Classification Hiérarchique Ascendante (CAH). A partir d'une matrice croisée des abondances moyennes des espèces/stations, la classification hiérarchique ascendante consiste à regrouper les stations selon leur pourcentage de similarité. La similarité entre chaque paire de stations est calculée à partir du coefficient de similarité de Bray-Curtis avec la technique de regroupement agglomératif moyen. Pour cette étude, la matrice utilisée tient compte de tous les taxons identifiés et de leur abondance, y compris les espèces rares.

Cette classification hiérarchique ascendante permet d'obtenir un dendrogramme où l'axe des x représente l'ensemble des stations et celui des y définit le niveau de similarité (exprimé en %). Cette analyse a été couplée à un test de similarité SIMPROF (Clarke *et al.*, 2008) qui permet de définir le seuil maximal à partir duquel on ne peut séparer les stations pour un groupe donné.

Afin de vérifier la pertinence des discontinuités mises en évidence dans le dendrogramme, la méthode d'ordination MDS est appliquée.

Le positionnement multidimensionnel (MDS = Multi Dimensional Scaling) repose sur une matrice symétrique contenant des rangs de distances entre des stations et permet d'obtenir une représentation de ces stations dans un espace à n dimensions. La proximité entre deux stations reflète leur similarité. La représentation est évaluée par le "Stress de Kruskal".

En fonction de la valeur du stress on estime :

- $> 0,5$: la représentation est probablement aléatoire,
- entre 0,5 et 0,25 : la qualité de la représentation est médiocre,
- entre 0,1 et 0,25 : la représentation est satisfaisante,
- $< 0,1$: la représentation est excellente.

Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel PRIMER version 6.1.13

2.6. Analyses des données vidéo

Les enregistrements vidéo sont analysés en vue de préciser la nature et la morphologie des fonds, et de renseigner sur les peuplements animaux et végétaux épibenthiques.

Une première étape a consisté, pour les 77 profils réalisés, à effectuer les captures d'images de bonne qualité illustrant les composantes morpho-sédimentaires et biologiques des fonds reconnus ; ainsi 4 153 captures ont été réalisées.

A partir de ces captures d'images, une première description sommaire des fonds a pu être entreprise pour l'ensemble des profils. Les résultats de cette analyse font l'objet des annexes 11 et 12 qui comportent une sélection d'images en appui du texte.

Une analyse détaillée a en outre été effectuée sur une sélection de 28 profils (tabl. 7), correspondant à une durée totale d'enregistrement de près de 11h30'. Pour chacun des profils, un tableau Excel rassemble, toutes les deux secondes, les informations suivantes :

- les références du point d'observation (coordonnées géographiques, heure, time-code)
- la qualité de l'observation (satisfaisante, passable, médiocre, très médiocre, quasi-nulle, nulle)
- la nature du fond
- la morphologie du fond (type et polarité des formes sédimentaires)
- la macroflore (au niveau spécifique ou des grands groupes d'espèces)
- la macrofaune (dénombrement au niveau spécifique pour les espèces aisément identifiables)
- des commentaires annexes.

Les tableaux ainsi constitués sont exploitables sous ArcGIS et il est alors possible, pour les différentes rubriques considérées, d'obtenir une représentation graphique linéaire. Ceci a été particulièrement utile pour aider à l'interprétation morpho-sédimentaire des faciès acoustiques.

Seuls quelques résultats sont ici rapportés, à titre d'exemple (*cf.* annexe 13). Une analyse plus approfondie du volume conséquent de données ainsi obtenues pourra ultérieurement être entreprise.

Mission	Profil	Durée d'enregistrement (seconde)
REBENT 17 – Avril 2008	01, 02, 03	1 790
REBENT 18 – Mai 2009	01, 04, 05, 06, 07, 14, 18	6 532
NEOMYSIS – Octobre 2009	02, 03	2 240
THALIA – Mai 2010	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 17	15 942
NEOMYSIS – Juin 2010	01, 04, 11, 12, 16, 19	14 877

Tableau 7 : Profils vidéo ayant fait l'objet d'une analyse détaillée (toutes les deux secondes).

Une autre forme d'exploitation des données vidéo a consisté à estimer l'importance relative des principales espèces (ou groupes d'espèces) végétales et animales pour l'ensemble des 77 profils. Ceux-ci n'étant pas de même longueur, les résultats sont rapportés à la centaine de mètres, avant d'élaborer les cartes de distribution faisant l'objet de l'annexe 14. A noter que divers biais (qualité d'image inégale, hauteur du bâti variable, sous-estimation de certaines espèces animales sous couvert végétal...) entachent la précision des résultats.

Il convient de souligner que l'objet n'était pas de mener une étude fine des fonds rocheux, auquel cas il aurait été nécessaire de mettre en place une stratégie mieux adaptée.

3. Résultats

3.1. Les principaux types de substrat

L'interprétation des données sonar calibrées par les observations de terrain (prélèvements sédimentaires et observations sous-marines par vidéo) a permis de dresser un "portait" morpho-sédimentaire détaillé des fonds marins de cette région (fig. 44). L'ensemble des facteurs décrits dans le chapitre 1, notamment le relief sous-marin et la présence des deux rivières se jetant dans la baie, de part et d'autre de Carantec, conduit non seulement à une fragmentation importante de la distribution des sédiments mais également à une grande variété de mélanges sédimentaires. Dans ces conditions, si un gradient d'affinement des dépôts est observé du large vers la côte, rejoignant l'analyse faite par Beslier en 1981, les séquences sédimentaires demeurent en réalité très largement tronquées, aboutissant davantage à une mosaïque de faciès plus ou moins imbriqués qu'à une succession graduelle de dépôts sédimentaires, communément décrite dans d'autres baies de la façade Manche. Au total, 27 types de fond, dont 2 pour les substrats rocheux et 2 pour les herbiers ont été retenus pour représenter ce patchwork sédimentaire. Ils peuvent se classer selon les faciès suivants :

- Les dépôts grossiers détritiques relativement riches en éléments biogènes (litho-bio à bioclastiques). Ils sont constitués de mélanges de cailloutis, de graviers et de sables en proportions variables (8 classes, tabl. 8). Ils correspondent à toute la ceinture sédimentaire du large mais se retrouvent également à la côte, plus exactement en périphérie de l'île de Batz à Roscoff ou au pied des falaises entre Le Diben et Térénez.
- Les dépôts sableux riches en débris coquilliers, avec une concentration variable en gravier siliceux (4 classes, tabl. 8). Ces sédiments montrent une forte appétence à la mobilité en raison des conditions hydrodynamiques dans la baie, favorables à leur instabilité. Ils se réunissent localement pour former des bancs et des dunes sous-marines.
- Les dépôts phycogènes correspondant à l'accumulation de thalles morts de mélobésiés arbusculaires, mêlés à une proportion variable de thalles vivants et de sédiments en place. 5 classes ont été identifiées (tabl. 8), réparties pour l'essentiel dans la frange littorale jusqu'à 12 à 13 m de profondeur dans les zones les plus chenalisées. La définition maërl vivant ou mort n'a pas été retenue, l'analyse biologique ne portant pas spécifiquement sur ce peuplement. Des indices sont cependant fournis dans l'étude Hamon *et al.* (2010) pour deux régions de la baie (*cf.* annexe 7).
- Les sédiments envasés, depuis les sables vaseux jusqu'aux vases sableuses (8 catégories, tabl. 8). Ces dépôts occupent essentiellement le fond de baie, les chenaux et les berges en remontant les deux estuaires. Pour autant, au large les dépôts pélitiques se mélangent localement aux sédiments en place, le long des couloirs de vidange empruntés par les courants à marée basse ou à la faveur d'abris à l'aval de hauts fonds rocheux.

A	Sédiments grossiers	B	Sédiment sableux	C	Sédiment phycogènes	D	Sédiments vaseux
1	Cailloutis graveleux	1	Sable graveleux	1	Maërl sableux	1	Sable vaseux et graveleux
2	Cailloutis graveleux et sableux	2	Sable fin graveleux	2	Maërl sableux envasé	2	Sable vaseux
3	Cailloutis sableux et coquillier	3	Sable moyen à sable grossier	3	Sable et maërl	3	Zostère sur sable vaseux
4	Gravier caillouteux	4	Sable très fin à sable fin	4	Zostère sur sable et maërl	4	Sable fin vaseux
5	Gravier sableux			5	Sable et maërl envasé	5	Vase à crépidules
6	Gravier sableux et envasé					6	Vase et coquilles entières
7	Gravier coquillier					7	Vase sableuse et graveleuse
8	Gravier					8	Vase sableuse

Tableau 8 : Liste des catégories sédimentaires retenues pour l'étude

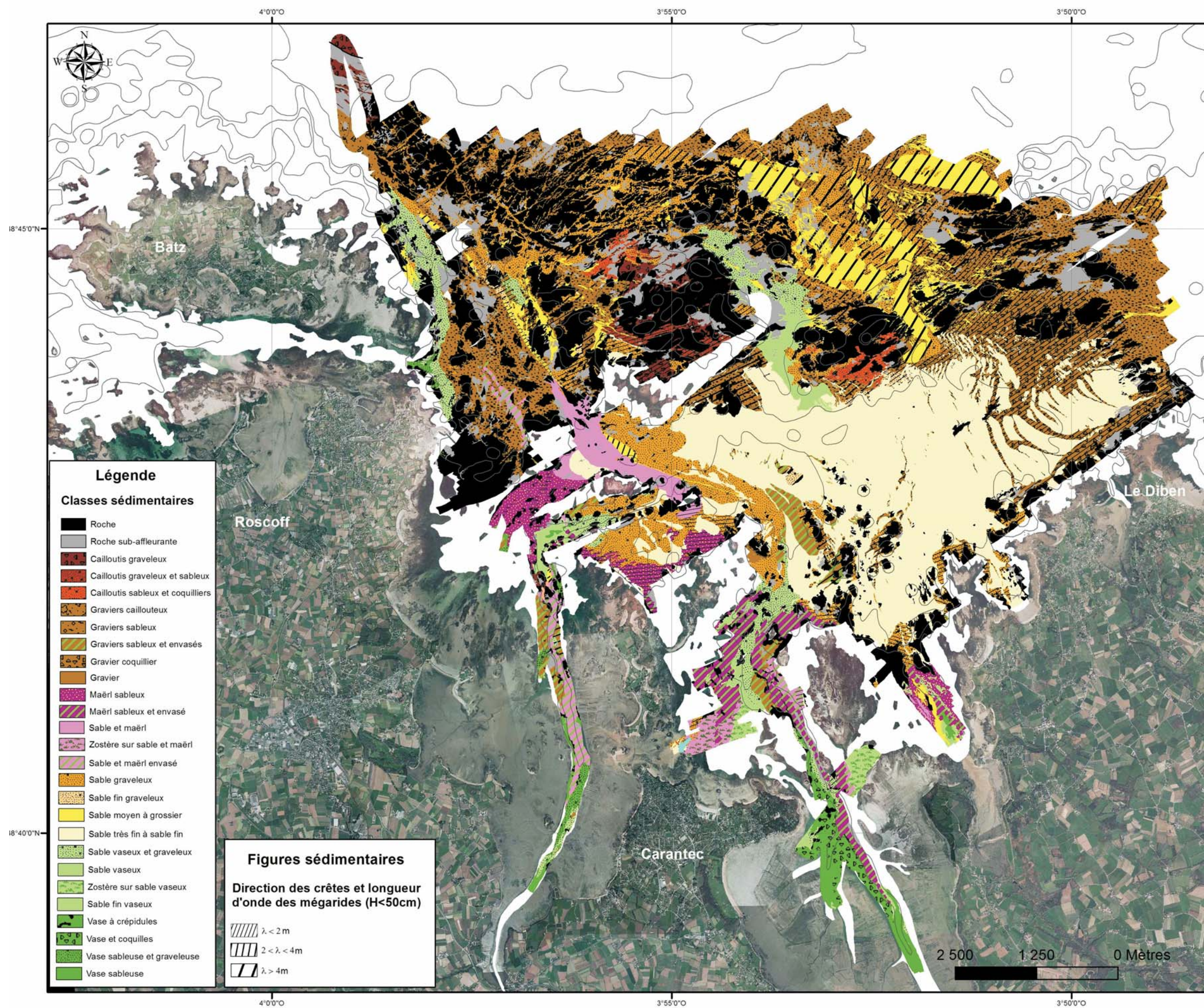


Figure 44 : Carte des natures de fond et de la distribution des mégarides dans le périmètre d'étude

3.1.1. Le substratum rocheux

Le socle antécambrien et paléozoïque de la Bretagne affleure sous la mer jusqu'à une profondeur d'environ 60 m. La répartition du socle rocheux constitue un véritable puzzle donnant une morphologie très irrégulière, constituée de "basses" et de roches isolées (fig. 45). Ce substratum rocheux affleurant et sub-affleurant, souvent associés à un cortège de blocs isolés ou en champs richement colonisés par l'épifaune (cf. chapitre 3.3), occupe l'essentiel des fonds de la moitié ouest de la baie, ne laissant place qu'à des couloirs de fracturation dans lesquels se sont déposés des sédiments souvent grossiers mal triés (blocs, cailloutis graveleux), riches en débris coquilliers. Localement, dans les corridors de transport du matériel sableux comme dans le chenal au nord de Roscoff ou dans le noroit du plateau des Duons (cf. chapitre 3.2), on observe une couverture mince de cailloutis ensablés et coquilliers, de mégarides mobiles ou de traînées sableuses à l'aval des reliefs rocheux. A la côte, les fonds rocheux disparaissent rapidement sous le prisme sableux (banc de Pierre Noire). Ils pointent très épisodiquement dans le prolongement des massifs littoraux sous la forme de massifs isolés, doublés fréquemment de marques d'affouillement à leur pied, notamment dans la partie orientale, et présentent quelques beaux faciès de déformations cassantes (failles) et de schistosité (fig. 5).

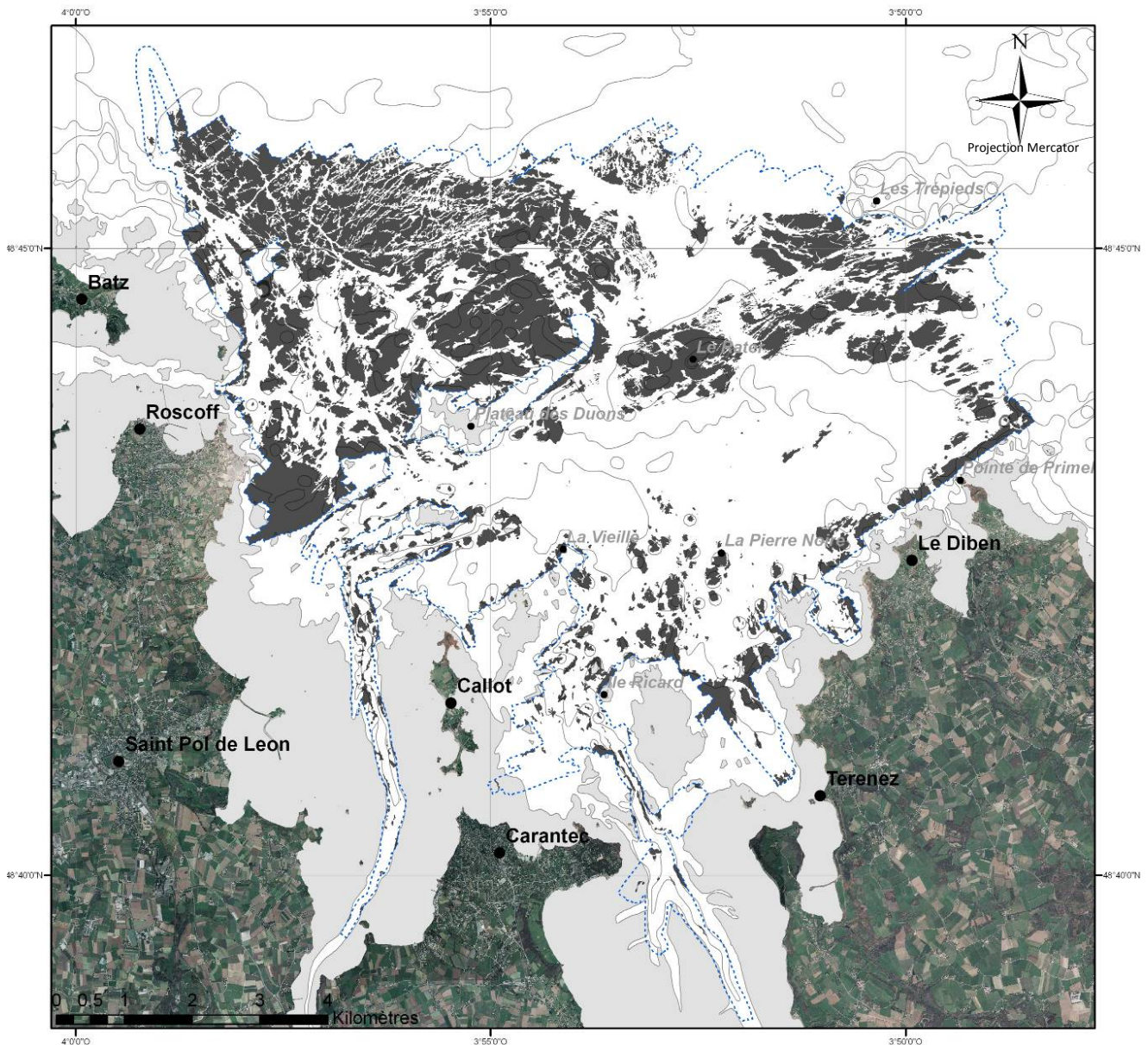


Figure 45 : Distribution des roches dans le périmètre de l'étude (les faciès de roches massives, discontinues et sub-affleurantes, sont ici confondus)

3.1.2. La couverture des formations superficielles meubles

3.1.2.1. Les dépôts grossiers détritiques et bioclastiques

Ces sédiments qui occupent toute la moitié nord de la baie sont associés au socle affleurant (fig. 46). Ils constituent pour partie la zone Ib des cailloutis du large définie par Cabioch (1968) au nord-est de Batz, très favorable à la production organogène issue de l'épifaune (fig. 47a) et les zones IIIb/IIIc à mélange hétérogène de graviers et de débris biogènes mal classés (fig. 47b et c). Quelques galets encroûtés ont été remontés dans le nord de Batz et ponctuellement dans les zones de roches fragmentées autour du Rater. Leur proportion peut-être parfois plus importante, comme le montrent les observations sous-marines (fig. 47e) et que ne le laissent imaginer les captures à la benne Shipek, mal adaptée pour prélever ce type de granulométrie.

La fraction graveleuse et caillouteuse est en grande partie constituée de coquilles entières ou brisées de bivalves, la fraction sableuse de débris de bryozoaires. Certains échantillons représentent de véritables accumulations de coquilles (thanatocénoses) prises dans une matrice sableuse, sorte de lumachelle actuelle. On peut observer ce faciès dans les sillons grossiers et dans la semelle sur laquelle reposent les barres sableuses perpendiculaires à la côte entre Le Diben et Térénez (fig. 47d et f).

La concentration en carbonate varie en moyenne de 25% dans les sédiments les plus lithoclastiques, à plus de 70% dans les zones d'accumulation de débris bioclastiques autour notamment du banc sableux de Pierre Noire. Les dépôts graveleux et sableux (fig. 47b et c) sont le plus souvent ridés (grandes mégarides de longueur d'onde $>$ à 2 m) et montrent un gradient de concentration en carbonate d'Ouest en Est. Ces mélanges sont plus aérés, mieux classés (fig. 48) traduisant la remise en mouvement régulière et le tri exercé par les courants. Ils peuvent être contaminés très localement par une fraction pélitique inférieure à 10 % au large, comme dans le chenal à l'est de Roscoff, et de 10 à 15 % sur les bords du chenal de la Penzé ou au débouché de la rivière de Morlaix (fig. 44).

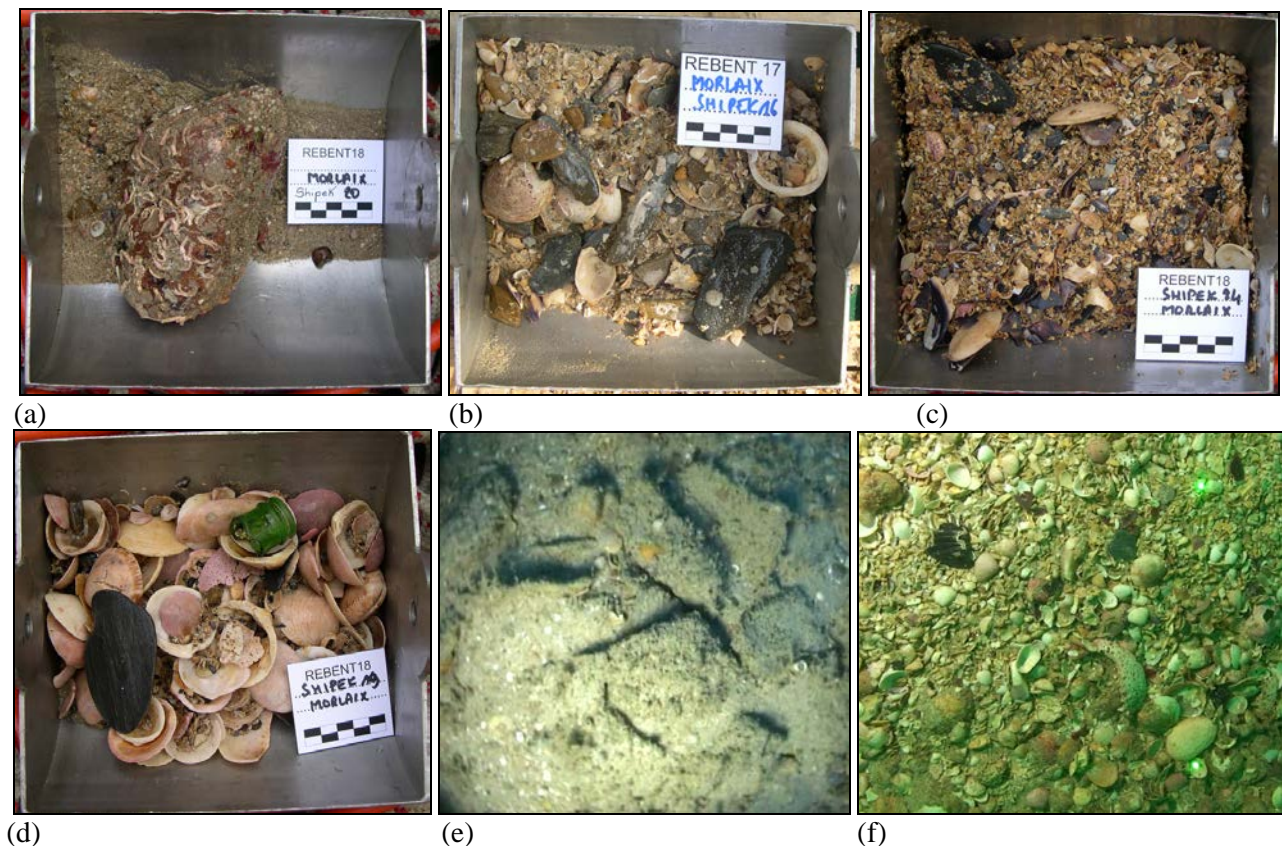


Figure 47 : Exemples d'observations des sédiments grossiers de la baie septentrionale
(a : CaillGrS ; b : GrCaill ; c : GrS ; d : CoqGr ; e : RB18_Vidéo3 ; f : Mlx_HD(2010)_Vidéo1)

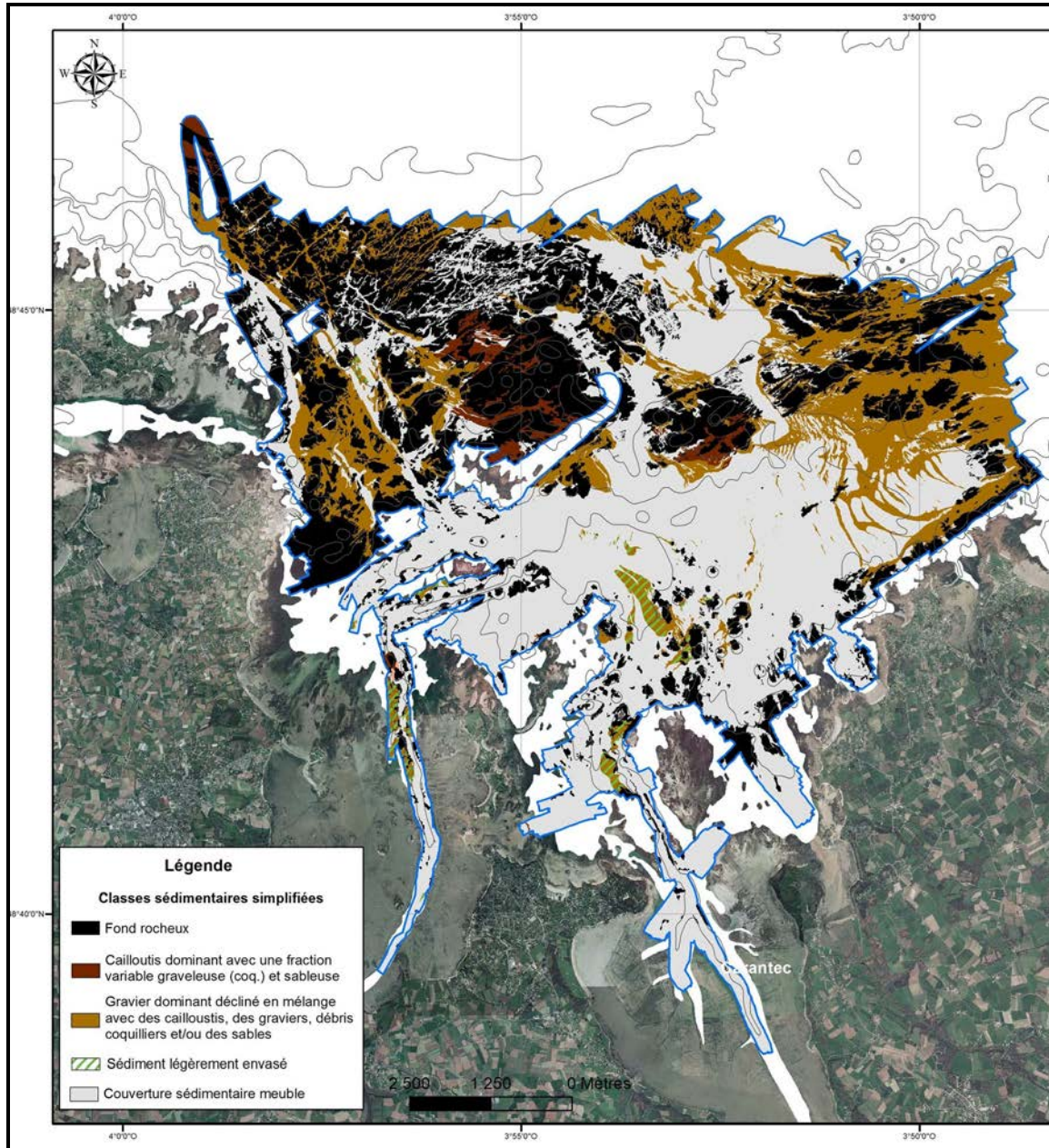


Figure 46 : Représentation simplifiée des dépôts grossiers en baie de Morlaix

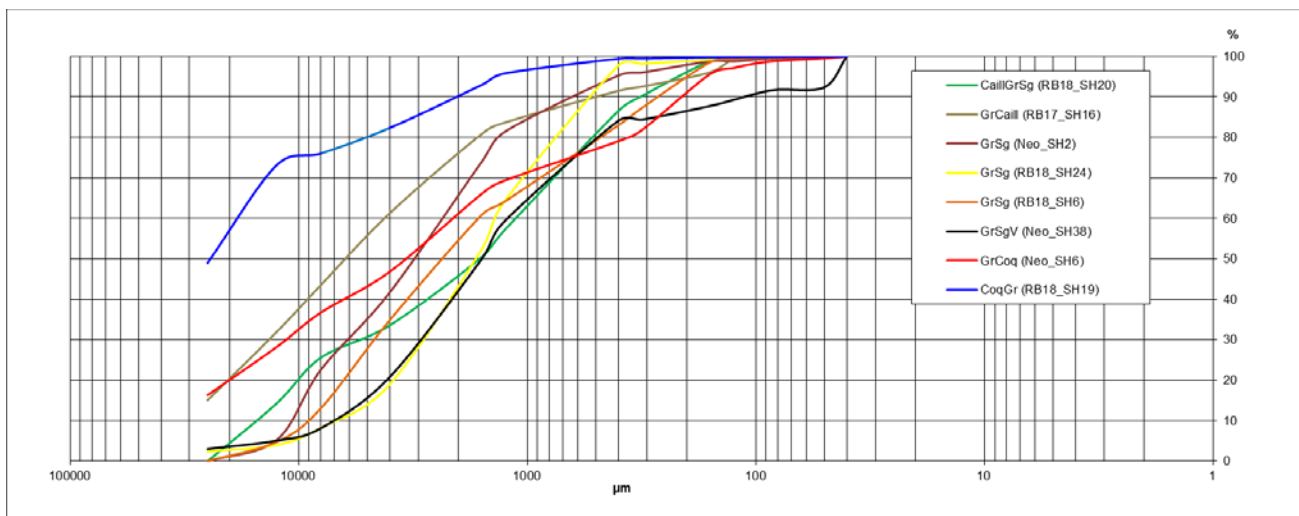


Figure 48 : Exemples de courbes granulométriques représentatives des faciès grossiers de la baie

3.1.2.2. Les dépôts sédimentaires meubles à dominante sableuse

Ces faciès de sable et sable fin à sable graveleux (fraction > 2 mm inférieure à 30 %) sont étroitement associés aux figures sédimentaires qui structurent le nord du plateau du Rater et les fonds orientaux de la baie (fig. 49). La fraction graveleuse, comme pour les sédiments grossiers (*cf.* chapitre 3.1.2.1), est composée pour l'essentiel de débris zoogènes. Les sédiments sont modérément à bien classés, aérés, riches en débris coquilliers, bien calibrés (sorte de mouture), et soient de faible épaisseur reposant sur une semelle de sédiments grossiers ou au contraire formant de véritables corps sédimentaires de plusieurs mètres d'épaisseur. Ils correspondent aux sables zoogènes relativement homogènes (faciès III_d et III_e) décrits par Cabioch (1968). Quelques dépôts de sable pur occupent les failles entre Les Duons et Roscoff et sous la forme d'un petit banc isolé dans le chenal des Bizayers (sable grossier lithoclastique).

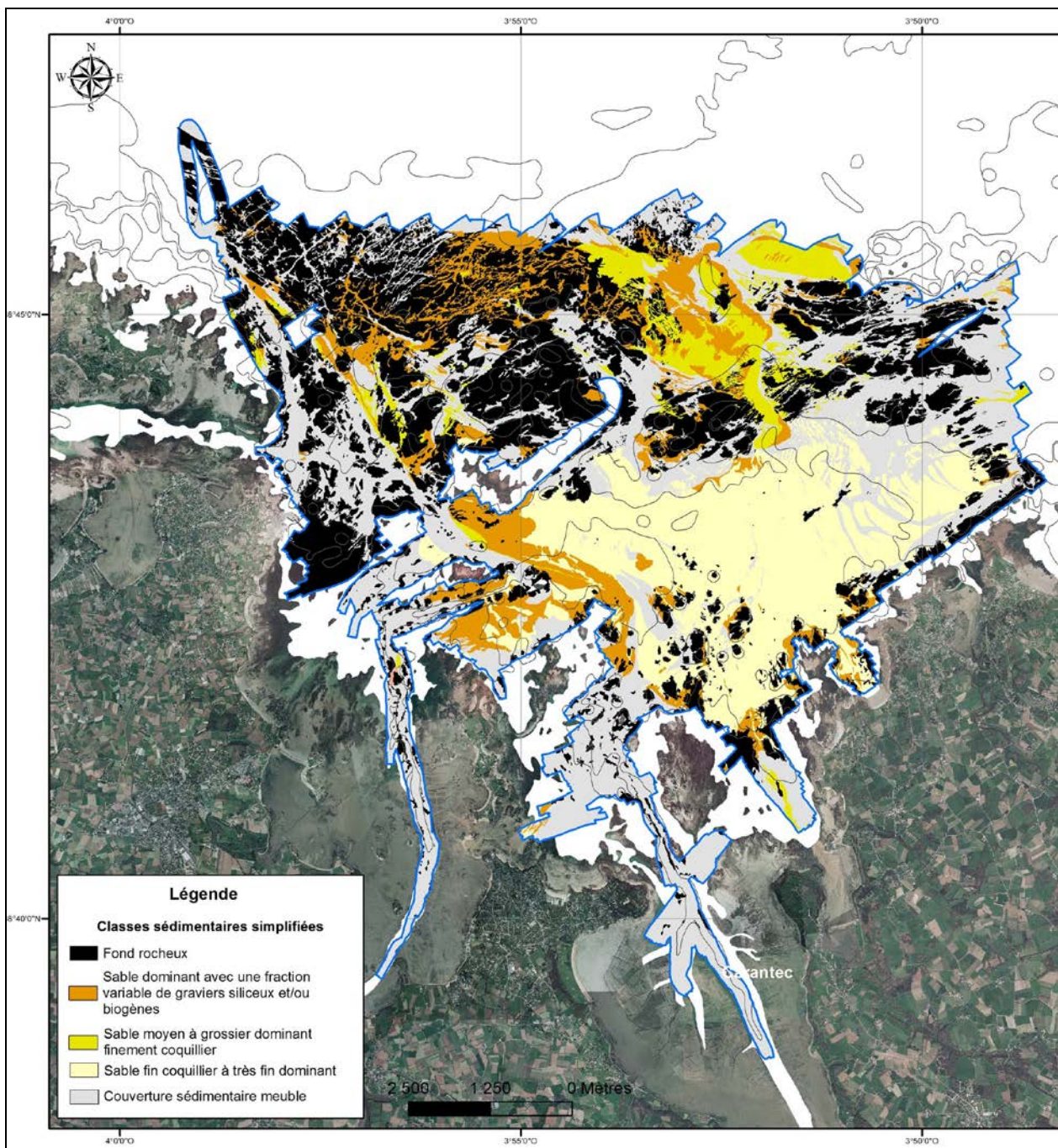


Figure 49 : Représentation simplifiée des dépôts sablo-graveleux, sableux et coquilliers en baie de Morlaix

- Le banc des Trépieds et les dunes sous-marines au nord du plateau du Rater

(a) Le banc des Trépieds est un banc en bannière d'une longueur de 2 km pour une largeur de 600 m, semblable à de nombreux petits bancs côtiers décrits en Manche : exemple du banc des Sirlots au débouché du Trieux (Ehrhold *et al.*, 2007), du banc de l'Ecrevière dans le Golfe normano-breton (Walker, 2001). Son épaisseur est de l'ordre de 35 m. Il est composé en surface d'un sable litho-bioclastique moyen à fin (avec un mode centré sur les sables moyens). Bien trié et lavé (fig. 50a, b et c), ce sable est contaminé par des éléments détritiques et zoogènes plus grossiers au pied des grandes dunes qui modèlent l'enveloppe du banc dans sa partie occidentale. Ce banc, comme le complexe nord des dunes du Rater, est encadré et alimenté par du matériel sableux finement coquillier provenant de la progradation sur le fond de figures longitudinales (*cf.* chapitre 3.3), sous la forme d'une succession de rubans sableux peu épais au nord du banc et plus épais, présentant des mégarides au sud de celui-ci (fig. 44). Le sédiment est alors composé d'un sable mou à composante biogène (fine mouture de débris coquilliers) et de quelques valves entières d'amande de mer (*Glycymeris glycymeris*) (fig. 50e). Les valves entières se concentrent dans les creux inter-rides de taille décimétrique (fig. 50e et f). La fraction calcaire du banc des Trépieds est pour autant assez faible, de l'ordre de 45% (SL2d), plus faible que celle mesurée sur le banc littoral de la Pierre Noire plus au Sud, où la calcimétrie dépasse 80% (SB1e), et plus faible que la couverture sablo-graveleuse voisine. Selon Auffret et Douvillé (1974), cette différence de composition traduit une origine différente entre les deux bancs, plus continentale (siliceuse) pour le banc des Trépieds et plus marine pour celui de Pierre Noire.

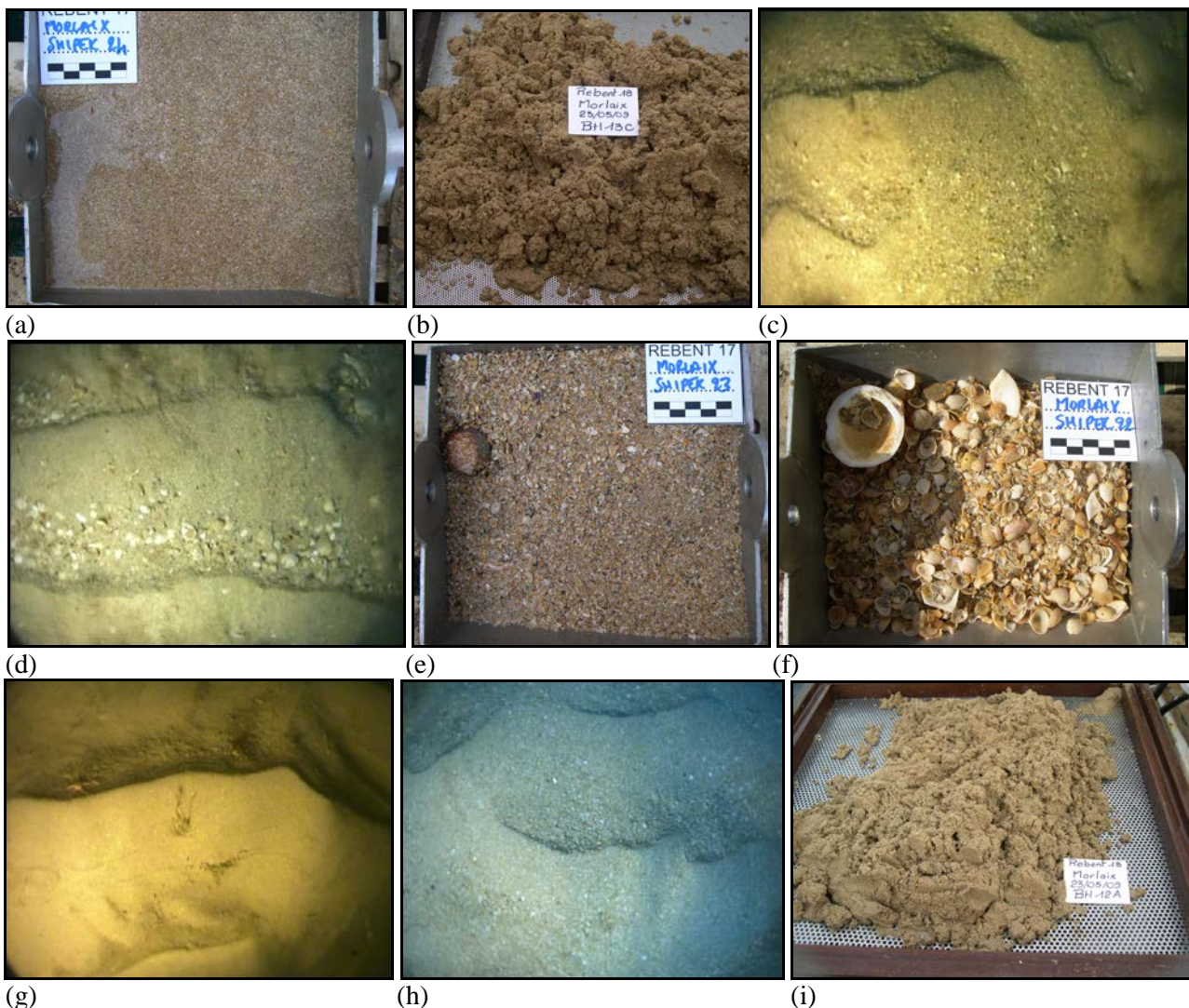


Figure 50 : Exemples de prélèvements sableux et coquilliers en centre baie

(b) Le complexe des dunes sableuses autour du Rater

Il se compose de 9 dunes (C1 à C9) isolées ou ancrées sur le plateau rocheux et décrites au chapitre 3.3. Les profils vidéo réalisés sur ce faciès et les sédiments remontés montrent une grande homogénéité dans la composition du sable (fig. 50g, h et i), à l'image de ceux composant le banc de Trépied, avec cependant une teneur en carbonate de l'ordre de 70% en moyenne.

- Le banc sableux de Pierre Noire

Le sédiment le constituant est particulièrement homogène et bien trié sur de longues distances comme en attestent les observations vidéos. Il s'agit d'un sable fin bio-lithoclastiques (SB1e) présentant des petites rides à sa surface (fig. 51a et b). Les échantillons prélevés sur l'ensemble de ce faciès sont caractérisés par une proportion en sable fin comprise entre 55 et 65% et de 25 à 30% pour les sables moyens (fig. 52). La teneur moyenne en carbonate est de l'ordre de 56% pour une médiane de 216 microns.

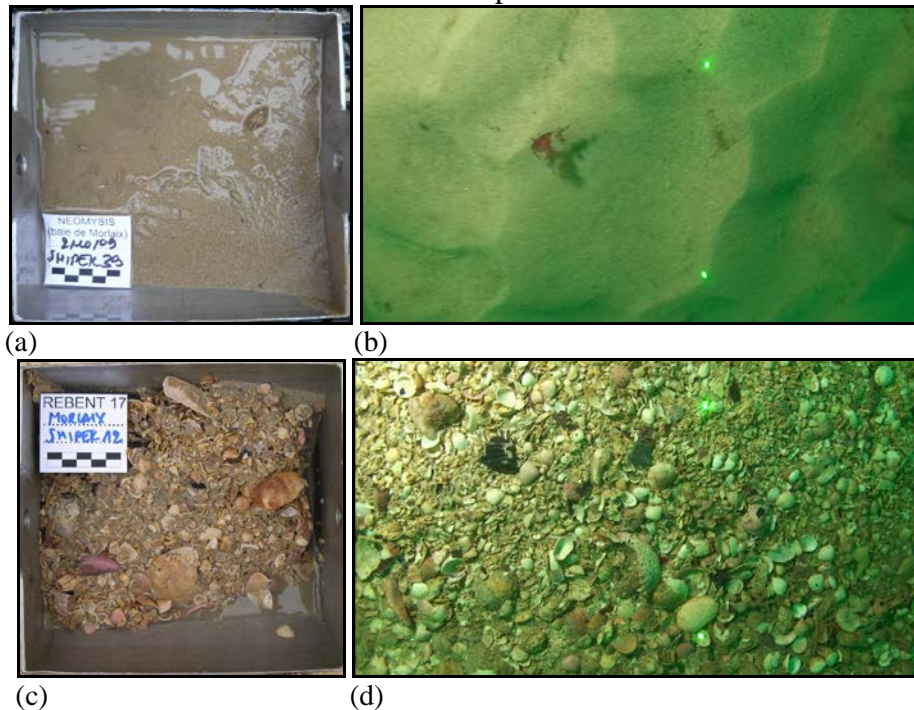


Fig. 51 : Sédiment constituant le banc de Pierre Noire (a et b) et des sillons inter-barres (c et d)

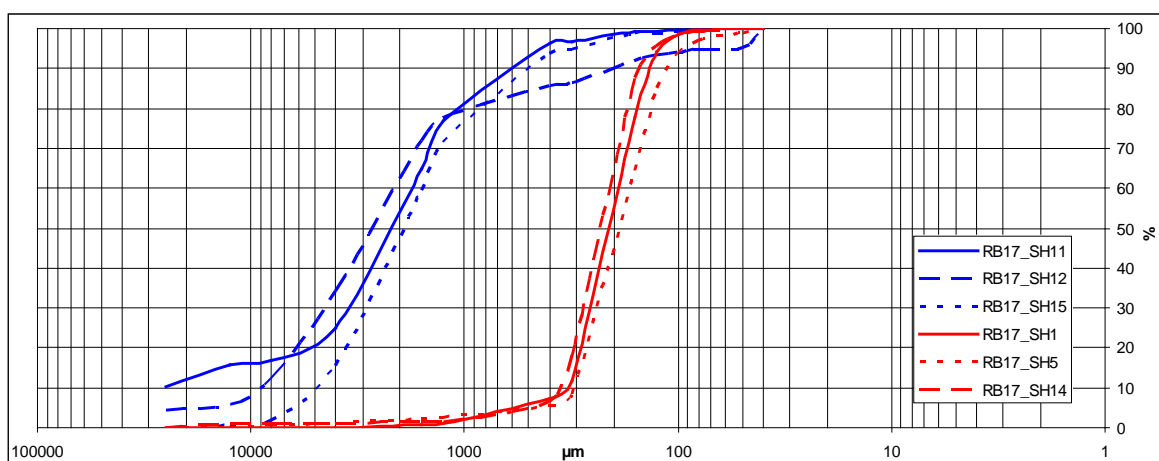


Figure 52 : Exemples de courbes granulométriques (en rouge) représentatives du banc sableux de Pierre Noire et de sa semelle grossière (en bleu)

Ce banc sableux est situé dans une zone de basse énergie tidale, mais très exposé aux houles de secteur W-NW, qui peuvent créer au niveau du fond une agitation supérieure à 1 m.s^{-1} et entraîner un vannage des sables en place (cf. chapitre 1.2). En périphérie, du côté de la Pointe de Diben, cette accumulation de

sable fin calcaire, présente une morphologie de barres sableuses en épis perpendiculaires à la côte, étudiées par Auffret *et al.* (1992), alternant avec des sillons courbes de sédiments coquilliers et ornés de mégarides sub-métriques de direction constante (N50 à N55). Ce faciès grossier (fig. 51c et d) est interstratifié en lits probablement lenticulaires dont la genèse est commune avec le dépôt des sables fins. Le profil transversal de ces barres montre une légère dissymétrie vers le SW, en accord avec la direction résiduelle des courants mesurée (Auffret et Douvillé, 1974) et simulée. L'ensemble sédimentaire se caractérise donc par une ségrégation granulométrique et morphologique.

En bordure sud du Rater, dans l'axe du chenal entre les plateaux des Duons et du Rater, ce banc présente une morphologie composée de 3 petites dunes hydrauliques groupées, de forme légèrement barkanoïde, et dont la composition sédimentaire en surface peut être plus grossière, en accord avec l'augmentation des courants de fonds à proximité du plateau et aux abords du paléochenal.

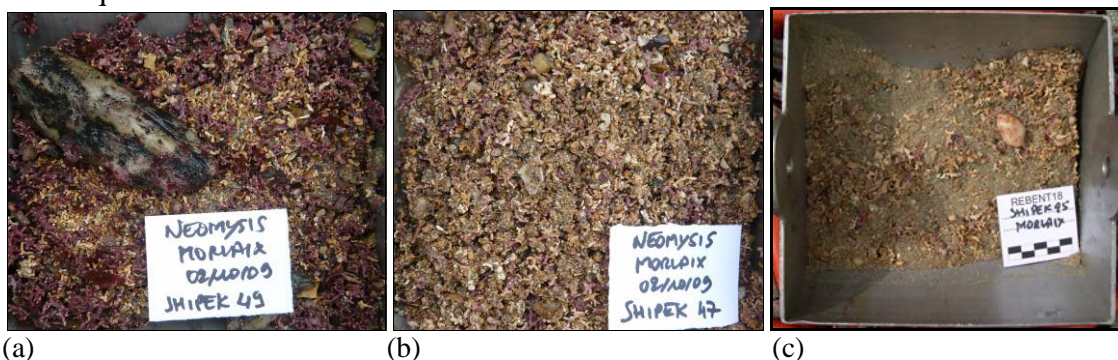
3.1.2.3. Les dépôts phycogènes correspondant à l'accumulation de thalles vivants et morts de mélobésiés arbusculaires

La distribution du maërl dans la baie a été cartographiée en distinguant deux sous-zones (fig. 53) :

- Les fonds de maërl vivant ou mort en proportion importante (fraction majoritaire) dans l'échantillon (fig. 54a et b) mélangé à des particules détritiques sableuses ou plus grossières (fragments coquilliers, graviers et localement cailloutis) et des vases en zone abritée (fig. 54d). Ce faciès représente 2,75 km² à l'échelle des fonds étudiés.
- Les fonds où ont été observés le maërl ou les débris de maërl dans les prélèvements (fig. 54c) ou sur les séquences vidéos, colonisés parfois par les herbiers (fig. 54e), sans pour autant constituer la fraction dominante de l'échantillon. Ce faciès représente 1,95 km² à l'échelle des fonds étudiés. Mort, il s'observe soit plus profondément vers le large, en lien avec la dynamique sableuse, soit dans le fond des chenaux des deux rivières.

Les sites de Guerheon et à l'est de Callot ont fait l'objet d'une étude particulière dans le cadre de la DCE (Hamon *et al.*, 2010). Ils sont représentatifs de la répartition de ce peuplement dans la baie. Le faciès de graviers de maërl, essentiellement vivant a été décrit sur Guerheon jusqu'à 10 m de profondeur (fig. 53), en nappe peu épaisse et en tâches, mélangé à des galets et cailloutis mal triés. Ce faciès est présent également au nord de Callot sous la forme d'une nappe découpée d'indentations ainsi que dans l'anse de Térénez. Au sein de ces zones de maërl, on distingue d'étroits couloirs de mégarides de maërl mort avec une orientation E-W et une longueur d'onde inférieure à 1 m (fig. 44). A l'est de Callot, malgré des profondeurs équivalentes, le maërl est essentiellement mort et légèrement envasé, mélangé à de gros débris coquilliers ou intégré à des fragments lithiques abondants (graviers) près des roches.

La surface occupée par le maërl et les débris de maërl dominants est de l'ordre de 4,7 km², soit presque moitié moins que les observations faites par Boillot (1961) pour un faciès de maërl caractérisé par plus de 50 % de débris phycogène (zone IV selon l'auteur). Sur Guerheon, ce faciès semble avoir peu évolué spatialement depuis les travaux de Boillot. Peut-on juste noter la présence de mégarides détectées par l'acoustique sous-marine et l'aspect plus vaseux des fonds entre les Grandes Fourches et les Bizayers. Inversement, sur la zone Callot, en bordure du chenal de la rivière de Morlaix, le maërl semble globalement en régression par rapport à la cartographie de Boillot, lequel avait déjà constaté une régression entre ses travaux et ceux de Pruvost en 1897 qui indiquaient la présence de Lithothamnium jusqu'à la balise de la Vieille, soit à un demi mile au nord-est de l'île Verte. La présence de vase y est aussi plus conséquente.



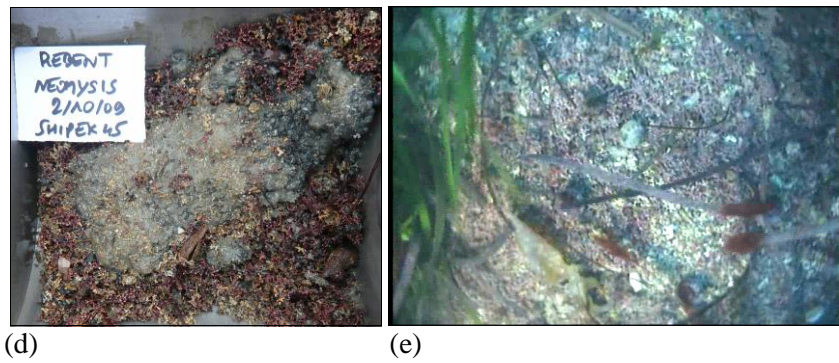


Figure 54 : a : Graviers de maërl vivant ; b : graviers de maërl mort brisé ; c : sable à graviers de maërl ; graviers de maërl et vase à Callot ; d : herbier sur maërl

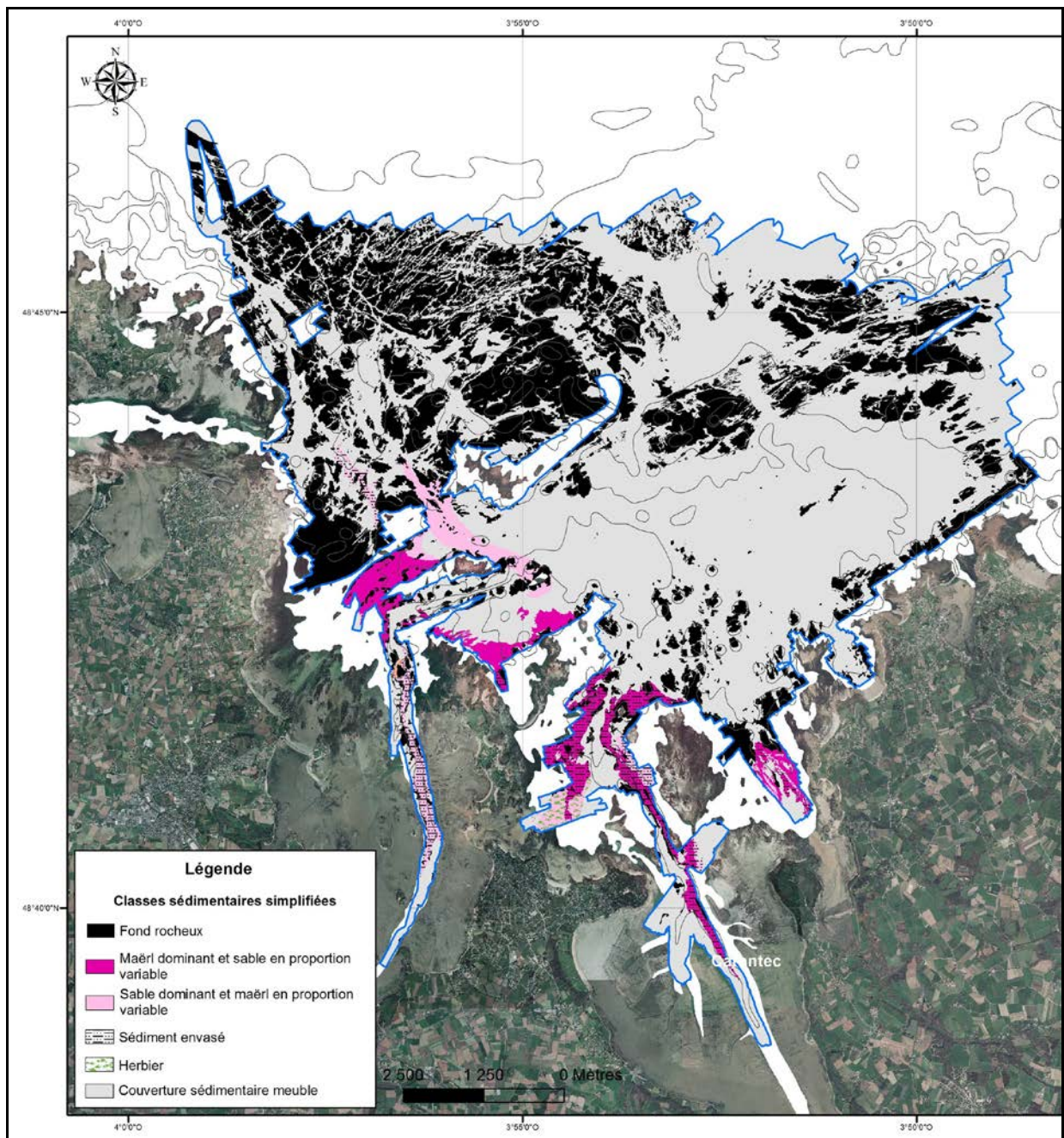


Figure 53 : Représentation simplifiée des dépôts phycogènes en baie de Morlaix

3.1.2.4. Les sédiments envasés

Ils occupent essentiellement le fond de baie dans l'anse de Térénez et à proximité de l'embouchure des deux estuaires (fig. 55), avec un gradient croissant de teneur en vase vers l'aval et du centre du chenal vers les rives. La presqu'île de Carantec constitue une limite au-delà de laquelle le pourcentage en pélites dans le sédiment dépasse 25% (fig. 56). Les eaux turbides évacuées des estuaires à marée basse et empruntant le chenal longeant la côte vers Roscoff, peuvent contaminer les sédiments sablo-graveleux et graveleux dont les teneurs en vase peuvent atteindre quelques pourcents. Deux autres zones au large montrent un enrichissement en vase dans le sédiment. Il s'agit de la bordure des façades orientales des plateaux de l'île de Batz et des Duons moins exposées aux actions des houles, et notamment dans l'ancien paléochenal de la rivière de Morlaix (fig. 57). Si on ne peut véritablement mettre en évidence un envasement généralisé des fonds de la baie depuis les travaux de Boillot et Cabioch, les résultats actuels montrent dans la partie externe un enrichissement en fraction fine qui pourrait s'expliquer par l'évolution croissante des activités anthropiques dans la baie (dragages, ostréiculture...).

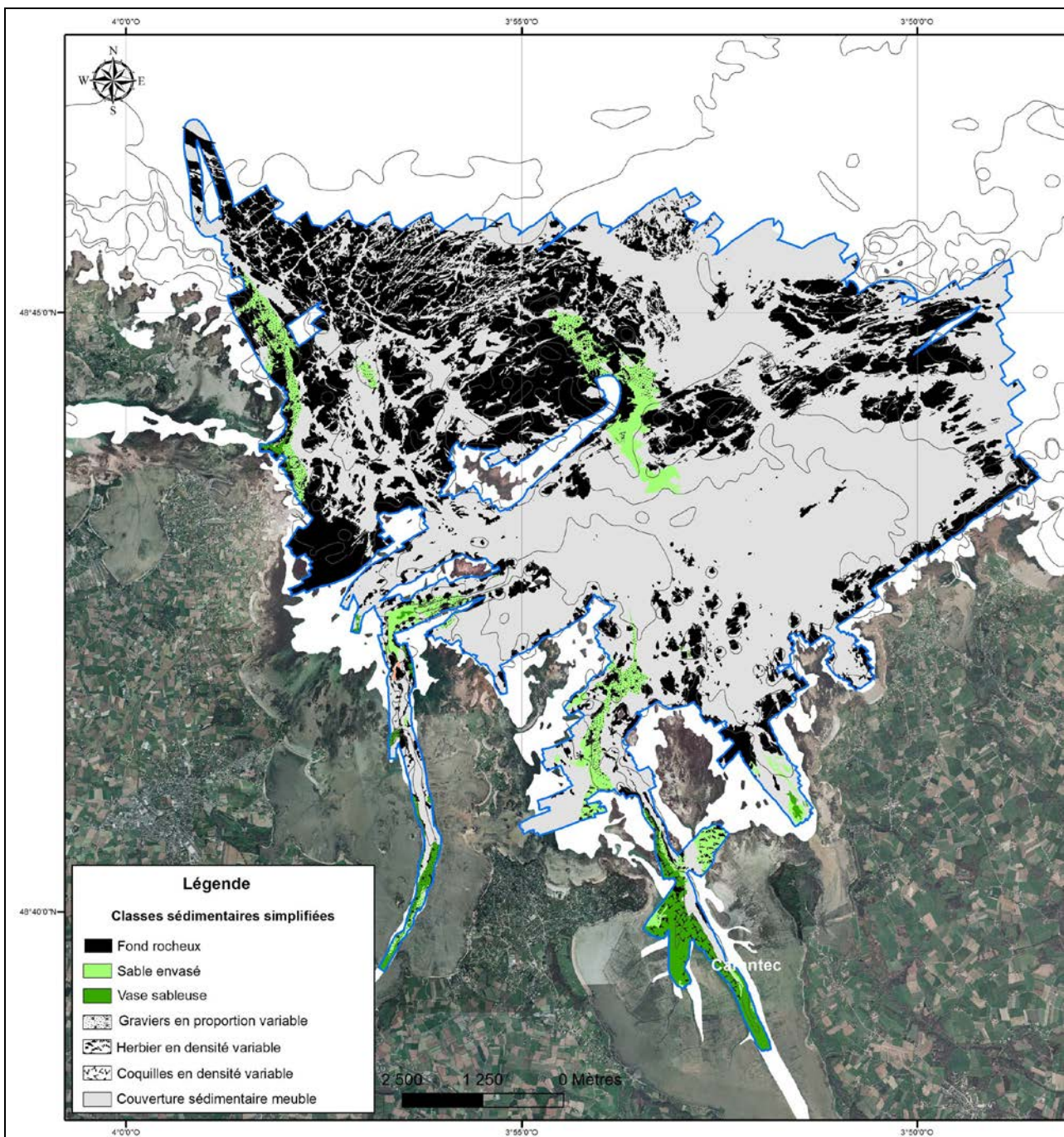


Figure 55 : Représentation simplifiée des dépôts envasés en baie de Morlaix



Figure 56 : Photos d'un sable légèrement vaseux vers une vase sableuse en fond de baie

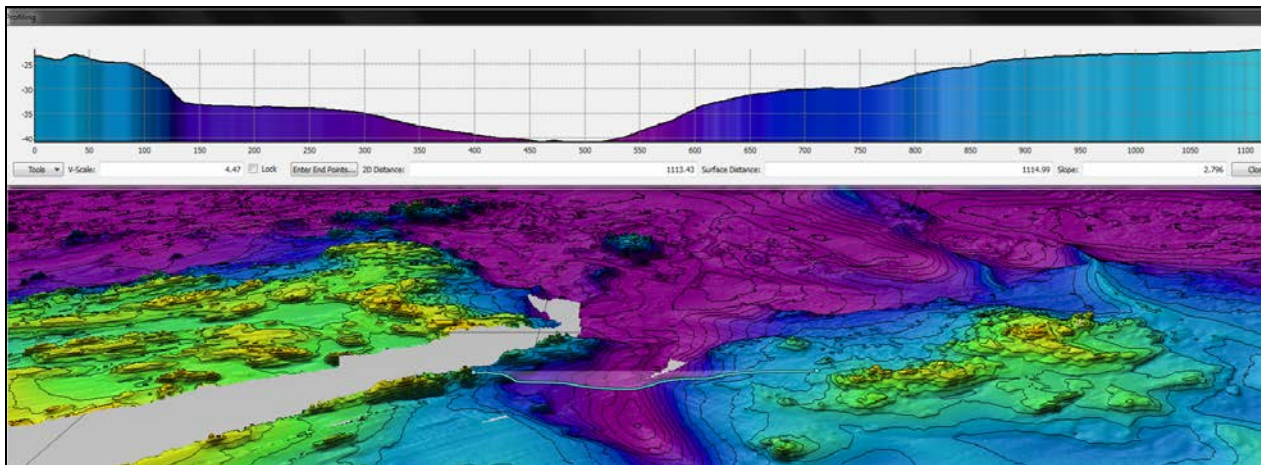


Figure 57 : Profil topographique entre le plateau des Duons, à l'Ouest, et celui du Rater, à l'Est

3.2. La dynamique sédimentaire

La couverture sédimentaire de la zone d'étude est richement modelée de figures de courant, aussi bien transversales que longitudinales. La recherche de leur position et de leur orientation sur les données sonar et bathymétriques ont permis de dresser un schéma général de la circulation résiduelle des sédiments par charriage sur l'ensemble de la baie (fig. 58), sous contrôle des courants de marée, mais également sous l'influence des houles de tempêtes dans les plus petits fonds (à partir de 30m de profondeur). Les transits sédimentaires sont globalement orientés vers le Nord-Ouest, contrôlés par la vidange de la baie à marée basse. Mais localement, à la faveur de la topographie sous-marine, 5 secteurs montrent une déviation des transports sableux sur le fond, voire une direction diamétralement opposée :

- Le long de la côte, entre Primel et la tourelle de Pierre Noire, avec un transit dirigé vers le Sud et Sud-Ouest, responsable de l'asymétrie légère des barres sableuses perpendiculaires à la côte qui constituent le banc de Pierre Noire. Cette direction est confortée par les travaux de Auffret et Douvillé (1974) et Koch (1984).
- Au nord-est du plateau du Rater avec un transit vers l'Ouest/Nord-Ouest, venant alimenter par l'Est, le complexe sableux nord Rater.
- Dans la région déprimée du large, à l'ouest des dunes du nord Rater et du banc des Trépieds avec un transit sédimentaire orienté vers le Sud-Est, venant alimenter par l'Ouest ce complexe sableux, et confirmé également par les mesures de courants effectuées par Boillot (1964) au pied du banc. Les courants de flot l'emportent sur ceux de jusant, tant par leur intensité que leur durée.
- Entre le plateau des Duons et celui des Bizayers avec un transit vers le Sud-Est, dans le chenal, contrôlant la construction d'un petit banc de sable, avec un flanc long dominé par le flot et un flanc court contrôlé par le jusant.

- Transit de quelques mégarides et sillon d'érosion vers le Sud-Ouest sur les berges de la rivière de Morlaix au sud de l'île Ricard, puis vers le Sud/Sud-Est en remontant l'estuaire, correspondant à la dissymétrie des courants de marée enregistrée par Beslier (1981), alors que le fond du chenal peut présenter des directions dominantes de jusant (champs de mégarides) à la faveur de rétrécissements du chenal.

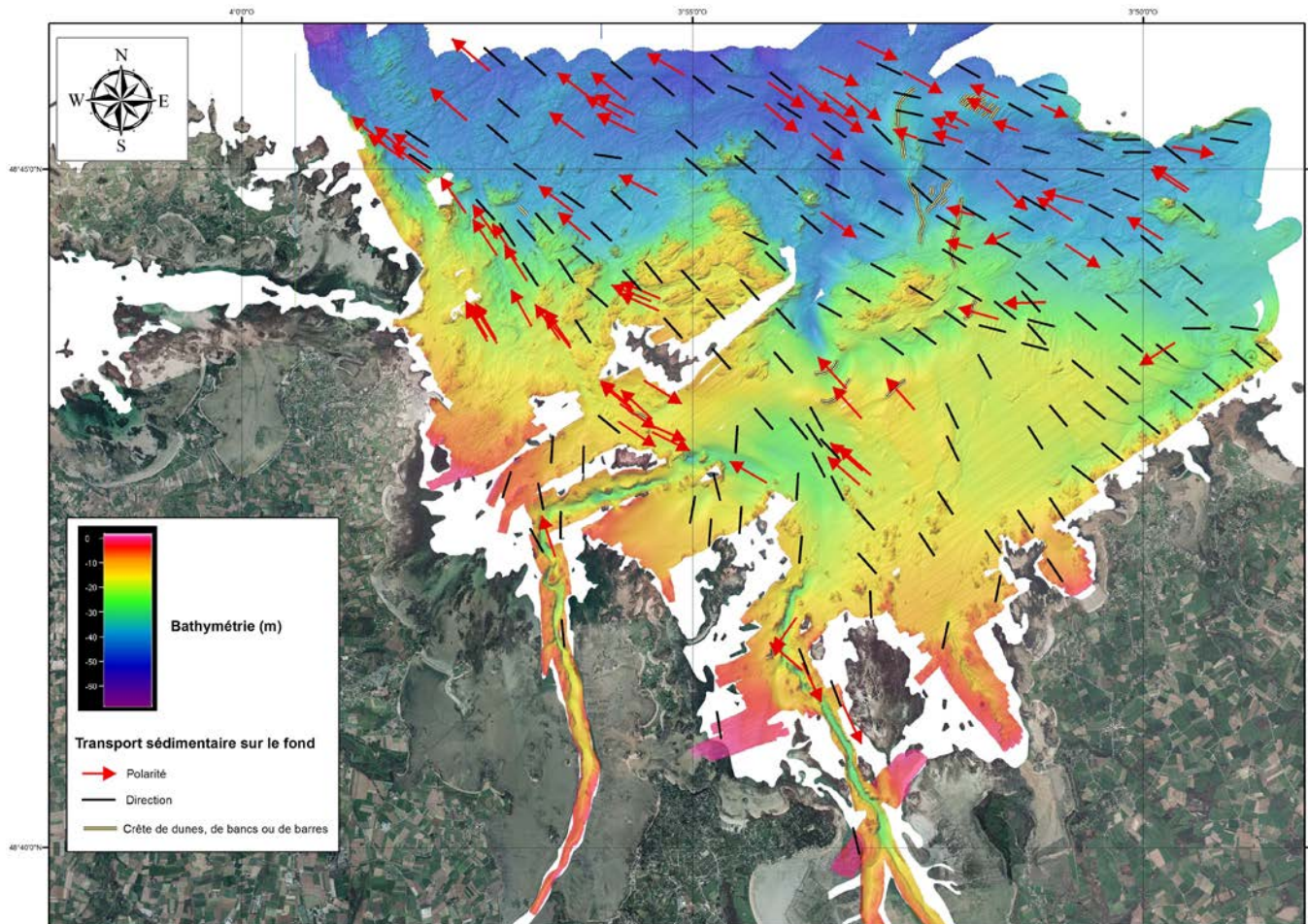


Figure 58 : Carte des directions et sens des transports privilégiés dans la baie

Plusieurs types de figures sédimentaires ou "bedforms" ont ainsi été répertoriés et étudiés.

3.2.1. Les figures sédimentaires transversales

3.2.1.1. Les champs de mégarides

Les mégarides sont des petites dunes hydrauliques de faibles hauteur et longueur d'onde, générées perpendiculaires aux forces hydrodynamiques (courants de marée ou houle). Leur dimension et la trame rayée qui les caractérise sur les sonogrammes sont aisément reconnaissables. L'interprétation de leur polarité, c'est à dire l'asymétrie plus prononcée d'un flanc par rapport à l'autre, conséquence de l'action du courant dominant dans leur construction, est souvent plus difficile à déceler pour les faibles longueurs d'ondes. Elles se développent sur une large panoplie de substrats, depuis les fonds homogènes de sable coquillier jusqu'aux sédiments sablo-graveleux et sablo-caillouteux dans les secteurs où les courants sont plus forts. Trois catégories de taille ont été retenues :

- les mégarides dont la longueur d'onde est inférieure à 2 m,
 - les mégarides dont la longueur d'onde est comprise entre 2 et 4 m,
 - les mégarides dont la longueur d'onde est supérieure à 4 m.
- o Les mégarides de plus faible longueur d'onde (< 2 m) se rencontrent dans la moitié occidentale de la baie mais pour des profondeurs souvent inférieures à 20 m. Inversement, à l'est du plateau des Duons,

elles sont observées par 40 m de profondeur, sur le flanc des grandes dunes au nord du Rater, du banc sableux des Trépieds ou modelant d'étroits rubans de sable avec une orientation de leur crête variable, mais toujours perpendiculaires au courant maximum. A partir de 30 m de profondeur environ, au droit de la côte Est, entre Primel et Pierre Noire, des mégarides rectilignes constituant un large champ continu, faiblement ondulées et anastomosées (fig. 59), présentant quelques dichotomies à angle aigu et de direction d'allongement des crêtes remarquablement constante (N°55), tapissent les sédiments gravelo-coquilliers à sableux, très hétérogènes. Cette direction est parallèle, au nord et à l'est des Duons, à celle des mégarides engendrées par les courants de marée, rendant *in fine* ambiguë l'interprétation de la prépondérance d'un agent hydrodynamique sur l'autre (marée ou houle), pouvant laisser supposer aussi à la conjugaison des deux.

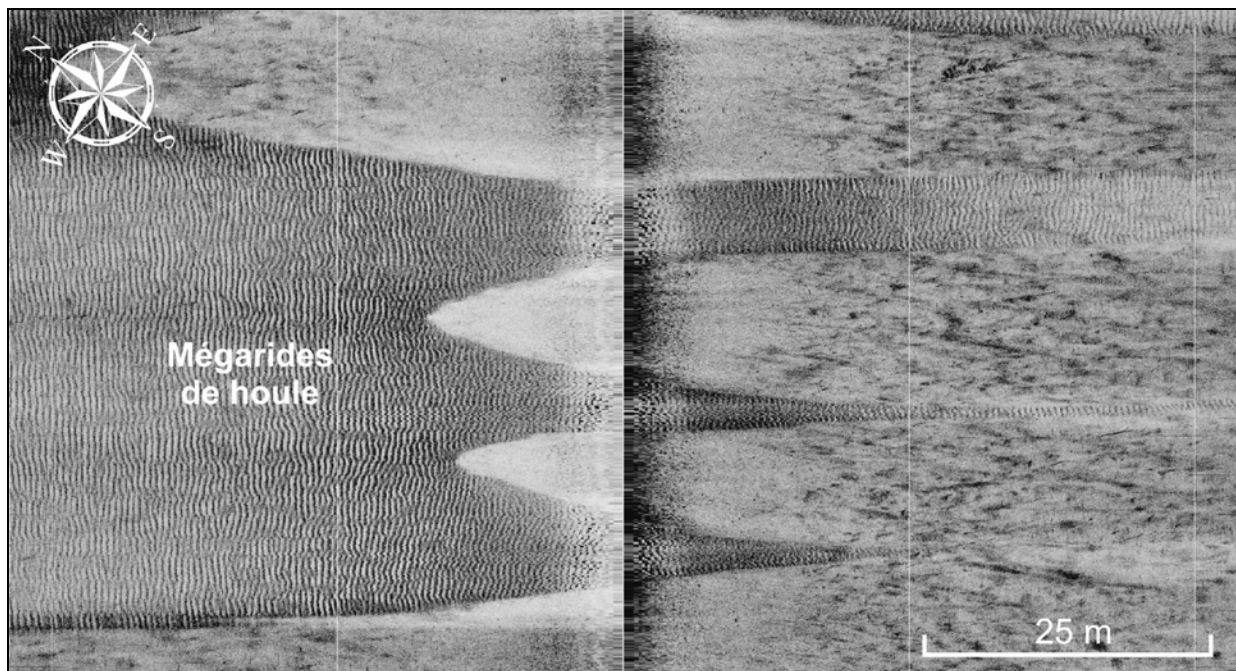


Fig. 59 : Exemple de faciès à mégarides d'oscillation de longueur d'onde inférieure à 2 m (au nord du banc de Pierre Noire, 48°43'.727N et 3°49'.823W)

Toutefois, dans toute la partie SE de la zone jusqu'au nord-est de l'île Callot, les directions entre les figures divergent et plusieurs critères tendent à caractériser ces figures de rides d'oscillation sub-métrique :

- l'hétérogénéité du sédiment avec une médiane élevée (> 2 mm jusqu'à 7 mm) ;
- rapidement en remontant sur le banc de sable fin de Pierre Noire le long de la côte orientale de la baie, la vitesse des courants de marée chute (< 1 nd sur le fond) alors que la granulométrie des rides augmente (sédiments grossier) ;
- l'absence d'asymétrie et le rapport élevé (> 10) entre la longueur des crêtes sur la longueur d'onde.

La présence de ces mégarides d'oscillations coïncide avec les zones de hautes énergies engendrées par les houles de secteur N-NW et N-NE dans la baie (Auffret et Douvillé, 1974). La résultante des vents supérieurs à 100 km/h est orientée W-NW/E-SE (Castro, 1981), même si depuis on constate un renforcement des flux de secteur SW (Rufin et Van Waerbeke, 1999). Ces mégarides perpendiculaires au littoral, engendrées par les courants de houle, ont été décrites dans de nombreux travaux sur le plateau continental en Manche comme en Atlantique (Braud et Weber, 1985 ; Auffret *et al.*, 1992 ; Ehrhold, 1999 ; Walker, 2001, Augris *et al.*, 2005 ; Ehrhold *et al.*, 2006 ; Garnaud *et al.*, 2005).

- o En baie de Morlaix, on constate que les mégarides ayant les plus grandes longueurs d'onde (> 2m) recouvrent les corps sableux les plus massifs, tels que le banc des Trépieds ou la dune principale parabolique (C9) au nord du plateau rocheux du Rater. Souvent rectilignes, modelant les trains de

rubans sableux ou les flancs des accumulations sédimentaires les plus importantes, elles adoptent parfois un profil festonné, en forme de croissant, lorsque l'intensité du courant augmente (fig. 60).

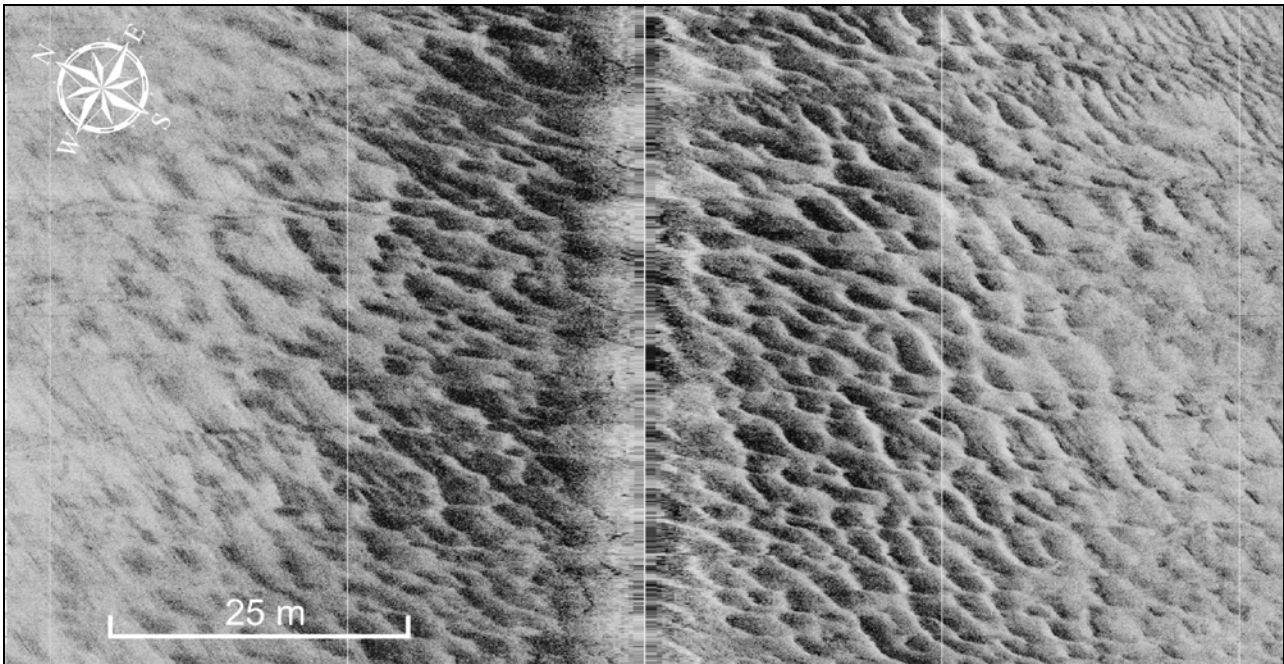


Figure 60 : Exemple de faciès à mégarides de longueur d'onde supérieure à 2 m (au pied occidental de la dune principale au nord du Rater C9 48°45'.356N et 3°52'.937W)

3.2.1.2. Les moyennes et grandes dunes hydrauliques

Les grandes et très grandes dunes hydrauliques se définissent à partir de plus de 50 cm de hauteur et 10 m de longueur d'onde (Berné *et al.*, 1989). Elles sont peu nombreuses sur le secteur, essentiellement localisées dans la partie centrale entre le plateau des Duons et celui du Rater.

- Au sud du Rater, un premier groupe de 4 dunes isolées (C1 à C4) (fig. 61). Les dunes C1 à C3 sont communément appelées "dune du Rater". Leur morphologie est soulignée par des crêtes pouvant être sinueuses, voire en croissant (C1 et C2) comme dans le chenal entre le Rater et les Duons qui constitue un couloir propice à l'accélération des courants sur le fond. Leur amplitude est en deçà de la relation établie par Flemming (1988), traduisant l'effet temporaire des houles de tempête dans l'accrétion de ces corps par les courants de marée.

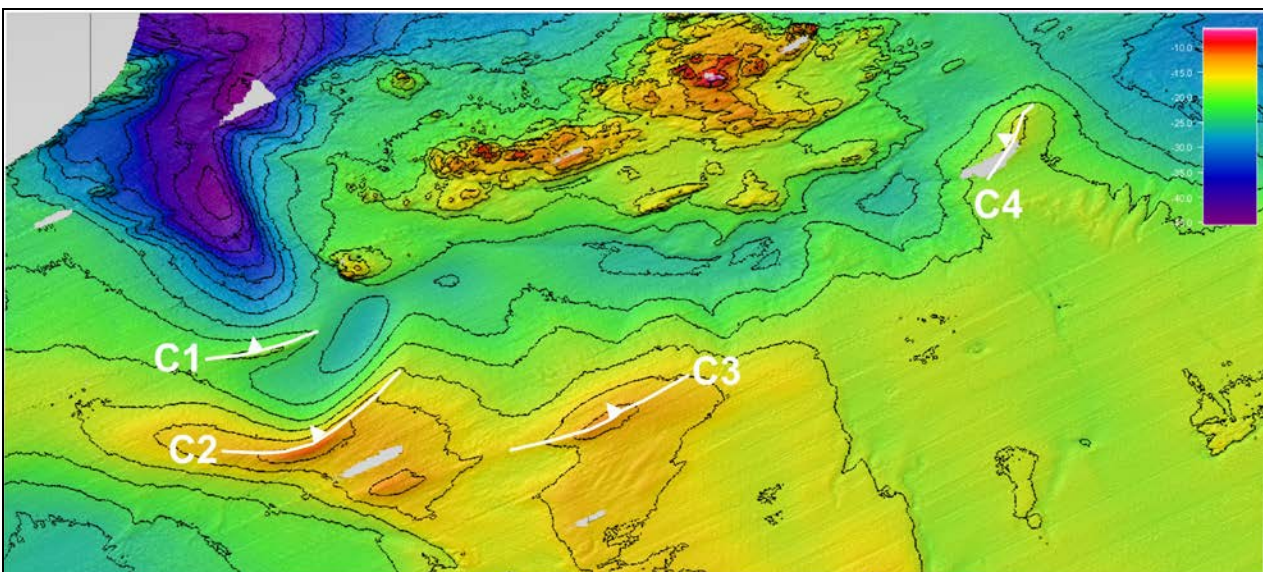


Figure 61 : Ensemble de dunes composant le groupe sud Rater

- Au nord du Rater, s'individualise un premier groupe composé de dunes très longues (C5, C6 et C9 > 1000m), d'amplitude plus élevée (jusqu'à 14 m pour C9), souvent résumées dans la littérature à la simple dune du "Rater" qui ne constitue en réalité que la dune C9 (fig.62). Pour deux d'entre elles, C5 et C6, elles se raccrochent au platier rocheux du Rater, la dune C6 se prolongeant jusqu'à l'îlot rocheux servant d'ancrage à la dune C9. L'asymétrie des flancs est peu marquée sur C6 et C9, sauf dans sa partie septentrionale avec une terminaison sigmoïde en direction du SE. L'épaisseur de sable biogène sur le flanc Est de la dune C9 est de l'ordre de 8 m (Auffret et Douvillé, 1974). C5 est légèrement asymétrique vers l'ouest, ce qui correspond aux observations de Auffret et Douvillé (1974) sur le point de mesure de courant à proximité, dans des conditions de vives-eaux. Ce groupe de dunes se trouve dans une zone de convergence des forces tractrices résiduelles.

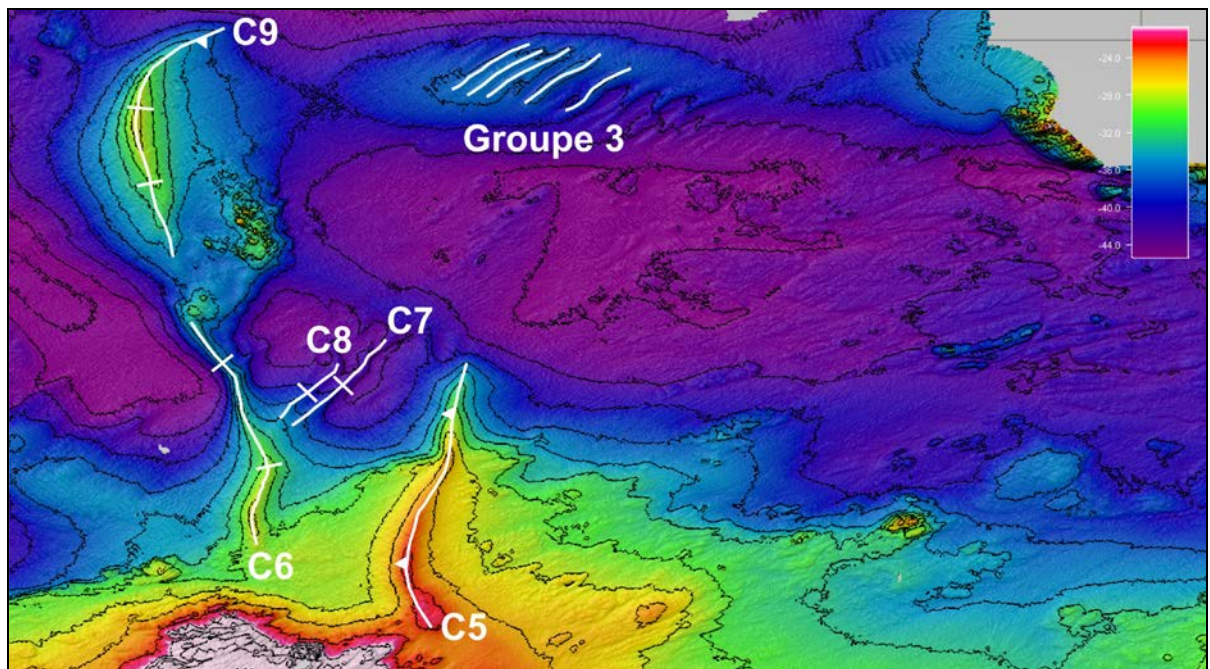


Figure 62 : Ensemble des dunes composant le groupe nord Rater

- A l'ouest du plateau rocheux des Trépieds, un groupe de dunes festonne un banc de sable situé en bannière derrière le massif rocheux (groupe 3) (fig.63). Constitué en majorité de sable moyen, ses dimensions sont de 1 300 mètres de longueur pour une largeur maximale de 500 mètres et une puissance 8 mètres, son épaisseur augmentant vers l'Ouest. Cette série de dunes, orientées N35, plus courtes (une centaine de mètres) et moins hautes (2 à 3 mètres), montrent une polarité des transports vers l'Ouest.

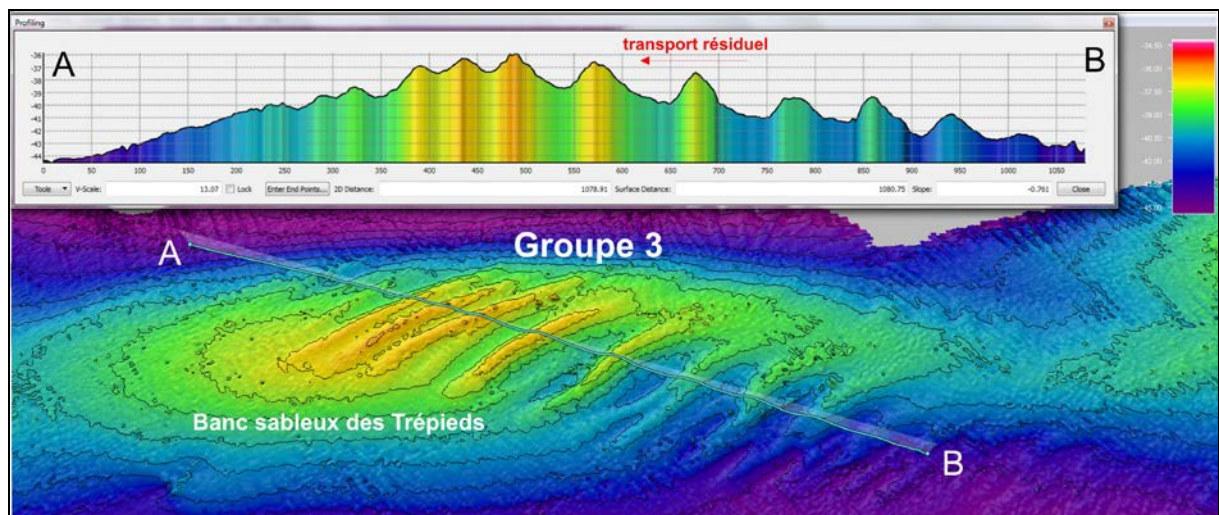


Figure 63 : Ensemble des dunes modelant le banc des Trépieds

3.2.2. Les figures sédimentaires longitudinales

Elles peuvent correspondre à des accumulations de sédiment orientées suivant les directions des courants dominants (traînées, rubans de sable) ou au contraire, avoir pour origine l'érosion du substrat sableux mobile ou grossier (queues de comète). Les traînées sableuses sont des structures très allongées, accrochées aux affleurements rocheux et blocs, abondantes au nord du plateau des Duons et le long de la côte à l'entrée du port de Roscoff. Les rubans sont un peu plus épais et plus larges, significatifs d'un volume plus important de sédiment en transit. Ces figures sont parfois déviées et empruntent très localement les directions structurales du socle rocheux. Enfin, les queues de comète sont des sillons sombres sur les sonogrammes (fig. 64), se terminant en pointe dans la direction du courant dominant. Une soixantaine de ces figures ont été répertoriées sur la zone, permettant de dresser un schéma précis des transports sédimentaires par charriage sur toute la baie (fig. 58).

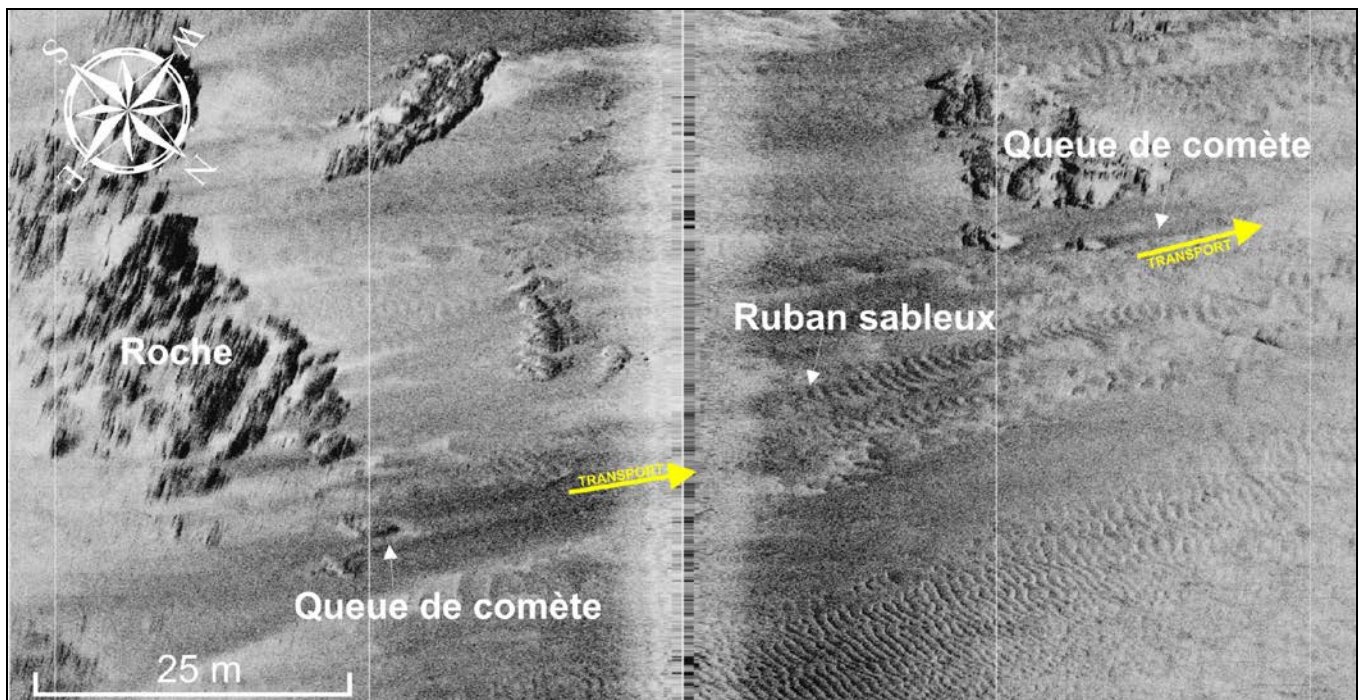


Figure 64 : Exemples de queues de comètes et de rubans à l'est de la grande dune C9 (48°45'195N et 3°52'.012W)

3.3. Les principales unités de peuplements de substrats meubles

3.3.1. Caractéristiques générales de la macrofaune

L'analyse de la macrofaune benthique des fonds meubles a porté sur l'ensemble des 24 stations échantillonnées lors de la mission Rebut 18, en mai 2009, ainsi que sur les 12 stations complémentaires, échantillonnées en mars 2010 par la Station Biologique de Roscoff dans la fringe côtière (fig. 65). Chaque station a fait l'objet de trois prélèvements à la benne Hamon d'une surface unitaire de 1/8m² (exception faite de la station BH 4 n'ayant fait l'objet que de deux répliqués).

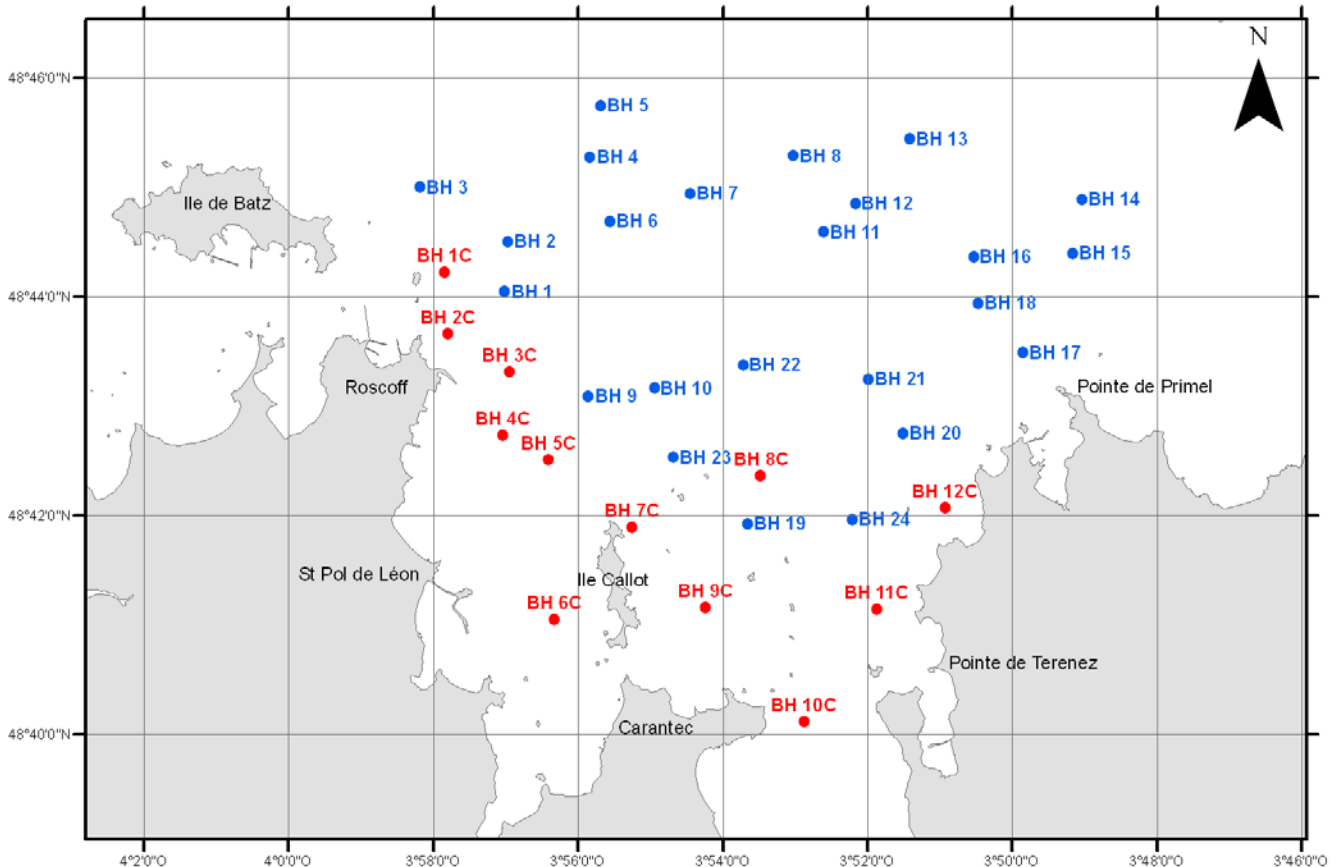


Figure 65 : Carte de situation des stations échantillonnées à la benne Hamon, en 2009 (BH 1 à BH 24) et 2010 (BH 1C à BH 12C).

3.3.1.1. Structure taxonomique générale

L'analyse des 107 échantillons a permis de dénombrer 11 215 individus appartenant à 424 taxons. Les trois embranchements les plus diversement représentés sont les annélides, les arthropodes et les mollusques, avec respectivement 48%, 26% et 18% de la richesse spécifique totale, et une abondance totale de 56%, 9% et 30% (fig.66). Chez les arthropodes, mis à part quelques pycnogonides, tous les individus identifiés appartiennent à la classe des malacostracés.

Les richesses spécifiques et les abondances des différents embranchements sont très variables d'une classe à l'autre, comme chez les mollusques, ou encore d'un ordre à l'autre, comme chez les crustacés malacostracés.

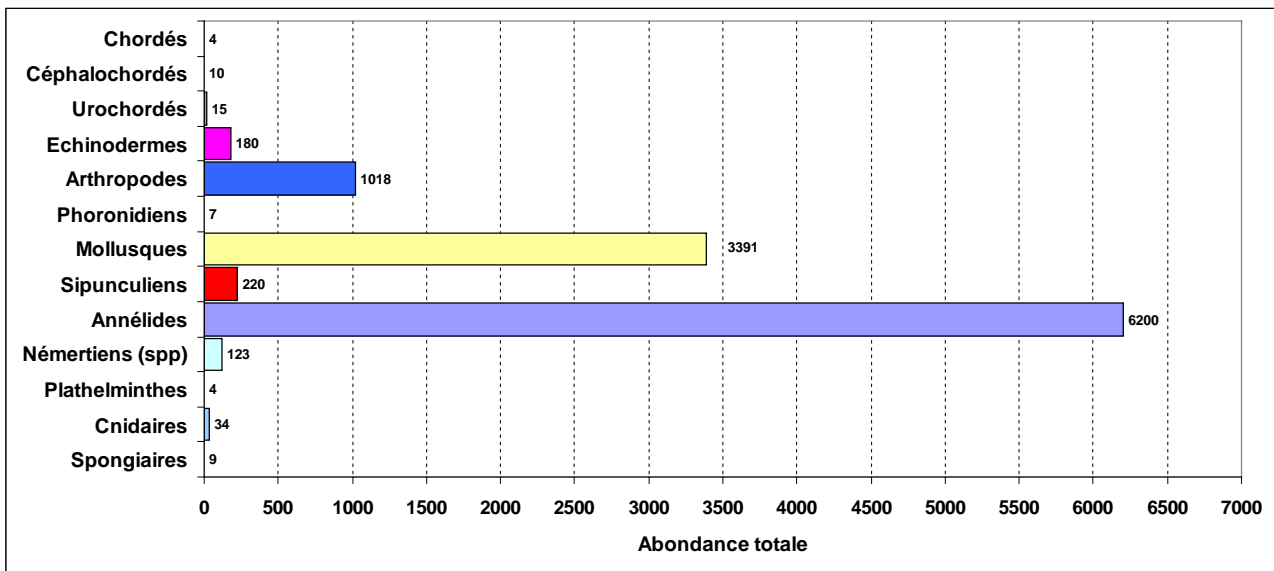
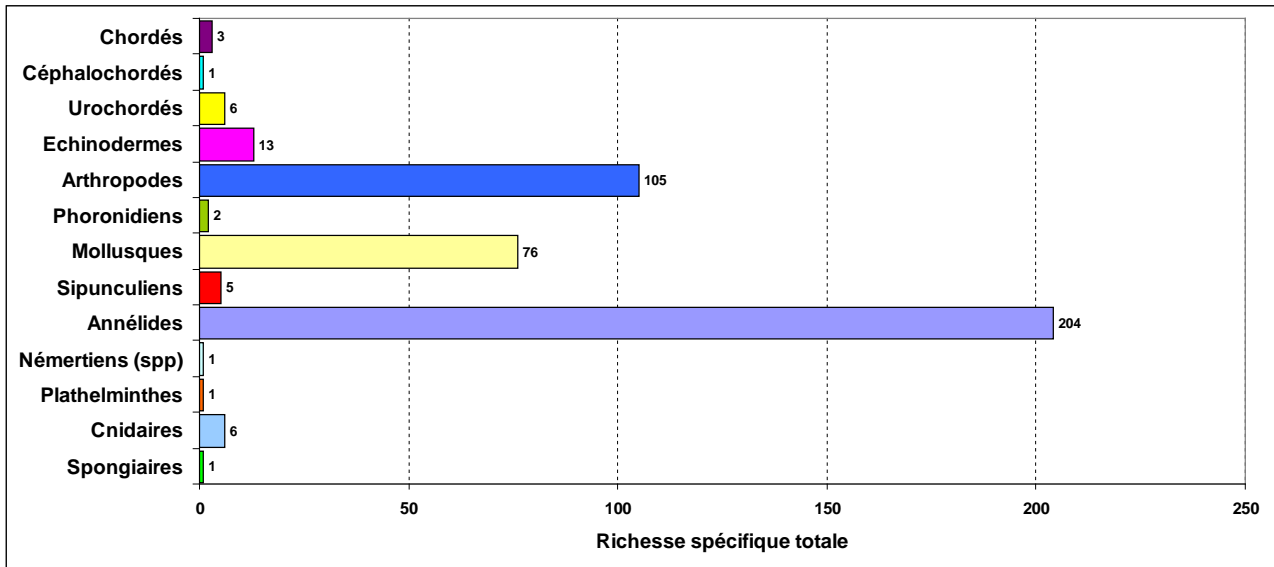


Figure 66 : Richesse spécifique et abondance des divers embranchements inventoriés sur l'ensemble des 36 stations échantillonnées

Les annélides sont de loin le groupe taxonomique dominant, aussi bien en termes de richesse spécifique (204 taxons) que d'abondance (6200 individus). Abstraction faite des deux espèces d'annélides oligochètes, les annélides polychètes regroupent 47,6% de la richesse spécifique totale et 55,2% de l'abondance totale. Si l'on considère les espèces dont l'abondance totale est supérieure ou égale à 100 individus, seules 18 espèces sur 202 (soit 9% de la richesse spécifique en annélides polychètes), appartenant à 11 familles, répondent à ce critère. L'abondance cumulée de ces espèces correspond à 62,6% de l'abondance des annélides et 34,6% de l'abondance de la faune totale (tabl. 9).

ANNELIDES						
Richesse spécifique			Abondance			
204			6200			
Annélides Polychètes						
Richesse spécifique			Abondance			
202			6186			
47,6% de la richesse spécifique totale			55,2% de l'abondance totale			
41 familles						
Espèces	Familles	Abondance	% de l'abondance des annélides	% cumulé	% de l'abondance totale de la faune	% cumulé de la faune totale
<i>Notomastus latericeus</i>	Capitellidae	763	12,3	12,3	6,8	6,8
<i>Pista cristata</i>	Terebellidae	463	7,5	19,8	4,1	10,9
<i>Nematonereis hebes</i>	Eunicidae	430	6,9	26,7	3,8	14,7
<i>Spiophanes bombyx</i>	Spionidae	271	4,4	31,1	2,4	17,2
<i>Euclymene oerstedii</i>	Maldanidae	215	3,5	34,5	1,9	19,1
<i>Aponuphis bilineata</i>	Onuphidae	192	3,1	37,6	1,7	20,8
<i>Lanice conchilega</i>	Terebellidae	172	2,8	40,4	1,5	22,3
<i>Paradoneis armata</i>	Paraonidae	167	2,7	43,1	1,5	23,8
<i>Lumbrineris latreilli</i>	Lumbrineridae	136	2,2	45,3	1,2	25,0
<i>Thelepus setosus</i>	Terebellidae	135	2,2	47,5	1,2	26,2
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Nephtyidae	134	2,2	49,6	1,2	27,4
<i>Chaetozone gibber</i>	Cirratulidae	125	2,0	51,7	1,1	28,5
<i>Lumbrineris gracilis</i>	Lumbrineridae	123	2,0	53,6	1,1	29,6
<i>Marphysa bellii</i>	Eunicidae	117	1,9	55,5	1,0	30,6
<i>Glycera lapidum</i>	Glyceridae	116	1,9	57,4	1,0	31,7
<i>Caulleriella alata</i>	Cirratulidae	113	1,8	59,2	1,0	32,7
<i>Scalibregma celticum</i>	Scalibregmatidae	109	1,8	61,0	1,0	33,7
<i>Mediomastus fragilis</i>	Capitellidae	101	1,6	62,6	0,9	34,6

Tableau 9 : Richesse spécifique et abondance totales des annélides

Chez les mollusques, la classe des bivalves se distingue particulièrement car elle regroupe près de 62% des espèces et 90% de l'abondance totale, mais l'essentiel de l'abondance ne concerne que quelques espèces : *Timoclea ovata*, *Nucula nitidosa*, *N. hanleyi*, *Abra alba*, *A. prismatica* et *Tapes* (*Tapes rhomboides* (synonyme de *Paphia rhomboides* et validé dans WoRMS, en mars 2012, sous le nom de *Polittapes virgineus*) qui, à elles seules, cumulent 90% de l'abondance totale des bivalves (tabl.10).

MOLLUSQUES			
Richesse spécifique		Abondance	
76		3391	
Bivalves			
Richesse spécifique		Abondance	
47		3054	
61,8% des mollusques		90% des mollusques	
Espèces	Abondance	% de l'abondance des bivalves	% cumulé
<i>Timoclea ovata</i>	1469	48,10	48,10
<i>Nucula nitidosa</i>	636	20,83	68,93
<i>Abra alba</i>	322	10,54	79,47
<i>Nucula hanleyi</i>	138	4,52	83,99
<i>Abra prismatica</i>	126	4,13	88,11
<i>Tapes (Tapes) rhomboides</i>	74	2,42	90,54

Tableau 10 : Richesse spécifique et abondance totales des mollusques

Les crustacés malacostracés ont une richesse spécifique sensiblement supérieure à celle des mollusques (respectivement 105 et 76), mais en revanche leur abondance est trois fois moindre (1018 et 3191 respectivement). L'abondance des crustacés est probablement sous-estimée du fait de "l'effet de chasse" engendrée par la benne Hamon lors de son arrivée au fond. L'ordre des amphipodes est le plus diversifié, avec 58 espèces, et près de 50% des individus dénombrés appartiennent au genre *Ampelisca*, dont 8 espèces ont été identifiées (tabl. 11).

CRUSTACÉS MALACOSTRACÉS			
Richesse spécifique		Abondance	
105		1018	
Amphipodes			
Richesse spécifique		Abondance	
58		527	
55,2% des crustacés		51,8% des crustacés	
<i>Ampelisca spp</i>			
Richesse spécifique		Abondance	
8		261	
15,5% des amphipodes		49,5% des amphipodes	
Espèces	Abondance	% de l'abondance des amphipodes	% cumulé
<i>Ampelisca spinipes</i>	112	21,25	21,25
<i>Ampelisca sarsi</i>	58	11,01	32,3
<i>Ampelisca brevicornis</i>	28	5,31	37,61
<i>Ampelisca spooneri</i>	20	3,8	41,41
<i>Ampelisca tenuicornis</i>	14	2,66	44,07
<i>Ampelisca diadema</i>	12	2,28	46,35
<i>Ampelisca typica</i>	8	1,52	47,87
<i>Ampelisca armoricana</i>	7	1,33	49,2

Tableau 11 : Richesse spécifique et abondance totale des crustacés malacostracés

Chez les échinodermes la classe des ophiurides est représentée principalement par deux espèces (*Ophiura albida* et *Amphipholis squamata*) et celle des échinides par *Echinocyamus pusillus*. L'abondance cumulée de ces trois espèces est de 75% de l'abondance totale des échinodermes.

Avec plus de 50% de l'abondance totale, *Golfingia (Golfingia) elongata* est le sipunculien le plus abondant rencontré sur la zone d'étude.

Bien que l'analyse des divers échantillons ait montré une importante diversité, seules 15 espèces cumulent 50% de l'abondance totale. Ce sont essentiellement des polychètes et des bivalves (tabl. 12).

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	%	% cumulé
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	1469	13,08	13,08
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	763	6,79	19,87
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	636	5,66	25,53
<i>Pista cristata</i>	Polychète	463	4,12	29,65
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	430	3,83	33,48
<i>Abra alba</i>	Bivalve	322	2,87	36,35
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	271	2,41	38,76
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	215	1,91	40,67
<i>Aponuphis bilineata</i>	Polychète	192	1,71	42,38
<i>Lanice conchilega</i>	Polychète	172	1,53	43,91
<i>Paradoneis armata</i>	Polychète	167	1,49	45,40
<i>Nucula hanleyi</i>	Bivalve	138	1,23	46,63
<i>Lumbrineris latreilli</i>	Polychète	136	1,21	47,84
<i>Thelepus setosus</i>	Polychète	135	1,20	49,04
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Polychète	134	1,19	50,23

Tableau 12 : Abondance des principales espèces avec les pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Sur les 424 taxons identifiés, aucune espèce n'est commune aux 36 stations. Seules 10 espèces (1,9%) sont présentes dans au moins 50% des stations (fig. 67) et les abondances cumulées de ces espèces représentent 32,7% de l'abondance totale (tabl. 13). Sur les 146 espèces (34,35%) qui n'ont été identifiées que dans une seule station (espèces uniques), 111 (26,1%) ne sont représentées que par un seul individu (singleton) et 23 par deux individus (doublon). Les 218 espèces dont l'occurrence est restreinte à une ou deux stations, que l'on peut qualifier de rares, constituent 51,3% de la richesse spécifique totale et seulement 4,9% de l'abondance totale du secteur prospecté. Parmi ces 218 espèces, 111 sont des singletons et 66 des doublons. Ces espèces rares sont majoritairement des annélides polychètes (42%), des crustacés (28%) et des mollusques (19%).

Espèces	Groupe taxonomique	Nombre de stations où l'espèce est présente	Abondance totale
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	30	763
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	28	1469
<i>Lumbrineris gracilis</i>	Polychète	28	122,5
<i>Némertes (spp)</i>	Némertien	25	124
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	21	636
<i>Clymenura cf trcirrata</i>	Polychète	21	87
<i>Lanice conchilega</i>	Polychète	20	172
<i>Ampelisca spinipes</i>	Crustacé	20	112
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	19	113
<i>Aonides oxycephala</i>	Polychète	19	78

Tableau 13 : Espèces présentes dans 50% et plus des stations

Les cartes de distribution spatiale de quelques espèces d'invertébrés de substrats meubles sont présentées en annexe 10.

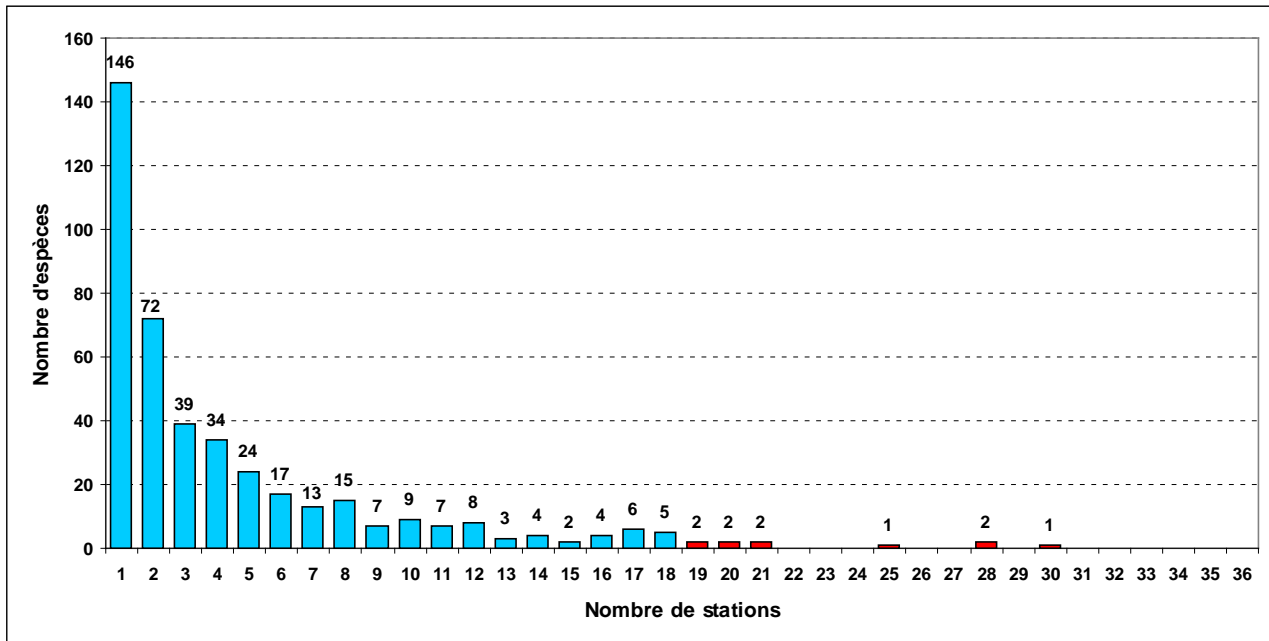


Figure 67 : Répartition des espèces en fonction du nombre de stations où elles sont présentes

3.3.1.2. Richesse spécifique et abondance par station

La richesse spécifique par station varie de 12 espèces aux stations BH 8 et BH 13 à 95 à la station BH 7C, avec une moyenne pour l'ensemble du site de 53 espèces (± 22) (fig. 68). Cette disparité entre stations se retrouve pour les abondances. Les abondances par station ($3/8m^2$) varient de 23 individus à la station BH 8 à 1073 à la station BH 19 (fig. 69 et tabl. 14) et la moyenne sur l'ensemble de la zone étudiée est de 312 (± 274) par station. Les écarts-types importants traduisent une forte hétérogénéité dans la distribution, aussi bien de la richesse spécifique que de l'abondance.

A noter que la station la plus diversifiée (BH 7C) n'est pas celle qui présente la plus forte abondance. En revanche, les minima de richesse spécifique et d'abondance concernent les mêmes stations.

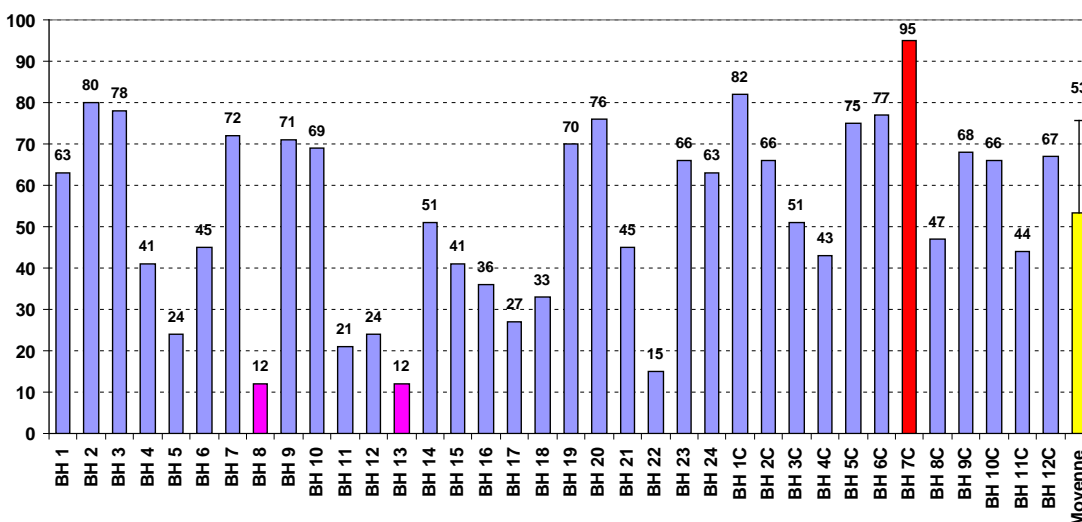
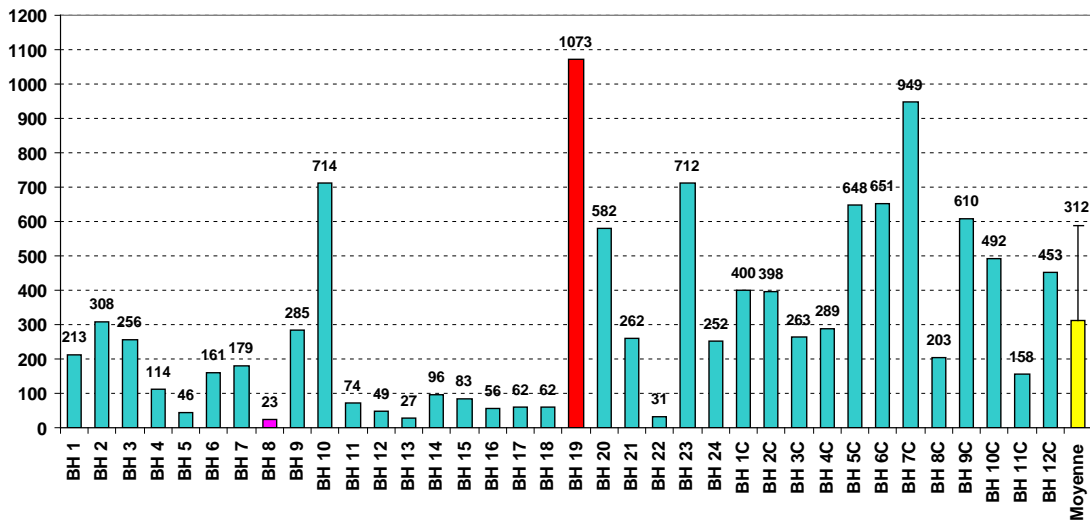
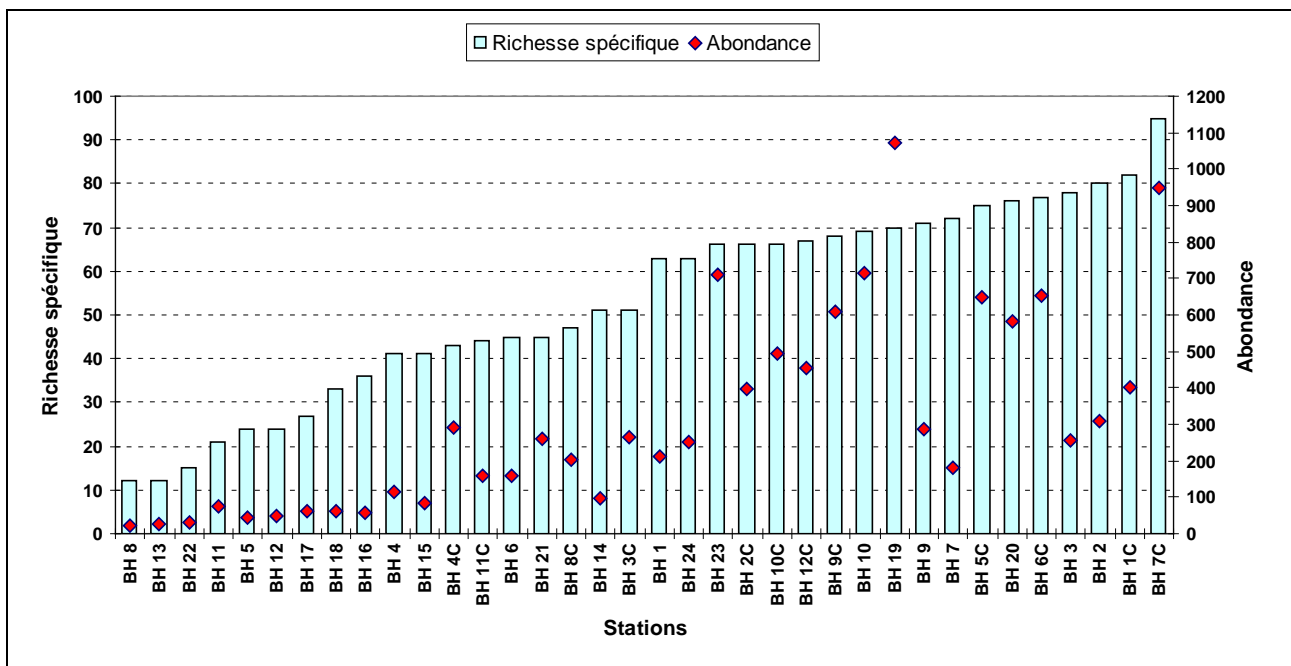


Figure 68 : Richesse spécifique par station ($3/8m^2$)

Figure 69 : Abondance par station (3/8m²)

Si l'on croise les données de richesse spécifique et d'abondance, la courbe de tendance associée est de type logarithmique avec un coefficient de détermination R^2 de 0,81 et une probabilité $p = 0,03$, ($< 0,05$), attestant d'une corrélation élevée entre ces deux variables (fig. 70 et 71). Deux groupes de stations se démarquent :

- les stations BH9, BH 7, BH 3, BH 2 et BH 1C se caractérisent par une forte diversité mais avec des abondances relativement faibles (en moyenne $S = 77 \pm 5$ et $A = 286 \pm 80$ par station de 3/8m²) ;
- les stations BH 19, BH 23, BH 10 et BH 9C ont une diversité pratiquement équivalente à celle du groupe précédent (S moy. = 68 ± 2), mais elles présentent de fortes abondances (A moy. = 777 ± 203). Celles-ci sont liées aux fortes densités d'une ou plusieurs espèces (*Timoclea ovata* et *Nucula nitidosa* aux stations BH 19 et BH 10, *Timoclea ovata* à la station BH 23, *Nematonereis hebes* et *Notomastus latericeus* à la station BH 9C).

Figure 70 : Richesse spécifique et abondance par station (3/8m²)

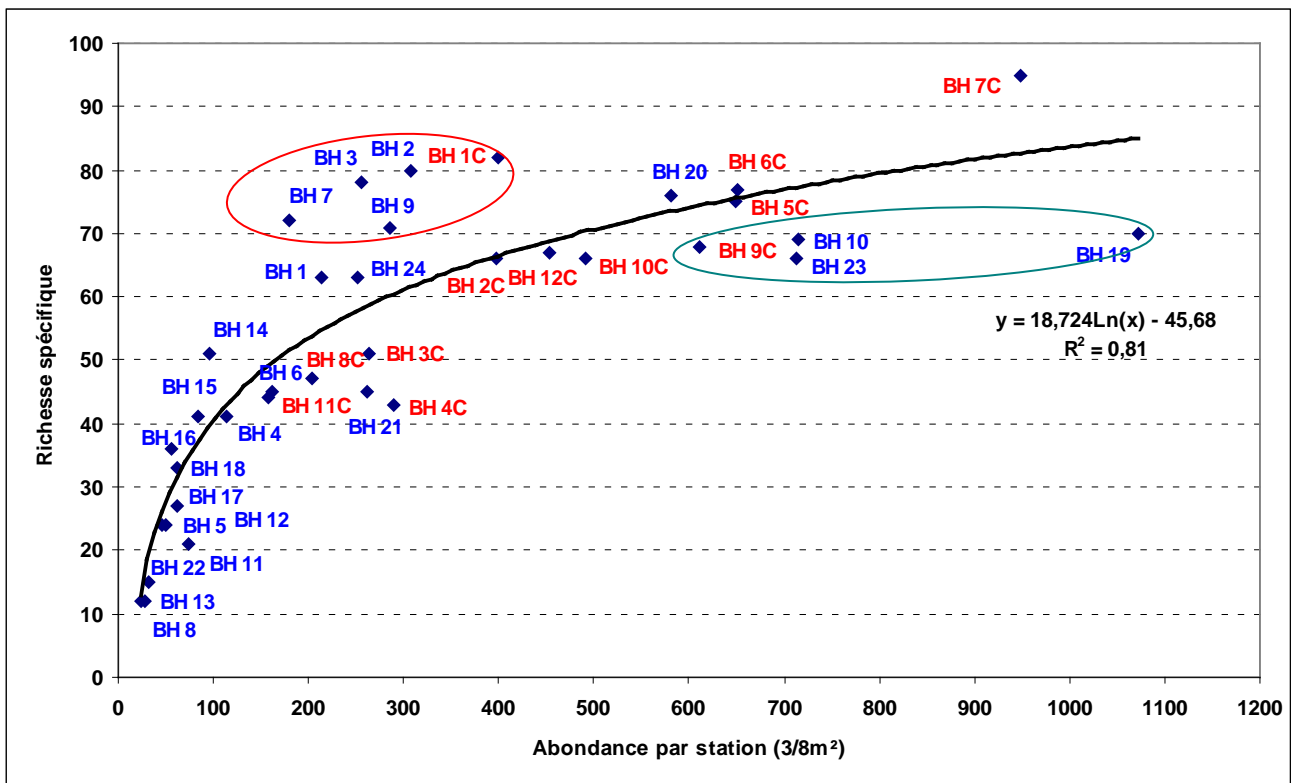


Figure 71 : Relation : richesse spécifique - abondance (3/8 m²)

3.3.1.3. Indices de diversité et d'équitabilité

L'indice de diversité H' varie de 5,79 à la station BH 7 à 3,14 à la station BH10 et J' de 0,95 à la station BH 16 à 0,51 à la station BH10 (tab 14). Pour 75% des stations H' est > 4 et $J' > 0,7$, ce qui indique que ces stations sont diversifiées mais sans dominance particulière d'une ou plusieurs espèces (fig. 71). En revanche, ce n'est pas le cas pour quelques stations (BH 10, BH 19, BH 23) où les abondances sont élevées mais l'équitabilité beaucoup plus faible (de l'ordre de 0,5), témoignant de la dominance d'une ou plusieurs espèces.

Stations	Richesse spécifique par station (3x1/8m ²)	Abondance par station (3/8m ²)	Abondance par m ²	H'(log2)	J'
BH 1	63	213	568	5,04	0,84
BH 2	80	308	821	5,67	0,90
BH 3	78	256	683	5,59	0,89
BH 4	41	114	304	4,50	0,84
BH 5	24	46	123	4,25	0,93
BH 6	45	161	429	4,27	0,78
BH 7	72	179	477	5,79	0,94
BH 8	12	23	61	3,25	0,91
BH 9	71	285	760	5,12	0,83
BH 10	69	714	1904	3,14	0,51
BH 11	21	74	197	3,44	0,78
BH 12	24	49	131	3,88	0,85
BH 13	12	27	72	3,16	0,88
BH 14	51	96	256	5,27	0,93
BH 15	41	83	221	4,99	0,93
BH 16	36	55	147	4,90	0,95
BH 17	27	62	165	4,22	0,89
BH 18	33	62	165	4,73	0,94
BH 19	70	1073	2861	3,32	0,54
BH 20	76	582	1552	4,80	0,77
BH 21	45	262	699	4,08	0,74
BH 22	15	31	83	3,40	0,87
BH 23	66	712	1899	3,40	0,56
BH 24	63	252	672	4,80	0,80
BH 1C	82	400	1067	5,58	0,88
BH 2C	65	398	1061	3,95	0,66
BH 3C	51	263	701	4,08	0,72
BH 4C	42	289	771	4,30	0,80
BH 5C	75	648	1728	4,87	0,78
BH 6C	77	651	1736	5,01	0,80
BH 7C	95	949	2531	5,05	0,77
BH 8C	47	203	541	4,79	0,86
BH 9C	68	610	1627	4,33	0,71
BH 10C	66	492	1312	4,44	0,73
BH 11C	44	158	421	4,59	0,84
BH 12C	67	453	1208	4,73	0,78

Tableau 14 : Richesse spécifique, abondance et indices (diversité et équitabilité) par station

3.3.1.4. Structure trophique générale

L'analyse de la structure trophique sur l'ensemble de la zone, révèle qu'en termes de richesse spécifique, les trois groupes les mieux représentés sont les carnivores (31%), les déposivores sélectifs (25%) et les suspensivores (23%) (fig 72 a).

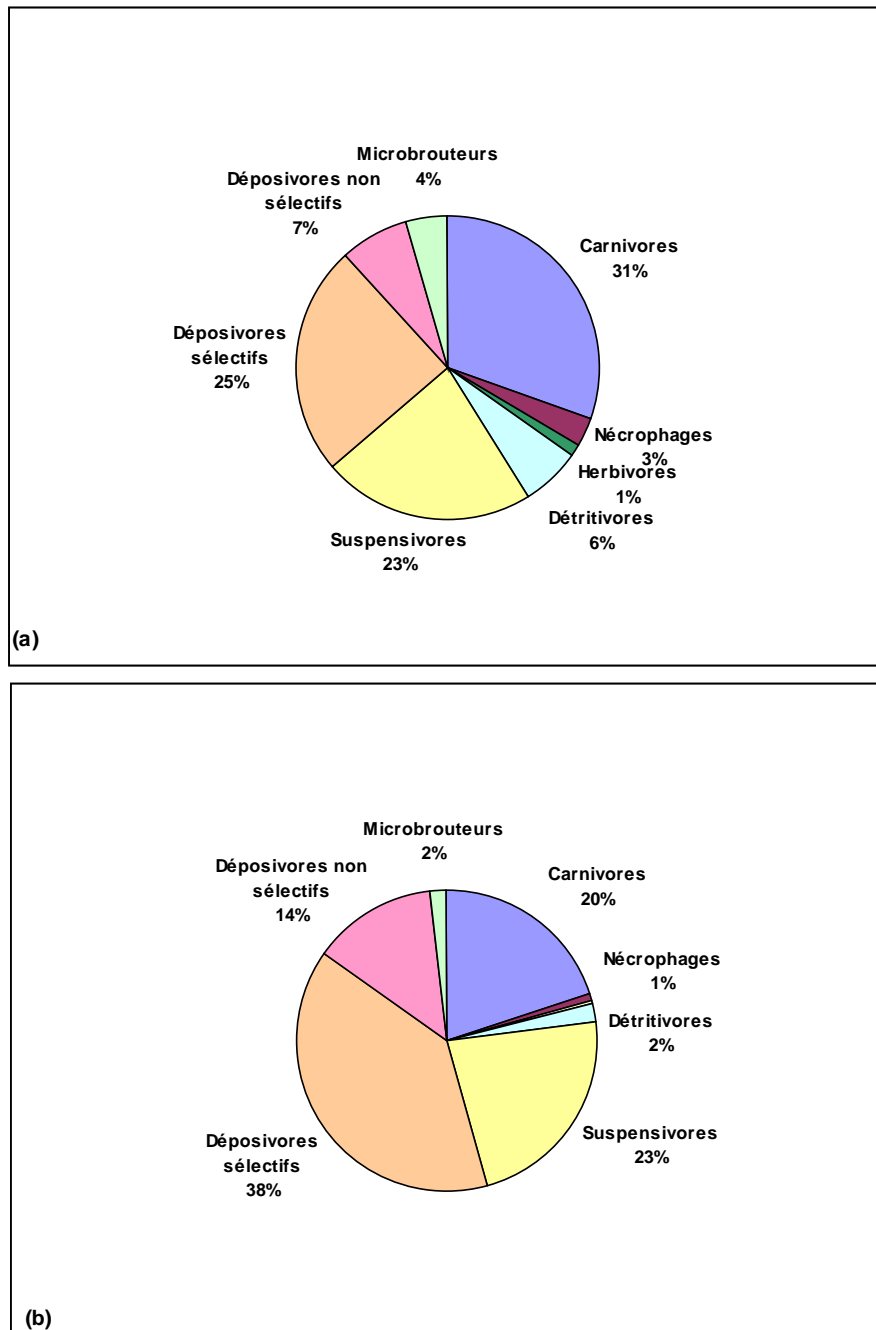


Figure 72 : Structure trophique sur l'ensemble de la zone étudiée, au regard de la richesse spécifique (a) et de l'abondance (b)

En ce qui concerne les abondances, les dépositivores sélectifs et non sélectifs dominent largement la structure trophique avec 52 % de l'abondance totale. Les carnivores, qui constituent le groupe le plus important en termes de richesse spécifique, ne concernent que 20% de l'abondance totale. Quant aux suspensivores, leur pourcentage est inchangé, que ce soit en termes de richesse spécifique ou d'abondance (fig. 72 b).

Bien que ces données générales relatives à la macrofaune benthique sur l'ensemble de la zone étudiée laissent apparaître de fortes hétérogénéités spatiales, aussi bien en termes de richesse spécifique que d'abondance, elles ne suffisent pas à identifier et caractériser les principales unités de peuplements. Pour cela, les analyses statistiques complémentaires (CAH, MDS), basées sur la matrice espèces/stations, ont été appliquées.

3.3.2. Identification des ensembles faunistiques

A partir de la matrice des abondances moyennes par station et pour un pourcentage de similarité de l'ordre de 25%, la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH), couplée à un test de similarité SIMPROF ($p < 0,05$), permet de définir 5 groupements de stations (fig. 73).

Groupe A : BH 13, BH 8, BH 11, BH 12, BH 17, BH 22

Groupe B : BH 2C, BH 4C, BH 5, BH 15, BH 16, BH 18

Groupe C : BH 4, BH 1, BH 6

Groupe D : BH 21, BH 20, BH 24, BH 23, BH 8C, BH 11C, BH 12C

Groupe E : BH 7, BH 14, BH 9, BH 1C, BH 2, BH 3, BH 3C, BH 7C, BH 6C, BH 9C, BH 10C, BH 5C, BH 10, BH 19

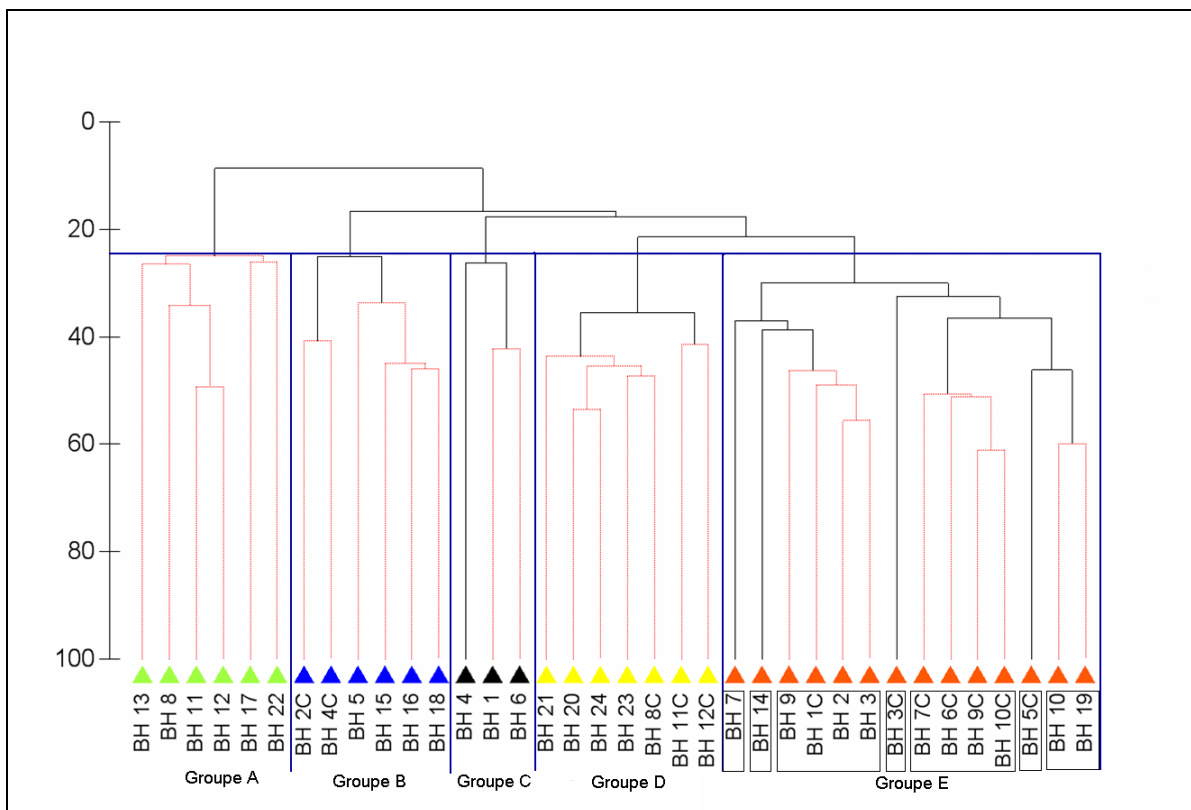


Figure 73 : Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur la matrice des abondances moyennes des espèces par station (SIMPROF $p < 0,05$)

La valeur de stress de 0,15 de la représentation obtenue pour le cadrage multidimensionnel (MDS) traduit une représentation satisfaisante des stations dans un espace à 2 dimensions (fig. 74). Le positionnement géographique des différents groupes à l'échelle de la zone d'étude (fig.75) laisse apparaître une dispersion spatiale des stations au sein d'un même groupe, en particulier, pour les groupes B et E.

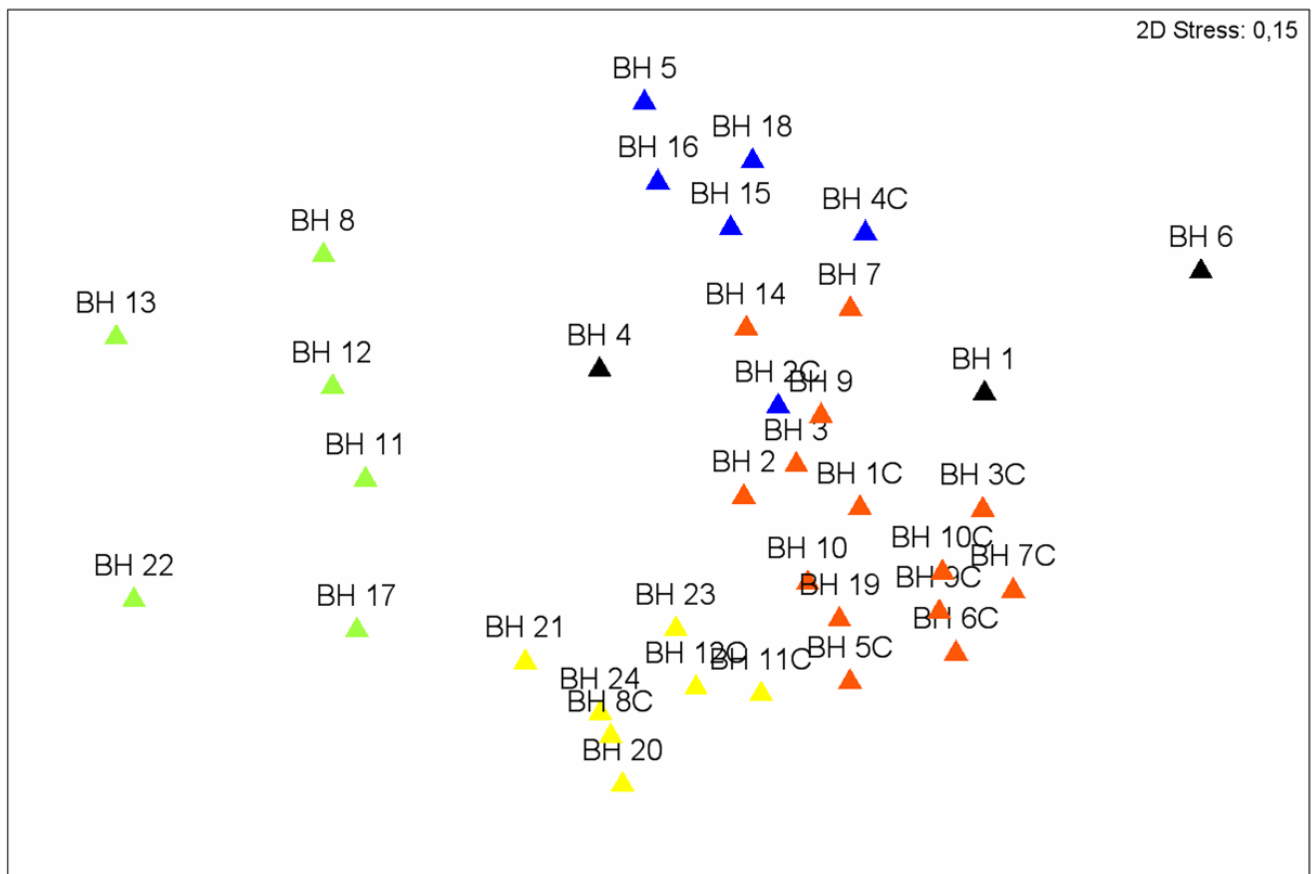


Figure 74 : Positionnement Multidimensionnel (MDS) sur la matrice des abondances moyennes des espèces par station

Le nombre de stations par groupe varie de 3 pour le groupe C à 14 pour le groupe E. Seules les stations du groupe A s'individualisent nettement dans l'analyse et semblent ne présenter qu'une faible similarité avec l'ensemble des autres stations échantillonnées. Le groupe E est de loin le plus important puisqu'il englobe 14 des 36 stations de la zone d'étude, dont la majorité des stations complémentaires échantillonnées en 2010.

D'un point de vue général, la richesse spécifique moyenne par station est croissante du groupe A au groupe E, (de 19 à 72). Il en est de même pour l'abondance moyenne, mais dans un rapport nettement supérieur (de 1 à 10) et avec des écart-types importants qui traduisent la variabilité de l'abondance entre les stations d'un même groupe (fig.76)

En termes de richesse spécifique, l'analyse de la structure trophique par groupe de stations montre que les carnivores, les suspensivores et les déposivores (sélectifs et non sélectifs) sont les régimes trophiques dominants (à plus de 50% en pourcentages cumulés), quel que soit le groupe de stations (fig. 77). En termes d'abondance, ces groupes peuvent être scindés en deux : d'une part les groupes A et B, caractérisés par de plus fortes proportions de carnivores (environ 30%) et un pourcentage de suspensivores faible (de l'ordre de 10%) et, d'autre part, les groupes C, D et E où les déposivores (sélectifs et non sélectifs) dominent largement avec plus de 50% de l'abondance totale dans chaque groupe, et les suspensivores en proportions quasi-équivalentes (de l'ordre de 25%) dans ces trois groupes (fig.78).

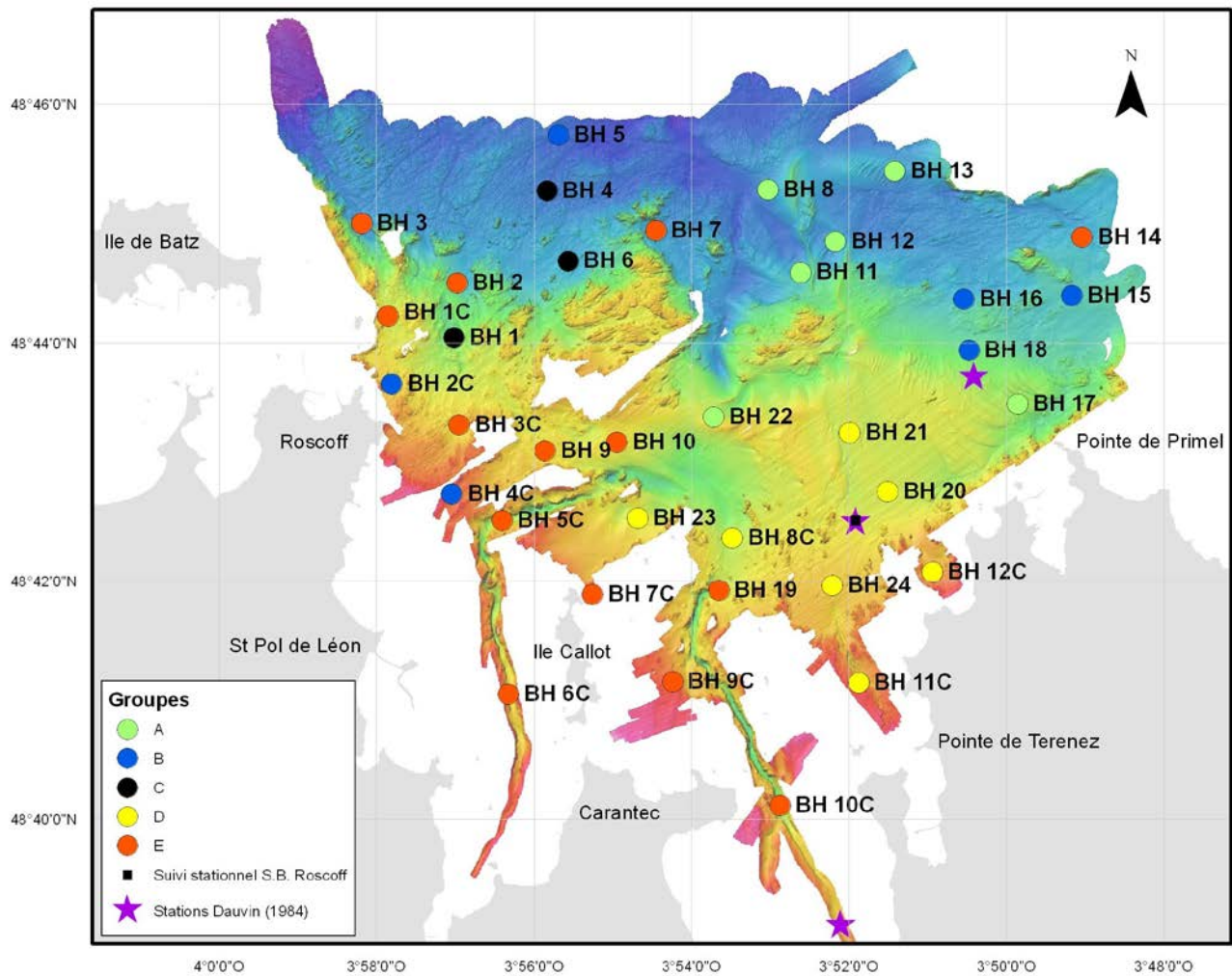


Figure 75 : Carte de situation des différents groupes de stations sur fond de carte bathymétrique

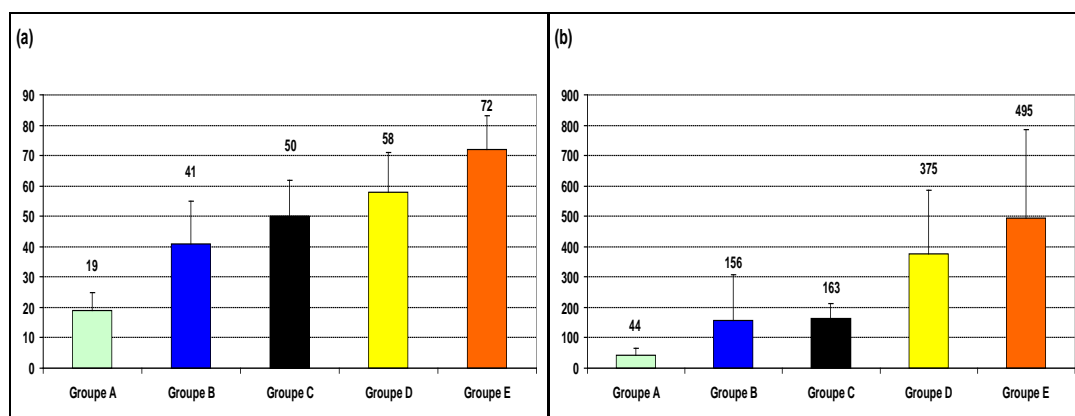


Figure 76 : (a) Richesse spécifique moyenne (et écart-type) et (b) abondance moyenne (et écart-type) pour chaque groupe de stations

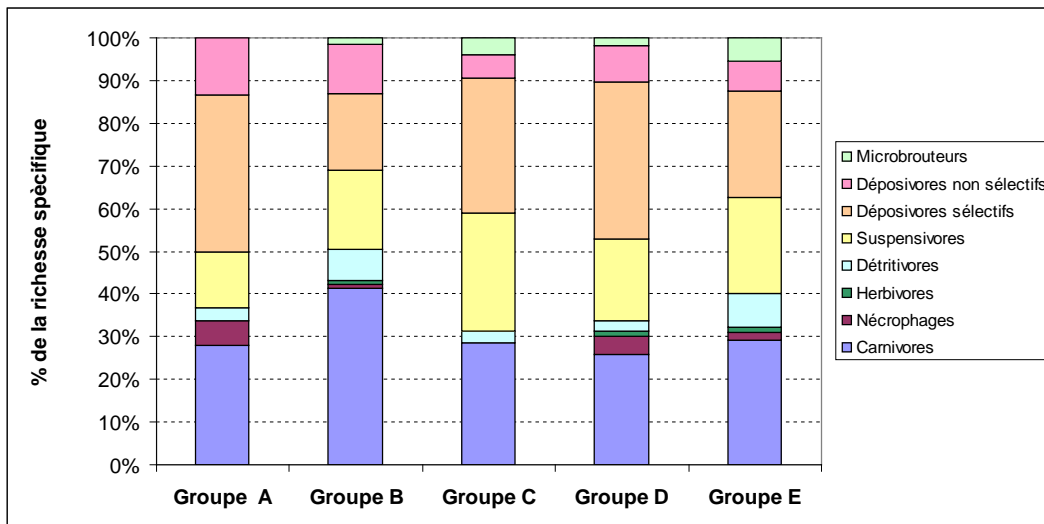


Figure 77 : Structure trophique, en pourcentage de la richesse spécifique, pour chaque groupe de stations

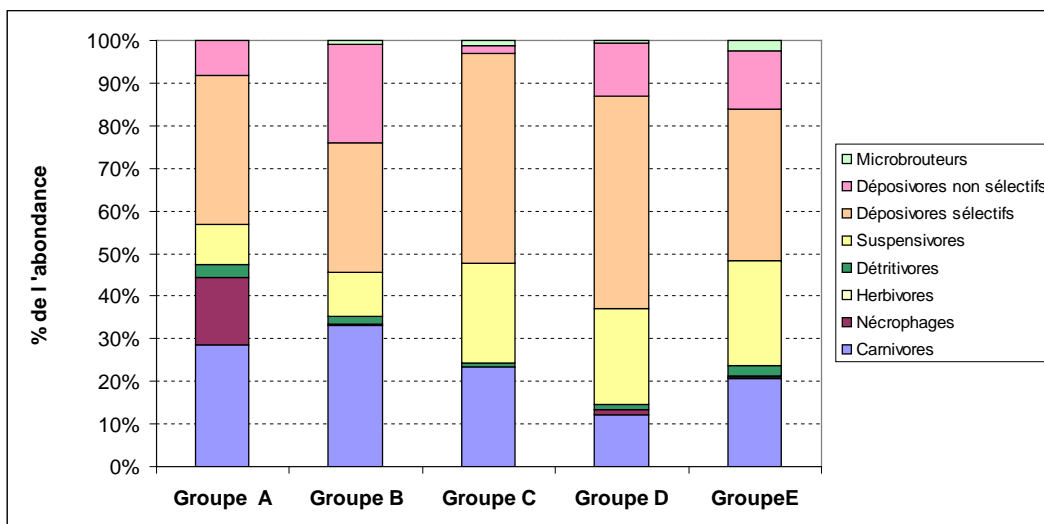


Figure 78 : Structure trophique, en pourcentage de l'abondance, pour chaque groupe de stations

3.3.3. Caractérisation biosédimentaire des unités de peuplements

Compte tenu de l'importance des conditions édaphiques dans la structuration des peuplements benthiques, il apparaît nécessaire de faire le lien entre les analyses faunistiques et les analyses granulométriques, en émettant toutefois certaines réserves :

- Les prélèvements pour ces deux types d'analyses ont été réalisés avec des bennes différentes dont les profondeurs de pénétration maximale sont de 10 à 15cm dans le cas de la benne Shipek (prélèvements sédimentaires) et 20 à 30cm pour la benne Hamon (prélèvements biologiques).
- Les prélèvements sédimentaires et biologiques ne sont pas systématiquement positionnés au même endroit, et les données granulométriques considérées correspondent au prélèvement sédimentaire le plus proche de chacune des stations biologiques.
- Certains prélèvements sédimentaires sont beaucoup trop éloignés des stations biologiques échantillonnées, aussi l'information fournie par les analyses granulométriques ne concerne qu'un nombre restreint de stations biologiques. Néanmoins, la photographie d'une benne réalisée lors de son échantillonnage apporte, visuellement, un complément d'information sur la nature sédimentaire de chacune des stations échantillonnées.

3.3.3.1. Groupement de stations A : BH 13, BH 8, BH 11, BH 12, BH 17, BH 22

Cet ensemble est constitué de 4 stations positionnées dans le secteur nord-est de la zone d'étude (la station BH 13 à l'ouest des Trépiers et les stations BH 8, BH 11 et BH 12 au nord du massif rocheux Ar Rater), dans des fonds supérieurs à 30 mètres, et les stations BH 22 (dans l'axe du Grand chenal) et BH 17 (au nord-ouest de la pointe de Primel) dans des fonds d'une vingtaine de mètres (fig. 79a et b).

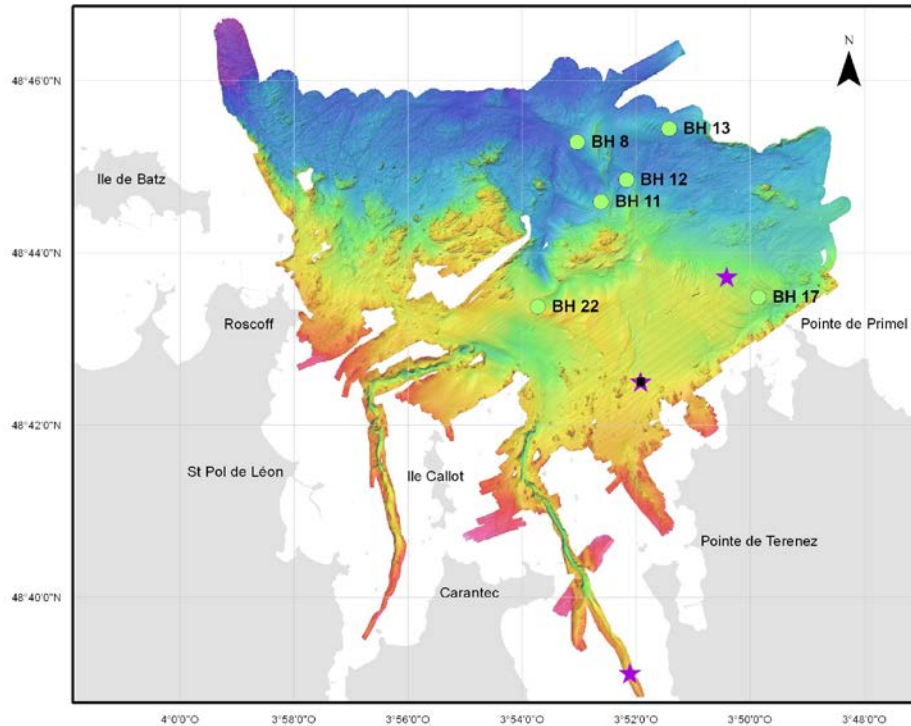


Figure 79 (a) : Carte de situation des stations du groupe A

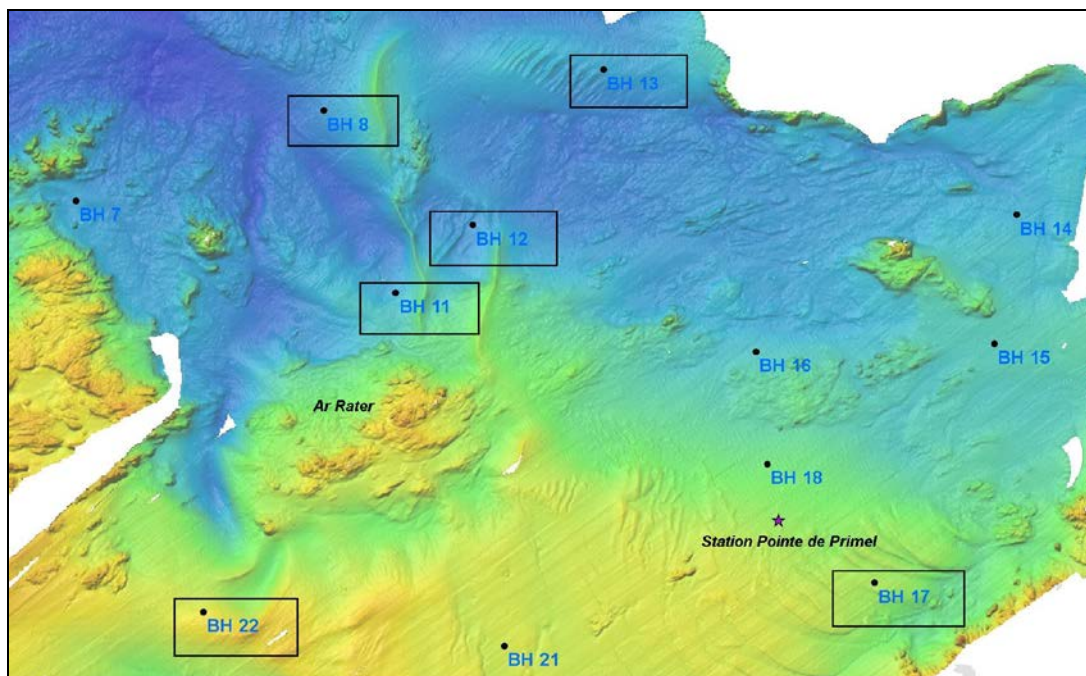


Figure 79 (b) : Carte zoomée de situation des stations du groupe A

Ce groupe, qui s'isole complètement dans l'analyse (fig. 73), se caractérise par une faible diversité et de faibles abondances (fig.76). Les stations BH 8 et BH 13 sont les moins diversifiées et les moins denses de toutes les stations analysées (fig. 68 et 69). Seulement 69 taxons ont été identifiés, pour 266 individus.

Annélides, mollusques et crustacés cumulent plus de 90% de la richesse spécifique et de l'abondance totale et le régime trophique dominant est celui des déposivores sélectifs, aussi bien en termes de richesse spécifique que d'abondance (fig. 80 et 81). L'importance des nécrophages dans ce groupe est liée aux nombreux représentants de l'espèce *Bathyporeia elegans* (41). L'attribution de son appartenance à cette catégorie trophique a été faite en se référant à la première proposition d'index taxonomique et trophique de la faune des milieux marins côtiers établie par le LEMAR (IUEM) dans le cadre du projet REBENT. Cependant, il semble plutôt que cette espèce appartienne à la catégorie des déposivores de subsurface (Dauvin, 1984, 1986) équivalent à la catégorie déposivores non sélectifs.

Sur les 69 taxons, seules 5 espèces comptabilisent un peu plus de 50% de l'abondance totale (tabl. 15). L'espèce la plus abondante est un crustacé amphipode (*Bathyporeia elegans*). Les bivalves sont représentés par trois espèces : *Abra prismatica*, *Abra alba* et *Tellina pygmaea* et les polychètes par *Nephtys cirrosa* et *Spiophanes bombyx*.

Les espèces les plus abondantes n'étant pas nécessairement les plus caractéristiques d'un peuplement, le classement des espèces en fonction de leur coefficient DxP (Dominance x Présence) permet, au sein du groupe, de dresser la liste des espèces "leaders" (tab. 16). Les espèces qui ont les plus fortes valeurs de ce produit sont celles qui sont les mieux représentées, à la fois en termes de présence et d'abondance. La valeur de seuil de 1 ayant été retenue, 7 espèces répondent à ce critère : le crustacé amphipode *Bathyporeia elegans*, les annélides polychètes *Nephtys cirrosa*, *Glycera oxycephala*, *Spiophanes bombyx* et les mollusques bivalves *Tellina pygmaea*, *Abra prismatica* et *Spisula elliptica*.

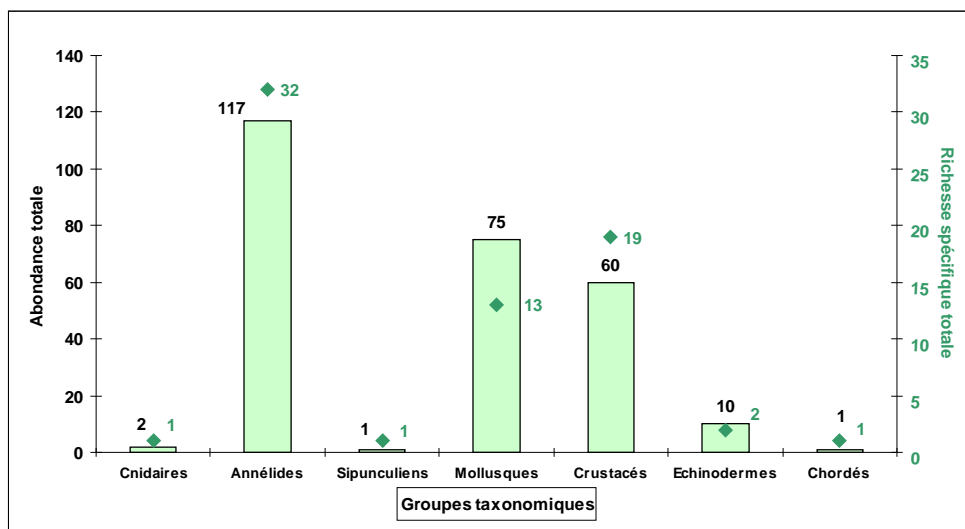


Figure 80 : Groupe A : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes taxonomiques

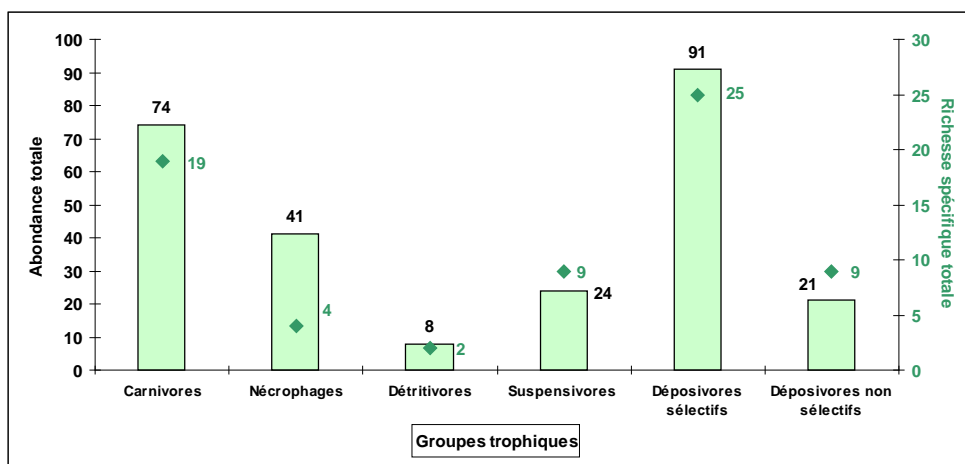


Figure 81 : Groupe A : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes trophiques

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Bathyporeia elegans</i>	Crustacé	38	14,3	14,3
<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	35	13,2	27,4
<i>Abra prismatica</i>	Bivalve	23	8,6	36,1
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	16	6,0	42,1
<i>Tellina pygmaea</i>	Bivalve	15	5,6	47,7
<i>Abra alba</i>	Bivalve	11	4,1	51,9

Tableau 15 : Abondance des principales espèces du groupe A et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

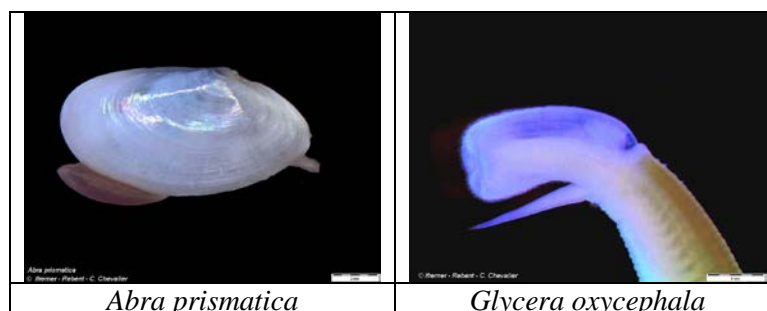
Espèces	Groupe taxonomique	DxP Groupe A
<i>Bathyporeia elegans</i>	Crustacé amphipode	8,70
<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	6,74
<i>Tellina pygmaea</i>	Bivalve	5,64
<i>Abra prismatica</i>	Bivalve	4,08
<i>Glycera oxycephala</i>	Polychète	2,56
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	2,01
<i>Spisula elliptica</i>	Bivalve	1,68

Tableau 16 : Classement des espèces du groupe A en fonction du coefficient DxP

Le calcul de l'indice IndVal, qui repose sur la moyenne des abondances des espèces et leur fréquence relative d'occurrence, identifie quatre espèces indicatrices dans ce groupe (tab. 17), mais aucune n'a une valeur indicatrice maximale de 100% qui témoignerait alors du fait qu'elle n'est présente que dans ce groupe et dans toutes les stations du groupe.

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Groupe A
<i>Nephtys cirrosa</i>	Polychète	74,7 %
<i>Bathyporeia elegans</i>	Crustacé amphipode	62,4 %
<i>Glycera oxycephala</i>	Polychète	50 %
<i>Tellina pygmaea</i>	Bivalve	50 %

Tableau 17 : Classement des espèces du groupe A en fonction de leur indice IndVal



Hormis, pour la station BH 13, pour laquelle le prélèvement sédimentaire correspondant est la Shipek 24 (Rebent 17), il n'y a pas de prélèvements sédimentaires correspondant aux autres stations du groupe A. Néanmoins, les photographies des prélèvements biologiques révèlent une similitude sédimentaire entre toutes les stations du groupe (fig. 82). Si l'on se réfère à l'analyse granulométrique de la benne Shipek 24 (fig. 83), ces stations se caractérisent par une fraction dominante de sables moyens (49%), et un pourcentage significatif (36%) de sables fins.

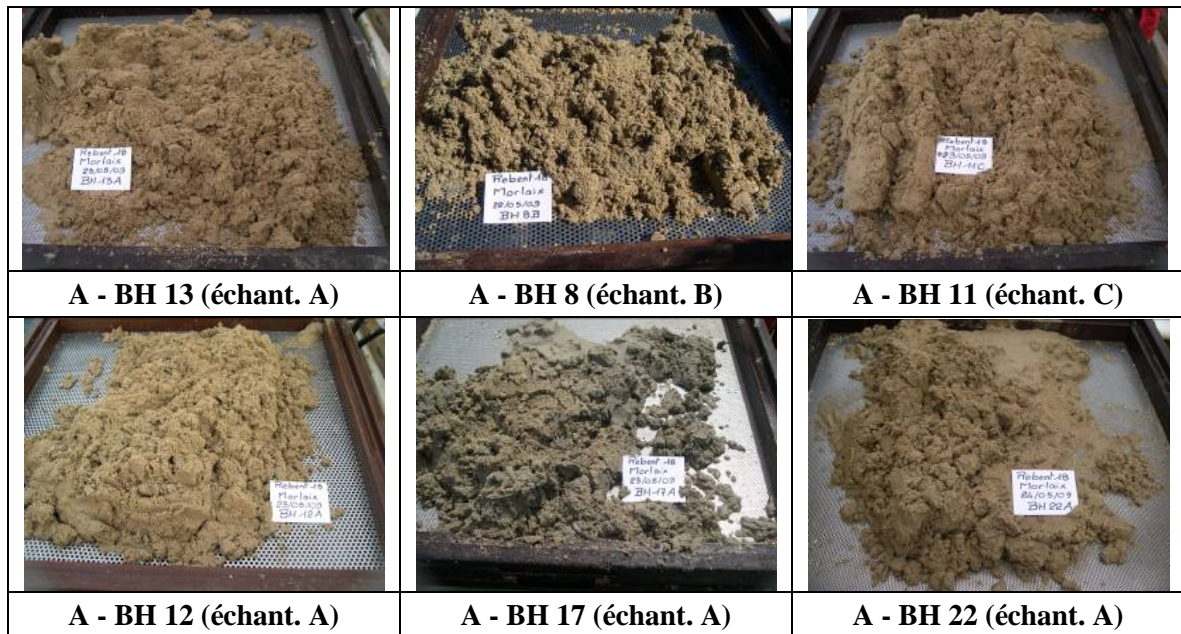


Figure 82 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon du groupe A

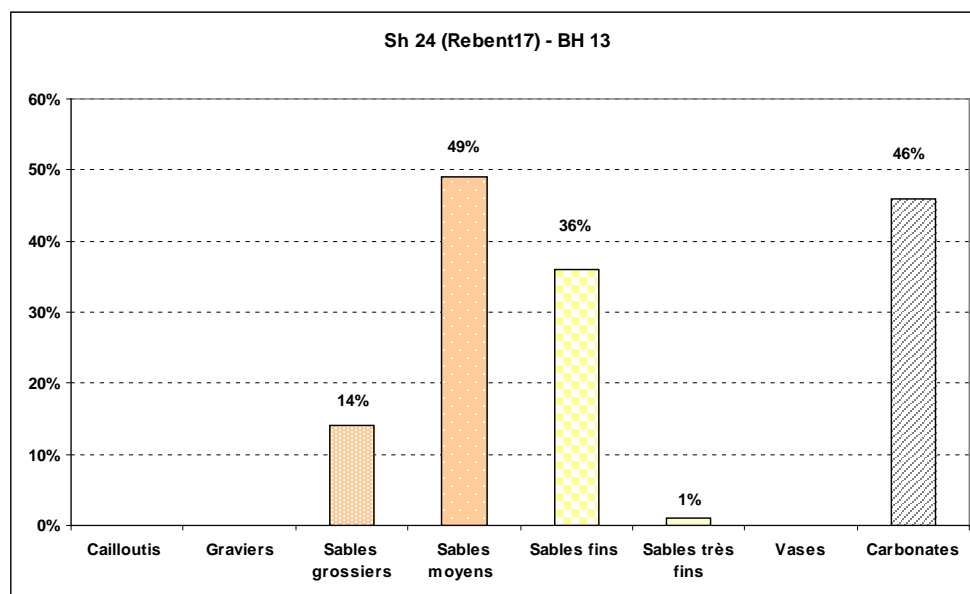


Figure 83 : Analyse granulométrique de l'échantillon Sh 24 (Rebent 17)

Les principales espèces identifiées comme étant caractéristiques de ce groupe ont une affinité marquée pour les sédiments fins à moyens propres, cas des annélides *Nephtys cirrosa* et *Glycera oxycephala*, ainsi que pour les sables fins, comme le bivalve *Tellina pygmaea* et le crustacé amphipode *Bathyporeia elegans*. Le bivalve *Abra prismatica*, présent dans chacune des stations du groupe mais à des densités relativement faibles par rapport à d'autres secteurs de la baie, est considérée comme caractéristique des sables fins à moyens propres et mobiles. L'instabilité sédimentaire se traduit par une diversité et des abondances faibles (Brown *et al.*, 2002).

Toutes les stations de ce groupe appartiennent à cet environnement sédimentaire instable constitué majoritairement de sables fins et moyens, même si l'on observe une certaine hétérogénéité interne liée en partie à leurs positions géographique et bathymétrique que l'on retrouve au niveau du dendrogramme (fig. 73).

Au nord de Ar Rater :

- la station BH 13, située sur le banc des Trépieds, se caractérise du point de vue faunistique par une très faible diversité (12 espèces) et une faible abondance (27). La présence de l'échinoderme *Echinocyamus pusillus* et l'absence de l'amphipode *Bathyporeia elegans* confirment l'importance des sables moyens et de la fraction grossière du sédiment.
- les stations BH 8, BH 11 et BH 12, sur le corps sableux au nord de Ar Rater, dont la fraction granulométrique dominante est constituée de sables moyens même si les sables fins sont également bien représentés. L'amphipode *Bathyporeia elegans*, l'annélide *Nephtys cirrosa* et le bivalve *Abra prismatica* sont les espèces communes à ces trois stations. Le léger envasement à la station BH 11 se traduit par la présence du bivalve *Abra alba*.

Au sud de Ar Rater :

- la station BH 17, dans le corps sableux au nord-ouest de la pointe de Primel constitué de sable calcaire et de graviers coquilliers au creux des sillons dont les espèces les plus abondantes sont *Abra prismatica* et *Spiophanes bombyx*.
- La station BH 22, au niveau de la dune du Rater, où l'instabilité sédimentaire se traduit au niveau faunistique par la présence d'annélides de la famille des ophéliidés : *Armandia polyophthalma* et *Travisia forbesii*.

Les stations de ce groupe A peuvent donc être caractérisées comme étant des stations de **sables fins à moyens mobiles à *Abra prismatica***.

3.3.3.2. Groupement de stations B : BH 2C, BH 4C, BH 5, BH 15, BH 16, BH 18

Les 6 stations de ce groupe se positionnent dans différents secteurs de la zone d'étude et à des profondeurs différentes : la station BH 5, la plus au Nord, se situe dans des fonds supérieurs à 30 mètres, les stations BH 16, BH 15 et BH 18, à l'ouest et au nord de la pointe de Primel dans des fonds de 20 à 30 mètres et les stations BH 2C et BH 4C, à proximité de la pointe de Roscoff et dans l'axe du chenal de la Penzé, dans des fonds d'une dizaine de mètres (fig. 84a et b).

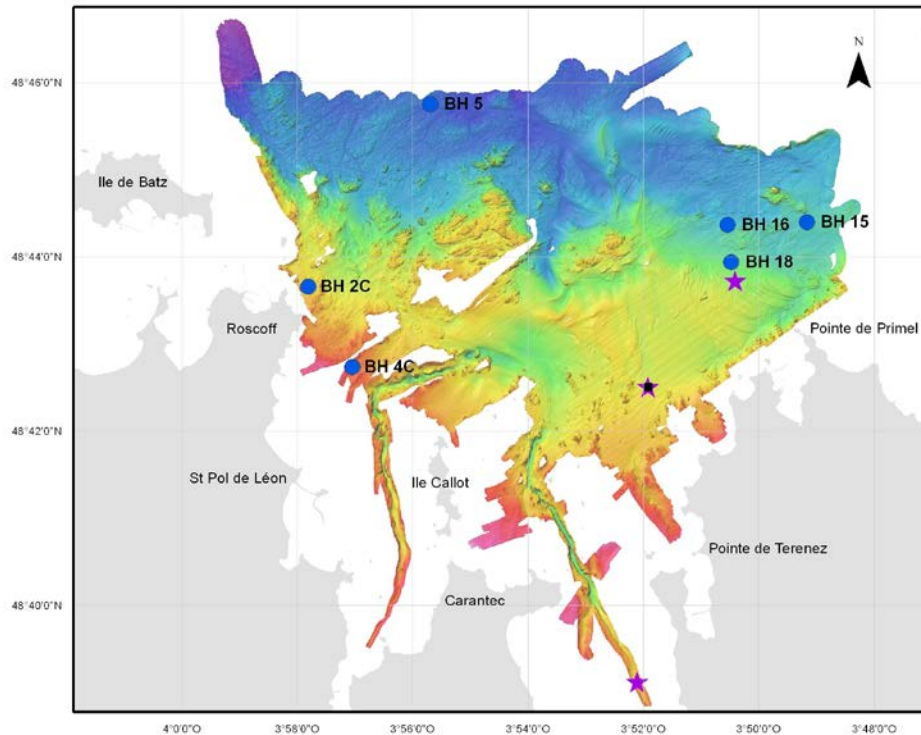


Figure 84a : Carte de situation des stations du groupe B

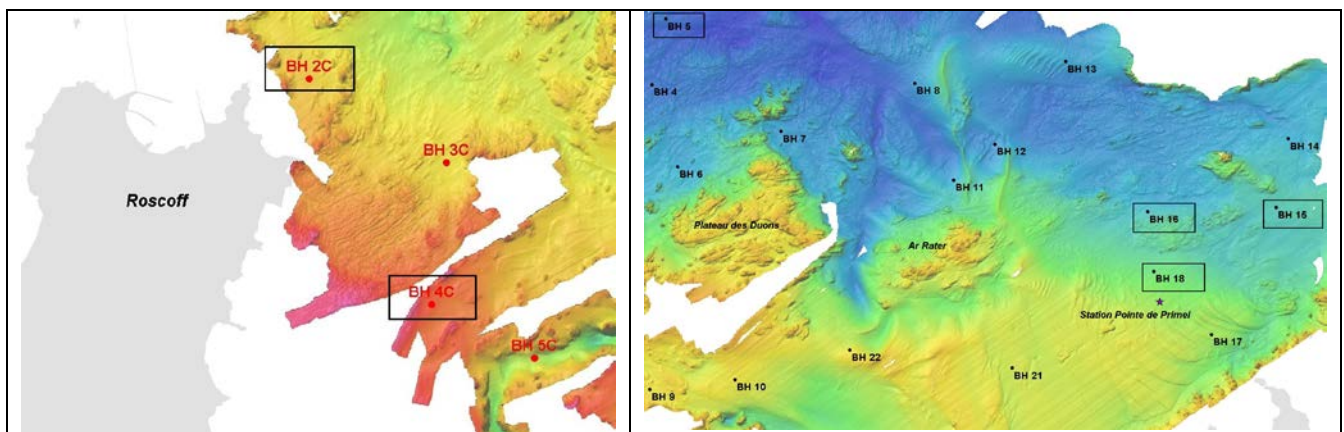


Figure 84b : Carte zoomée de situation des stations du groupe B

Au total 124 taxons ont été identifiés et 934 individus examinés. La station BH 5, la plus au large, est la moins riche, aussi bien en termes de richesse spécifique que d'abondance (respectivement 24 espèces et 46 individus). A l'opposé, les stations les plus côtières (BH 2C et BH 4C) sont les plus diversifiées (respectivement 65 et 42 espèces) et surtout celles qui présentent les plus fortes abondances (respectivement 398 et 289 individus pour 3/8m²). Les annélides polychètes sont largement majoritaires (55% de la richesse spécifique et 79% de l'abondance totale).

Les cinq espèces les plus abondantes, qui cumulent 50% de l'abondance totale, sont toutes des annélides (tab. 18). Les crustacés et les mollusques ne sont que faiblement représentés et en proportions quasi équivalentes : une vingtaine d'espèces pour une soixantaine d'individus (fig. 85).

Cependant, selon les espèces, la distribution des abondances par station n'est pas homogène. Ainsi l'espèce la plus abondante, *Notomastus latericeus*, bien que présente dans 5 stations sur 6, cumule 95% de son abondance dans les deux stations complémentaires BH 2C et BH 4C, avec respectivement 94 et 48

individus pour 3/8m². De même, le térébellidé *Pista cristata* qui n'est présent que dans 3 stations, est surtout abondant dans la station BH 2C avec 119 individus sur les 126 identifiés (soit 94%).

En revanche, le glycéridé *Glycera lapidum*, moins abondant mais présent dans toutes les stations, est désigné comme espèce indicatrice de cette entité, aussi bien par le coefficient DxP que par l'indice IndVal (tab.19 et 20). Un certain nombre d'espèces est commun à ces deux classements : ce sont principalement des annélides polychètes mais aussi le céphalochordé *Branchiostoma lanceolatum* (synonyme d'*Amphioxus lanceolatus*). Le bivalve *Glycymeris glycymeris*, qui ressort avec le coefficient DxP, est remplacé par *Arcopagia crassa* dans le cas de l'indice Indval.

Plus de la moitié des espèces (56%) ont un régime trophique carnivore, mais 54% des individus sont des dépositivores sélectifs et non sélectifs (fig. 86).

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	149	16	16
<i>Pista cristata</i>	Polychète	126	13,5	29,4
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	72	7,7	37,2
<i>Schistomeringos neglecta</i>	Polychète	41	4,4	41,5
<i>Syllis cf parapari</i>	Polychète	41	4,4	45,9
<i>Aonides oxycephala</i>	Polychète	35	3,7	49,7

Tableau 18 : Abondance des principales espèces du groupe B et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

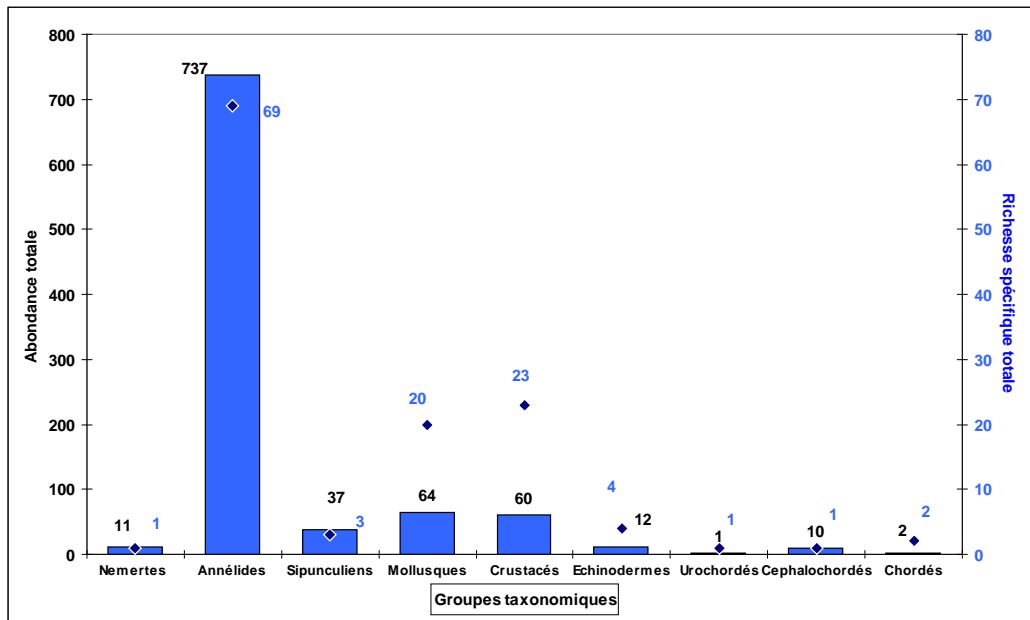


Figure 85 : Groupe B : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes taxonomiques

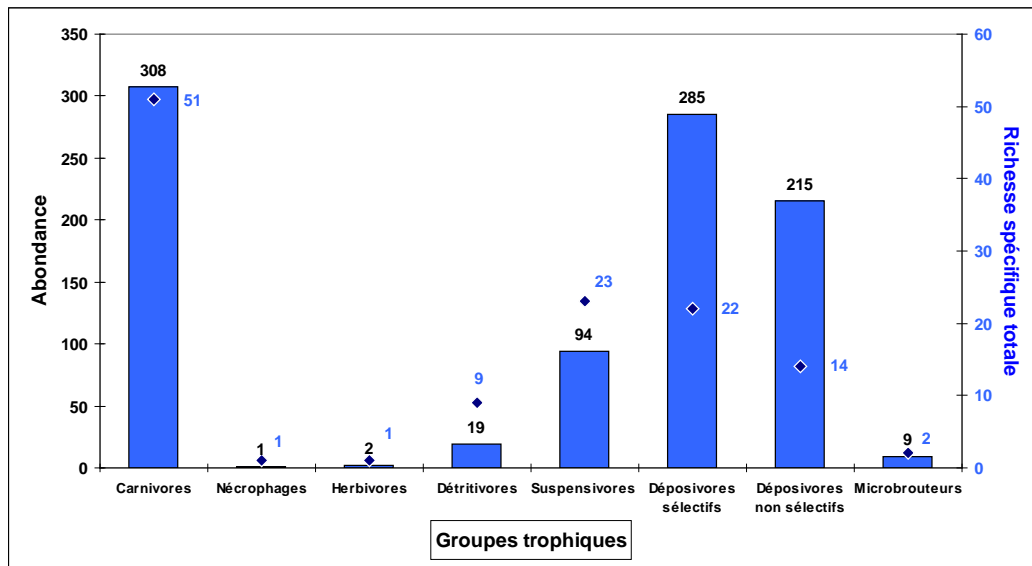


Figure 86 : Groupe B : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes trophiques

Espèces	Groupe taxonomique	DxP Groupe B
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	3,64
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	3,36
<i>Schistomeringos neglecta</i>	Polychète	3,32
<i>Pista cristata</i>	Polychète	3,01
<i>Syllis cf parapari</i>	Polychète	1,83
<i>Nephasoma minutum</i>	Sipunculien	1,50
<i>Aonides oxycephala</i>	Polychète	1,40
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	Céphalochordé	1,07
<i>Glycymeris glycymeris</i>	Bivalve	1,04

Tableau 19 : Classement des espèces du groupe B en fonction du coefficient DxP

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Groupe B
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	78%
<i>Polygordius lacteus</i>	Polychète	67%
<i>Syllis cf parapari</i>	Polychète	64%
<i>Arcopagia crassa</i>	Bivalve	62%
<i>Schistomeringos neglecta</i>	Polychète	61%
<i>Malmgreniella ljunmani</i>	Polychète	59%
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	Céphalochordé	50%

Tableau 20 : Classement des espèces du groupe B en fonction de leur indice IndVal

Les analyses granulométriques des bennes Shipek correspondant aux différentes stations de ce groupe, quand elles existent, indiquent qu'elles se caractérisent par un sédiment majoritairement grossier-graveleux (fig. 87 et fig. 88). Au minimum, 70% du sédiment est constitué de sable grossier et de graviers en mélange avec des débris coquilliers, comme l'atteste la forte teneur en carbonates des stations BH 15 et BH 18 (respectivement 89 et 91%), moindre aux stations BH 5 (60%) et BH 2C (12%). A la station BH 4C, située à proximité du banc de maërl de Guerheon, le sédiment est constitué d'un mélange de sables graveleux, de brins de maërl, en partie vivant, de fragments coquilliers ainsi que de coquilles de bivalves.

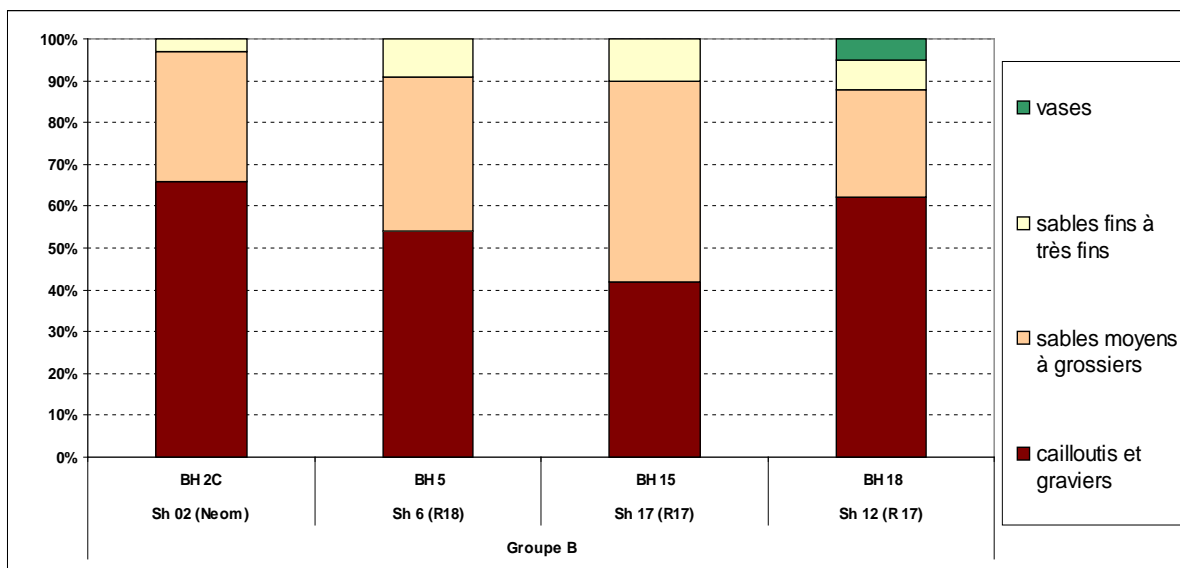


Figure 87 : Pourcentages des diverses fractions granulométriques des stations du groupe B

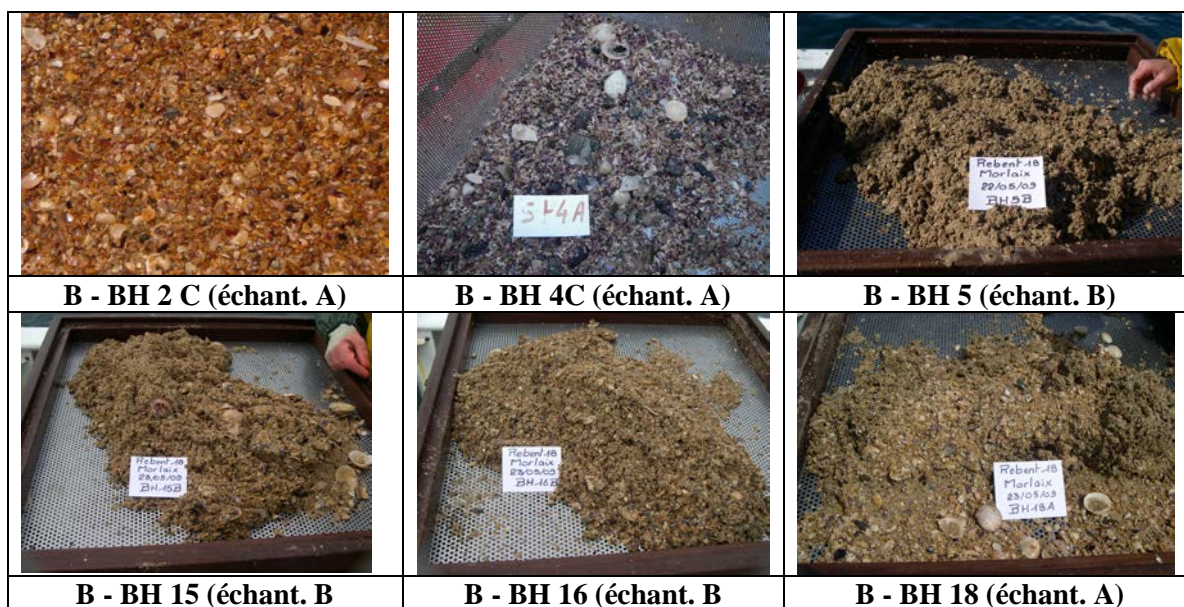
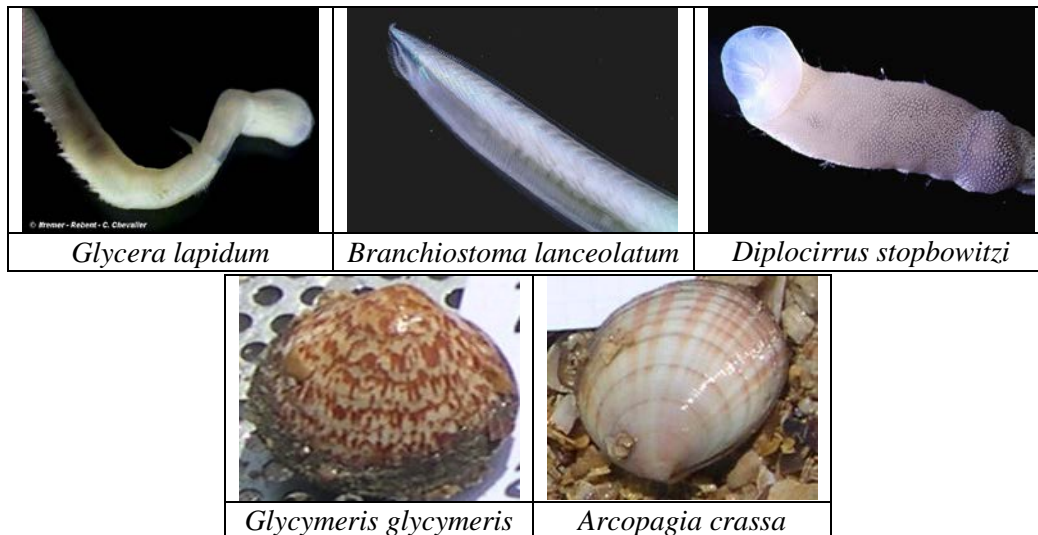


Figure 88 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon du groupe B



La plupart des espèces identifiées comme caractéristiques de ce groupe sont effectivement affines des sédiments grossiers sablo-graveleux, comme le polychète *Glycera lapidum*, le céphalochordé *Branchiostoma lanceolatum* ou encore le bivalve *Glycymeris glycymeris*.

Parmi les espèces de ce groupe, une espèce de la famille des flabelligeridés : *Diplocirrus stopbowitzi*, nouvellement décrite (Darbyshire et Mackie, 2009) à partir de spécimens trouvés dans le sud de la mer d'Irlande, a été identifiée dans trois stations. Selon Darbyshire et Mackie, 2009, cette nouvelle espèce a été trouvée dans des sédiments grossiers, essentiellement dans des graviers ensablés et des sables graveleux. Il s'agit de la deuxième signalisation de cette espèce, la première en France, après son identification en Irlande.

Les stations BH 15, BH 16, BH 18 et BH 5 se réfèrent au **peuplement des sédiments grossiers à *Amphioxus lanceolatus*-*Venus fasciata*** (*Branchiostoma lanceolatum*-*Clausinella fasciata*) identifié par Cabioch (1968) en baie de Morlaix.

Les stations côtières BH 2C et BH 4C, bien qu'appartenant à ce groupe de stations, se différencient des quatre stations précédentes par leur situation (dans des petits fonds à l'est de la zone d'étude) et aussi par des caractéristiques sédimentaires légèrement différentes. Cette différence est illustrée par le dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (fig 73). La fraction grossière reste majoritaire mais ces deux stations présentent des particularités liées aux conditions locales. Dans le cas de la station BH 2C (fig. 89), la présence de sédiments réduits liée à l'environnement rocheux (piégeage de sédiments fins) et aux apports de matière organique par la Penzé et/ou la proximité du port de Roscoff, pourraient expliquer les fortes densités du térébellidé *Pista cristata* (119 individus), la plus forte abondance, observée sur l'ensemble de la zone d'étude. La prédominance de cette espèce se traduit par des indices de diversité et d'équitabilité relativement faibles en comparaison des autres stations ($H' = 3,95$ et $J' 0,66$).

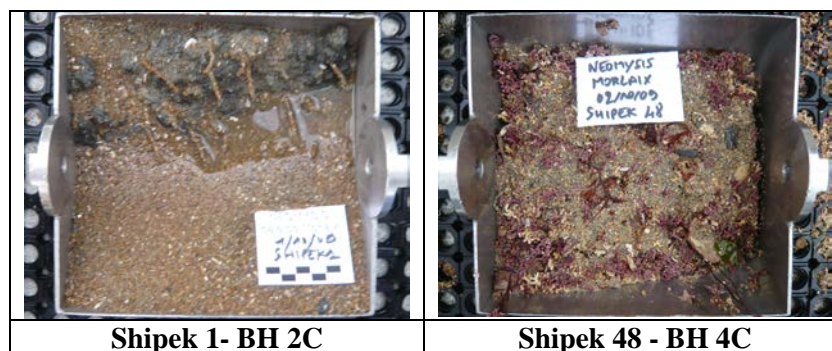


Figure 89 : Photographies des bennes Shipek correspondant aux stations BH 2C et BH 4C

Quant à la station BH 4C, la présence de brins de maërl vivant, en surface du sédiment (fig. 89), est probablement liée à la proximité immédiate du banc de maërl de Guerheon. Selon J. Cabioch (1964 et 1969 in L. Cabioch, 1968) "les zones essentielles de production d'arbuscules libres, à partir des stades jeunes encroûtants sont ainsi constitués par des fonds parsemés de graviers et de petits cailloux, situés à la périphérie des bancs de maërl eux-mêmes".

Hamon *et al.* (2010) proposent une cartographie des fonds de maërl des secteurs de Guerheon et Callot à partir de reconnaissances acoustiques validées par des prélèvements et des observations vidéo (*cf.* annexe 7).

La première carte de la distribution des peuplements benthiques établie par Cabioch (1968), délimite une communauté des sédiments grossiers à *Amphioxus lanceolatus* - *Venus fasciata* relativement indépendante de l'étagement. Toutes les stations du groupe B se positionnent à l'intérieur des limites de cette communauté, même les stations les plus côtières dont la position coïncide avec des enclaves identifiées par Cabioch au large de Roscoff.

Suite au naufrage de l'Amoco Cadiz en 1978, Dauvin élargit ses recherches, jusque là centrées sur le peuplement des sables fins de la Pierre Noire (1979), aux sables grossiers (station Pointe de Primel, proche de la station BH 18 de cette étude) et aux vases sableuses (station rivière de Morlaix). La plupart des espèces constantes selon Dauvin (1984) et classées comme électives et accessoires du faciès type par Cabioch (1968) se retrouvent dans la présente étude (en particulier *Branchiostoma lanceolatum*, *Clausinella fasciata*, *Glycymeris glycymeris*, *Polygordius lacteus*, *Dosinia exoleta*, *Arcopagia crassa* et *Glycera lapidum*). Comme le souligne Dauvin, de nombreuses espèces, principalement des polychètes comme *Syllis cf. parapari*, *Schistomeringos neglecta*, *Aonides oxycephala* et *paucibranchiata*, constituent une importante faune vagile interstitielle bien adaptée à ce type de milieu.

3.3.3.3. Groupement de stations C : BH 4, BH 1, BH 6

Les trois stations de ce groupe sont localisées dans le quart nord-ouest de la zone d'étude (fig. 90a et b). Si les stations BH 4 et BH 6, au nord du plateau des Duons, se situent à des niveaux bathymétriques supérieurs à 20 mètres, en revanche la station BH 1, à l'ouest du plateau des Duons, se situe en zone moins profonde (une dizaine de mètres).

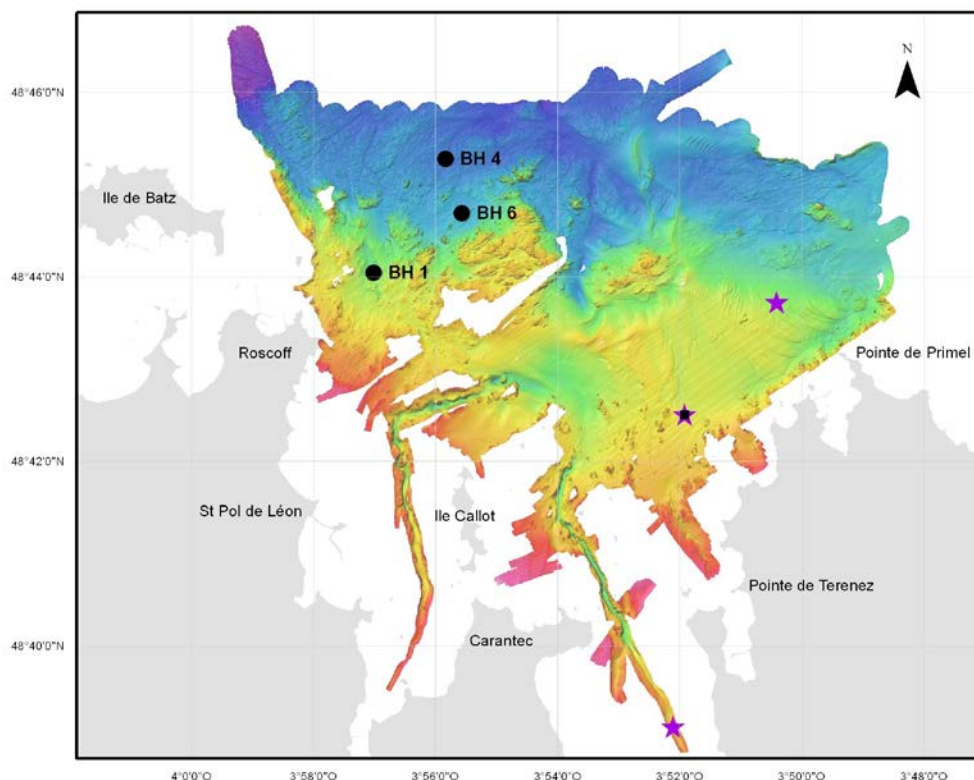


Figure 90a : Carte de situation des stations du groupe C

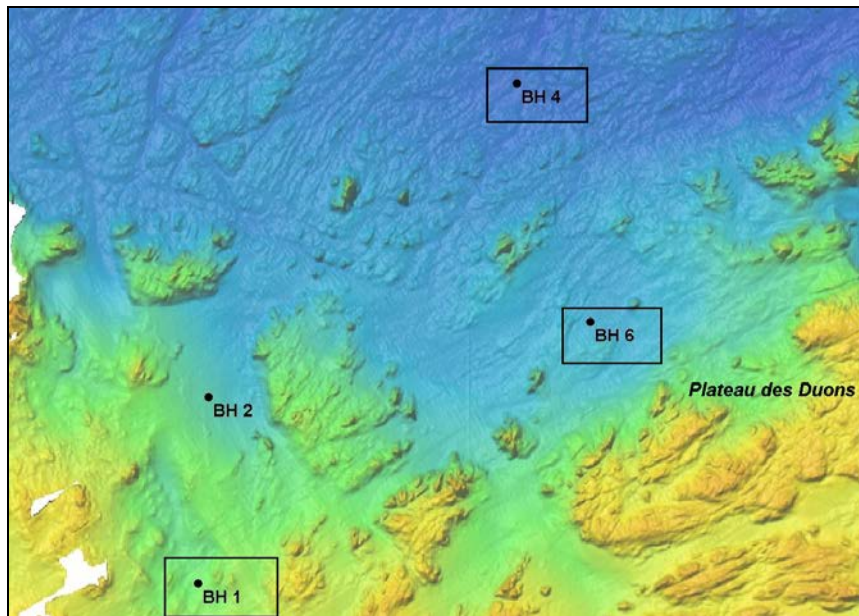


Figure 90b : Carte zoomée de situation des stations du groupe C

A la station BH 4, seuls 2 réplicats ont été analysés, le troisième prélèvement n'ayant pu être réalisé compte tenu de la nature des fonds (présence de blocs). Pour l'analyse faunistique, les valeurs des abondances des différentes espèces ont cependant été rapportées à la surface unitaire de $3/8\text{m}^2$. A la station BH 1, le réplicat BH 1C, constitué principalement d'un gros bloc recouvert d'une épibiose dense, n'a fait l'objet que d'une analyse partielle. Cependant, les espèces identifiées suffisent à classer biologiquement cette station.

La richesse spécifique varie de 41 à la station BH 4 à 63 à la station BH 1 (moyenne 50 ± 12). Il en est de même de l'abondance totale par station ($3/8\text{m}^2$) qui varie de 114 à la station BH 4 à 263 à la station BH 1 (moyenne 163 ± 50).

Au total, 469 individus appartenant à 105 taxons ont été dénombrés. Les annélides sont majoritaires (respectivement 82% des espèces et 63% de l'abondance totale). Les mollusques sont deux fois plus abondants que les crustacés, bien que leur richesse spécifique soit à peu près équivalente. La classe des bivalves est la mieux représentée (10 espèces sur 14) et deux espèces (*Nucula nitidosa* et *Abra alba*) cumulent 59% de l'abondance totale des bivalves (fig. 91).

Si les richesses spécifiques des carnivores, des suspensivores et des déposivores sélectifs sont pratiquement équivalentes, ces derniers dominent largement en termes d'abondance (près de 50%) (fig. 92).

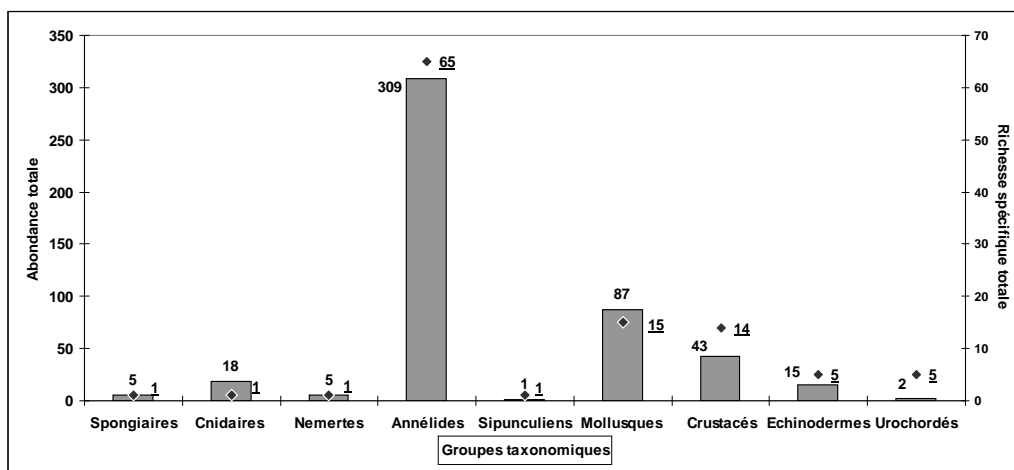


Figure 91 : Groupe C : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes taxonomiques

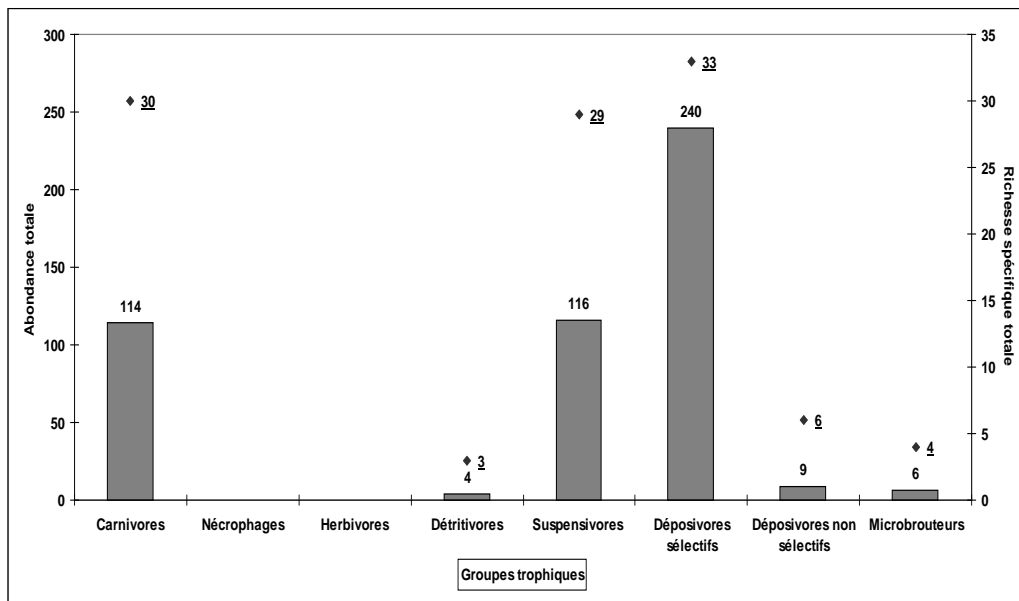


Figure 92 : Groupe C : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes trophiques

Seulement 9 taxons comptabilisent 50% de l'abondance totale (tab. 21). Le taxon le plus abondant correspond à deux espèces du même genre : *Thelepus setosus* et *Thelepus cincinnatus*. La distinction entre les deux espèces étant délicate chez les jeunes individus, l'ensemble des individus a été regroupé sous l'appellation *Thelepus spp.* Si l'on exclut l'aphroditidé *Polynoe scolopendrina* dont la présence est fortement corrélée à celle des *Thelepus spp.*, car c'est une espèce commensale qui vit à l'intérieur du tube du térébellidé, les espèces les plus abondantes appartiennent soit à l'épifaune sessile comme *Thelepus spp.*, *Nicolea venustula* et *Sabellaria spinulosa*, soit à l'endofaune et ce sont principalement des bivalves (*Nucula nitidosa* et *Abra alba*).

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Thelepus spp</i>	Polychète	104	21,3	21,3
<i>Polynoe scolopendrina</i>	Polychète	28	5,7	27,0
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	27	5,5	32,6
<i>Abra alba</i>	Bivalve	24	4,9	37,5
<i>Epizoanthidae indét</i>	Cnidaire	18	3,7	41,2
<i>Nicolea venustula</i>	Polychète	15,5	3,2	44,4
<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	13	2,7	47,0
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	11	2,3	49,3
<i>Pisidia longicornis</i>	Crustacé	11	2,3	51,5

Tableau 21 : Abondance des principales espèces du groupe C et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Le classement des espèces en fonction du coefficient DxP (tab. 22) et de l'indice IndVal (tab. 23) confirme la dominance des polychètes de la famille des térébellidés (*Thelepus spp* et *Nicolea venustula*). Ces trois stations se caractérisent par la présence d'espèces appartenant à l'épifaune sessile (majoritairement des polychètes tubicoles) liées à la fraction grossière du sédiment, et par des espèces d'endofaune (principalement des bivalves) liées à la fraction meuble. L'épifaune vagile est représentée

par des polychètes de petite taille comme les syllidés ou *Eumida sanguinea*, et des crustacés décapodes comme *Pisidia longicornis* et *Ebalia tuberosa*.

Espèces	Groupe taxonomique	DxP Groupe C
<i>Thelepus spp</i>	Polychète	14,92
<i>Polynoe scolopendrina</i>	Polychète	4,73
<i>Epizoanthidae indét</i>	Cnidaire	3,69
<i>Nicolea venustula</i>	Polychète	2,22
<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	2,02
<i>Phyllochaetopterus socialis</i>	Polychète	1,52
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	1,49
<i>Modiolarca subpicta</i>	Bivalve	1,39
<i>Abra alba</i>	Bivalve	1,36
<i>Eumida sanguinea</i>	Polychète	1,28

Tableau 22 : Classement des espèces du groupe C en fonction du coefficient DxP

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Groupe C
<i>Nicolea venustula</i>	Polychète	90
<i>Thelepus spp</i>	Polychètes	89
<i>Eumida sanguinea</i>	Polychète	83
<i>Dipolydora caullierii</i>	Polychète	67
<i>Epizoanthidae indet</i>	Cnidaire	67
<i>Myrianida sp</i>	Polychète	67
<i>Serpulidae indét.</i>	Polychète	67
<i>Polynoe scolopendrina</i>	Polychète	65
<i>Modiolarca subpicta</i>	Bivalve	63
<i>Syllis variegata</i>	Polychète	61
<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	60
<i>Ophiothrix fragilis</i>	Echinoderme	57
<i>Pyura tessellata</i>	Urochordé	57
<i>Sycon ciliatum</i>	Spongiaire	55
<i>Spirobranchus triqueter</i>	Polychète	54
<i>Syllis sp2</i>	Polychète	54
<i>Eupolymnia nebulosa</i>	Polychète	53

Tableau 23 : Classement des espèces du groupe C en fonction de leur indice IndVal

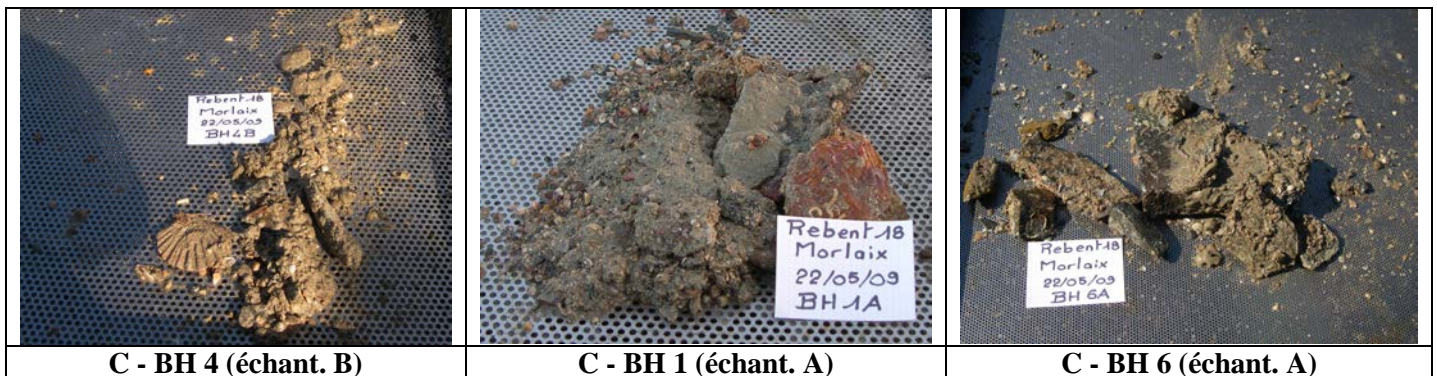


Figure 93 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon du groupe C

Du point de vue sédimentaire, ces stations se caractérisent par une importante fraction caillouto-graveleuse, qui sert de support à l'épifaune sessile, et une fraction en sable fin réduite (fig. 93). Si la granulométrie des cailloutis et des graviers et leur stabilité liée aux conditions hydrodynamique du milieu le permettent, l'épifaune sessile peut alors s'installer. Ces stations peuvent donc être caractérisées du point de vue biosédimentaires comme des stations de **sédiments grossiers avec un faciès à épifaune sessile**.



3.3.3.4. Groupement de stations D : BH 21, BH 20, BH 23, BH 8C, BH 11C, BH 12C

Les 7 stations de ce groupe sont localisées dans le quart sud-est de la zone d'étude à des profondeurs variant de 10 à 20 mètres. Les stations BH 20 et BH 21 sont situées au nord de la balise de la Pierre Noire, la station BH 24 au sud de cette balise, face à l'anse Saint Samson, et la station BH 23 entre les Bizayers et l'île Verte. Les stations complémentaires de 2010 ont été positionnées dans l'axe du grand chenal pour BH 8C, à proximité de l'anse de Térénez pour BH 11C et de l'anse Saint Samson pour BH 12C (fig 94a et b).

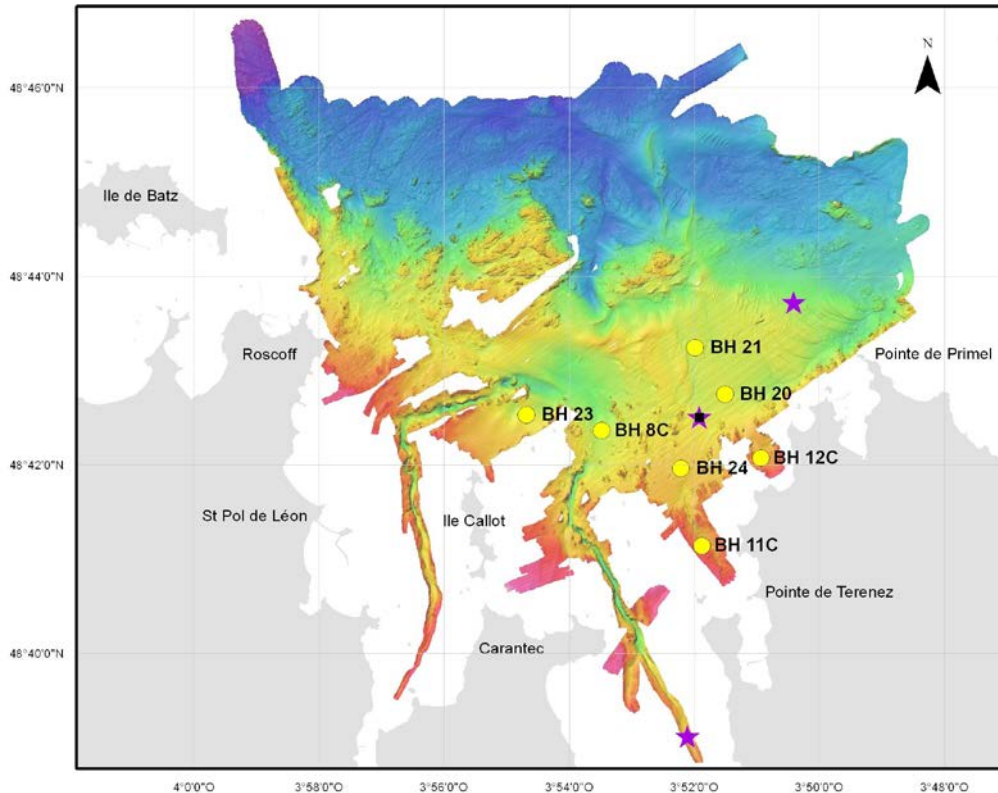


Figure 94a : Carte de situation des stations du groupe D

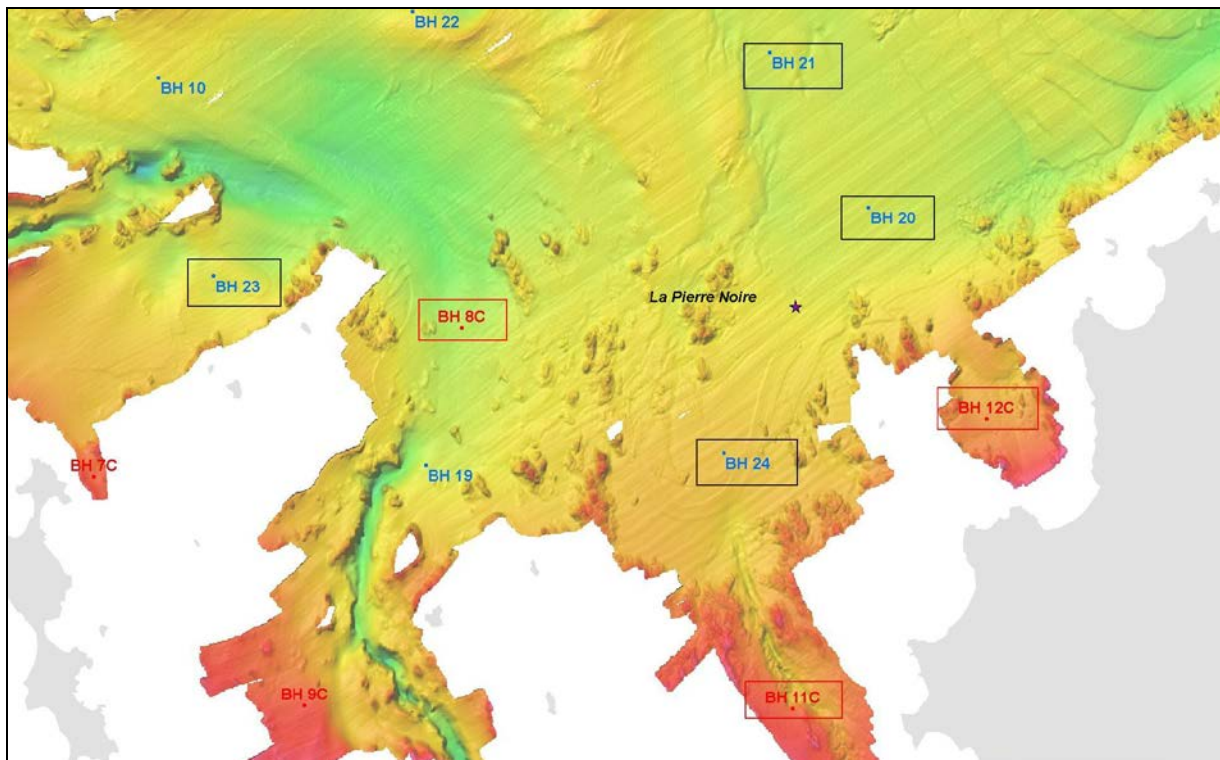


Figure 94b : Carte zoomée de situation des stations du groupe D

La richesse spécifique par station varie de 44 à la station BH 11C à 76 à la station BH 20, avec une moyenne par station de 58 (± 13). Si la station la moins diversifiée est aussi la moins abondante, en revanche la station la plus abondante est la station BH 23 (712 ind.) et non BH 20 (582 ind.). La moyenne des abondances par station est élevée (375 ind.) mais avec un écart-type important (211 ind.), ce qui témoigne de grandes disparités d'abondances entre les stations.

Au total 168 taxons ont été identifiés et 2622 individus comptabilisés dans ce groupe D. De l'ordre de 50% des taxons et des individus appartiennent à la classe des polychètes. Les abondances de mollusques (824 ind.) et principalement de bivalves (771 ind.) sont nettement plus élevées que celles des crustacés (269 ind.), bien qu'à richesse spécifique pratiquement équivalente (respectivement 38 et 33) (fig. 95). Parmi les bivalves, *Timoclea ovata* représente à elle seule 48% de l'abondance totale des mollusques et 51% de celle des bivalves. Mais sur les 397 individus de cette espèce, dénombrés dans ce groupe, 365 individus (soit 92%) ont été comptabilisés dans la seule station BH 23, avec une répartition assez homogène d'un réplikat à l'autre (122 ± 17). Cette prédominance de cette espèce dans cette station se traduit par des indices de diversité et d'équitabilité beaucoup plus faibles que pour les autres stations du groupe ($H' = 3,40$ et $J' = 0,56$) (tab. 14).

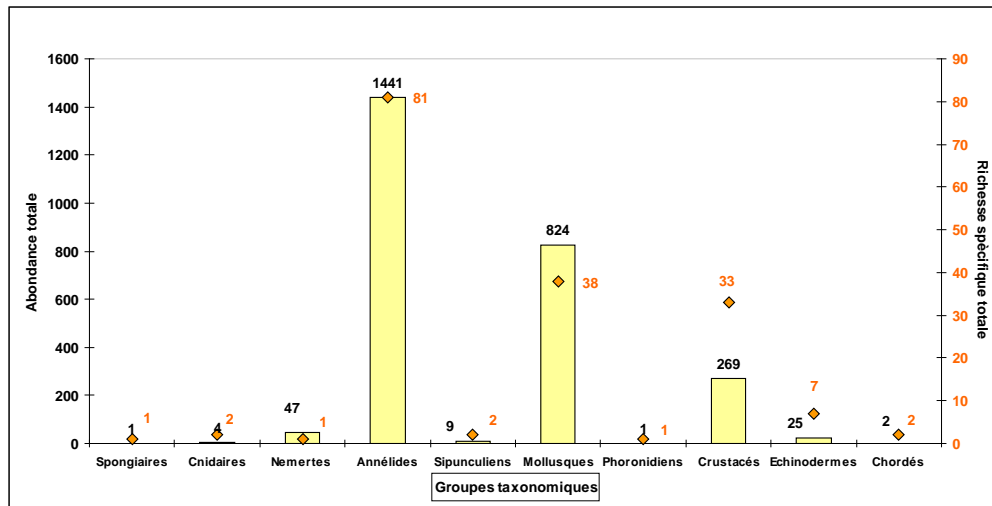


Figure 95 : Groupe D : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes taxonomiques

La structure trophique de ce groupe est caractérisée par une dominance des déposivores, surtout sélectifs, aussi bien en termes de richesse spécifique que d'abondance (respectivement 45% des espèces et 62% des individus). Les carnivores, avec 43 espèces (25% des espèces), ne représentent que 12% de l'abondance totale et, inversement, 22% des individus sont des suspensivores bien que ceux-ci soient moins diversifiés (32 espèces, soit 19% des espèces) (fig. 96).

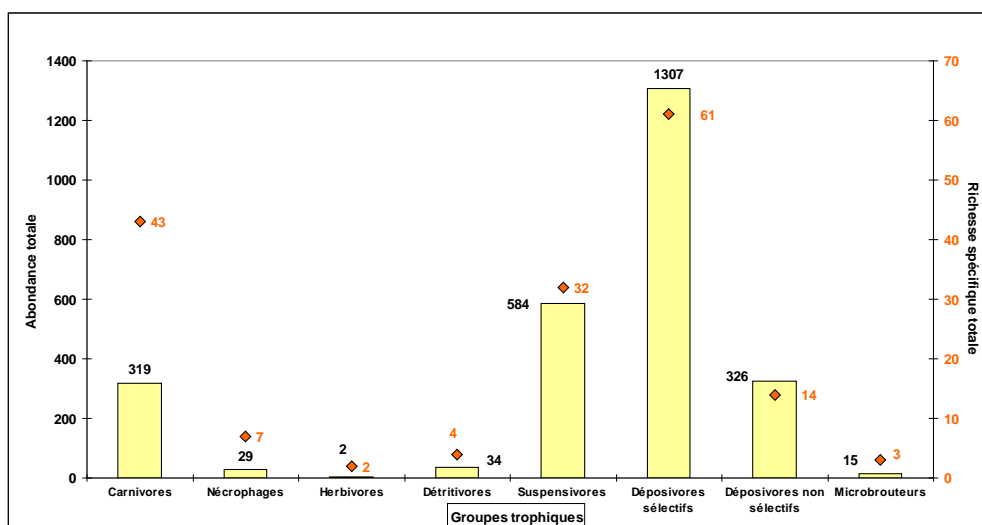


Figure 96 : Groupe D : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes trophiques

Seules 8 espèces (4 polychètes, 3 bivalves et 1 crustacé tanaidacé) sur les 168 cumulent 50% de l'abondance totale (tab. 24). Si on exclut *Timoclea ovata* et *Apsudopsis latreillii*, dont l'essentiel des abondances ne concerne qu'une seule station (respectivement BH 23 et BH 12C), les autres espèces sont présentes dans au moins 5 stations sur les 7 du groupe D.

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	397	15,1	15,1
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	255	9,7	24,9
<i>Paradoneis armata</i>	Polychète	161	6,1	31,0
<i>Aponuphis bilineata</i>	Polychète	151	5,8	36,8
<i>Nucula hanleyi</i>	Bivalve	104	4,0	40,7
<i>Abra prismatica</i>	Bivalve	93	3,5	44,3
<i>Apseudopsis latreillii</i>	Crustacé	88	3,4	47,6
<i>Marphysa bellii</i>	Polychète	87	3,3	50,9

Tableau 24 : Abondance des principales espèces du groupe D et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Dans les deux classements (DxP et IndVal) l'annélide polychète *Spiophanes bombyx* est désigné comme espèce indicatrice de ce groupe de stations (tab. 25 et 26). La famille des paraonidés est bien représentée avec deux espèces : *Paradoneis armata* et *Aricidea pseudoarticulata* (cette espèce a probablement été identifiée dans les études antérieures (Dauvin 1984, suivi Rebut stationnel depuis 2006) sous le nom d'*Aricidea fragilis*). Ce sont aux stations BH 20 et BH 12C que ces deux espèces montrent leur maxima de densités (respectivement 149 et 179 ind. m⁻² pour *P. armata*, 27 et 37 ind.m⁻² pour *A. pseudoarticulata*). C'est également à la station BH 20 que l'annélide polychète *Aponuphis bilineata* (synonyme de *Hyalinoecia bilineata*), bien que présente dans 6 des 7 stations de ce groupe, atteint son maximum de densité (275 individus/m²). Les deux espèces d'amphipodes qui se distinguent dans ces classements (*Ampelisca sarsi* et *Urothoe pulchella*), présentes dans 6 stations sur 7, ne montrent pas de densités particulièrement élevées (64 individus/m² à la station BH 8C pour *A. sarsi* et 27 ind.m⁻² à la station BH 20 pour *U. pulchella*). Les mollusques sont représentés principalement par des bivalves *Nucula hanleyi*, *Abra alba* et *Abra prismatica* et le gastéropode *Nassarius reticulatus*, jamais très abondant (maximum 13 ind.m⁻² à la station BH 8C) mais présent dans toutes les stations de ce groupe.

Espèces	Groupe taxonomique	DxP Groupe D
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	6,48
<i>Paradoneis armata</i>	Polychète	4,25
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	3,68
<i>Aponuphis bilineata</i>	Polychète	2,28
<i>Ampelisca sarsi</i>	Crustacé	2,21
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	1,83
<i>Nucula hanleyi</i>	Bivalve	1,66
<i>Marphysa bellii</i>	Polychète	1,56
<i>Apseudopsis latreillii</i>	Crustacé	1,34
<i>Aricidea pseudoarticulata</i>	Polychète	1,33
<i>Abra prismatica</i>	Bivalve	1,20
<i>Abra alba</i>	Bivalve	1,17
<i>Streblosoma bairdi</i>	Polychète	1,09
<i>Lanice conchilega</i>	Polychète	1,08

Tableau 25 : Classement des espèces du groupe D en fonction du coefficient DxP

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Groupe D
<i>Spiophanes bombyx</i>	Polychète	93,18
<i>Ampelisca sarsi</i>	Crustacé	85,71
<i>Aricidea pseudoarticulata</i>	Polychète	85,71
<i>Nephtys assimilis</i>	Polychète	85,71
<i>Paradoneis armata</i>	Polychète	83,81
<i>Urothoe pulchella</i>	Crustacé	83,72
<i>Nassarius reticulatus</i>	Gastéropode	74,03
<i>Aponuphis bilineata</i>	Polychète	73,54
<i>Nucula hanleyi</i>	Bivalve	68,40
<i>Urothoe grimaldii</i>	Crustacé	64,58
<i>Spio decoratus</i>	Polychète	63,59
<i>Marphysa bellii</i>	Polychète	59,37
<i>Magelona filiformis</i>	Polychète	57,14
<i>Phyllodoce rosea</i>	Polychète	57,14
<i>Streblosoma bairdi</i>	Polychète	57,14
<i>Galathowenia oculata</i>	Polychète	56,34
<i>Lanice conchilega</i>	Polychète	56,18
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	53,74
<i>Phaxas pellucidus</i>	Bivalve	53,66
<i>Owenia fusiformis</i>	Polychète	52,08
<i>Aphaelochaeta sp"A"</i>	Polychète	51,02
<i>Abra prismatica</i>	Bivalve	50,97

Tableau 26 : Classement des espèces du groupe D en fonction de leur indice IndVal

Du point de vue granulométrique, ces stations se caractérisent par une forte proportion de sables fins, de l'ordre de 60% (exception faite de la station BH 11C). L'envasement est faible, inexistant à la station BH 21 et peut atteindre au maximum 5% (station BH 11C). Les stations du groupe D, du moins 6 sur les 7, sont donc des stations de sables fins bien carbonatés (de l'ordre de 50%) pas ou très peu envasés. Le sédiment de la station BH 11C est plus hétérogène, constitué d'un substrat sablo-graveleux légèrement envasé (fig. 97 et fig. 98).

Les stations du groupe D appartiennent à un vaste ensemble sédimentaire relativement homogène, même si les stations BH 11C et BH 12C se différencient quelque peu des autres stations (fig. 73).

Selon Cabioch (1968) l'ensemble sédimentaire, auquel se rattachent les stations du groupe D, constitue un des faciès du peuplement des sables fins à *Abra alba* et *Corbula gibba* qu'il désigne sous l'appellation de faciès sableux à *Hyalinoecia bilineata*.

En 1977, Dauvin (1979) entreprend une étude sur les peuplements des sables fins à *Abra alba*-*Hyalinoecia bilineata* de la baie de Morlaix, en une station dénommée "Pierre Noire" située à 0,28 mille au sud-est de la balise de la Pierre Noire. Depuis, cette station a été régulièrement échantillonnée :

- mensuellement d'août 1977 à mars 1982, puis à raison de cinq relevés annuels de juin 1982 à mars 1996, afin d'étudier les variations à long terme de ce peuplement macrobenthique, ses modifications qualitatives et quantitatives et sa reconstitution suite à la pollution par les hydrocarbures, liée au naufrage de l'Amoco Cadiz en 1978 (Dauvin 1979, 1984, 1987, 1998 ; Dauvin in RNO 1996 ; Dauvin et Ibanez, 1986).
- jusqu'en 2006, par la station Biologique de Roscoff dans le cadre du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO). Depuis 2006, le suivi du peuplement de la Pierre Noire, une fois par an, a été intégré au volet stationnel du suivi des sables fins subtidiaux du programme REBENT, coordonné par l'Ifremer (<http://www.rebent.org/>).

Il est difficile de comparer les estimations de densités rattachées à ces différents suivis (méthodologies d'échantillonnage parfois différentes : type de benne mise en oeuvre, surface échantillonnée, nombre de réplicats, période d'échantillonnage, maille de tamis...). En revanche, la comparaison des listes faunistiques montre qu'il y a concordance dans l'identification des principales espèces du peuplement (à plus de 50%), en particulier si l'on compare, la même année 2009, la richesse spécifique de la station Rebet stationnel (Pierre Noire) avec celle de la station BH 20, station la plus proche du point de suivi (fig. 94 a et b).

Les principales espèces communes sont :

- les bivalves : *Abra alba*, *Abra prismatica*, *Corbula gibba*, *Phaxas pellucidus*, *Thyasira flexuosa* et *Timoclea ovata* ;
- les crustacés amphipodes : *Ampelisca brevicornis*, *Ampelisca tenuicornis*, *Ampelisca sarsi* et *Urothoe pulchella*. Ces deux dernières sont d'ailleurs considérées, selon Dauvin (1987), comme des espèces constantes du peuplement des sables fins de la Pierre Noire ;
- les annélides polychètes : *Aponuphis bilineata*, *Aricidea pseudoarticulata*, *Chaetozone gibber*, *Euclymene oerstedii*, *Glycera alba*, *Lagis koreni*, *Lanice conchilega*, *Marphysa bellii*, *Owenia fusiformis*, *Paradoneis armata*, *Poecilochaetus serpens*, *Spio decoratus* et *Spiophanes bombyx*. Parmi les annélides polychètes identifiées en BH 20, trois espèces n'avaient pas encore été signalées en baie de Morlaix : le phyllodocidé *Phyllodoce rosea* (McIntosh, 1877), le lumbrinéridé *Scoletoma emandibulata* (Pillai, 1961) et l'owéniidé *Myriochele danielsseni* Hansen, 1878 ;
- l'échinoderme : *Ophiura albida*.

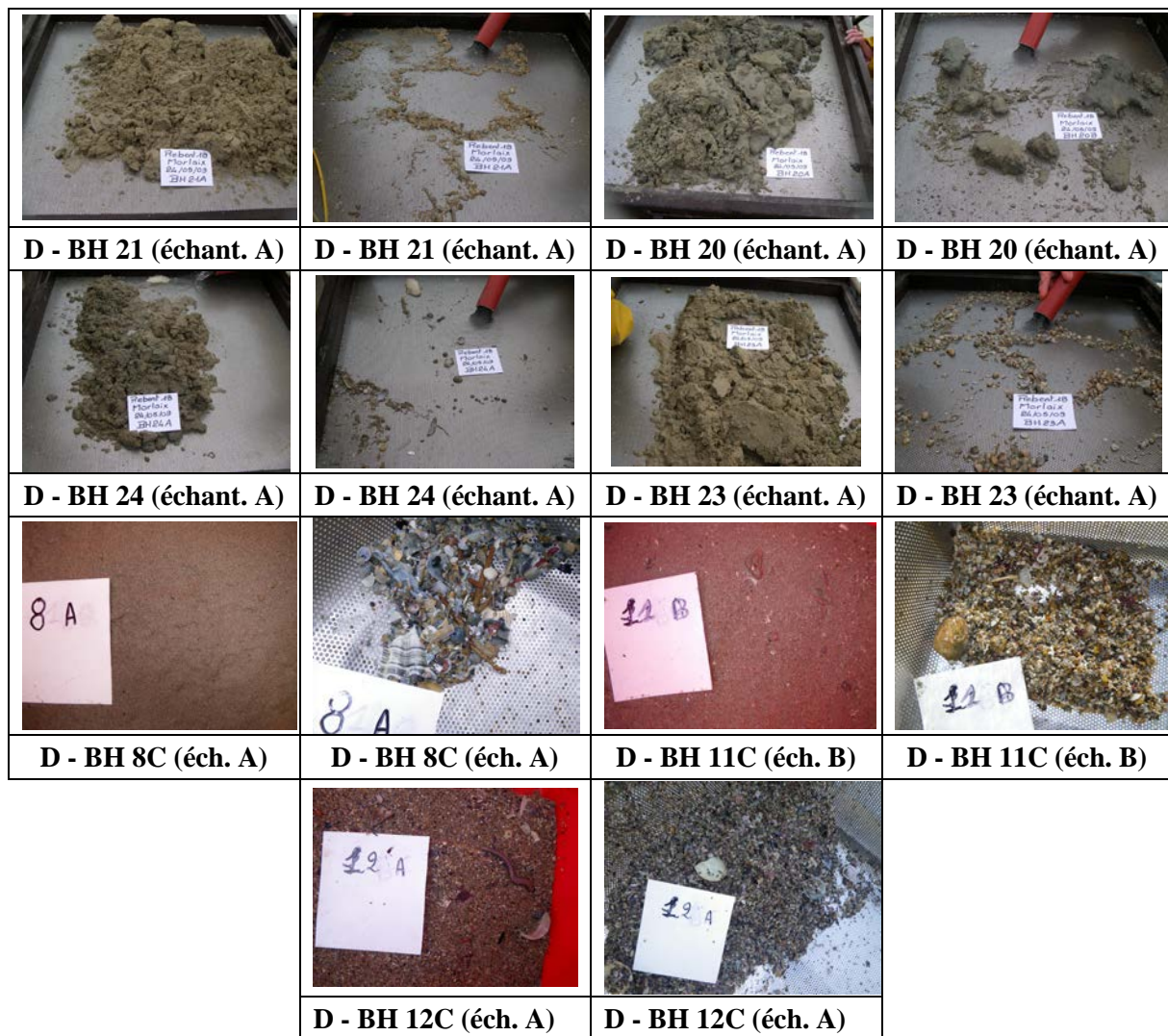


Figure 97 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon du groupe D (avant et après lavage)

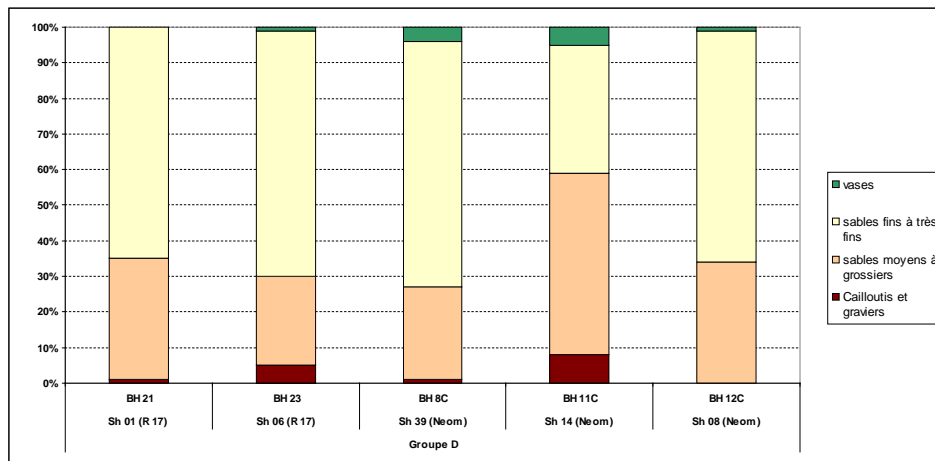


Figure 98 : Pourcentages des diverses fractions granulométriques par station du groupe D

Depuis les travaux de Dauvin en 1977, la station "Pierre Noire" a toujours été considérée comme appartenant au peuplement des sables fins à *Abra alba - Hyalinoecia bilineata*. Il en est de même à la station BH 20 de la présente étude, si l'on se réfère à la composition faunistique et aux abondances des principales espèces. En effet, les espèces les plus abondantes (par ordre décroissant d'abondance) sont *Aponuphis bilineata* (synonyme de *Hyalinoecia bilineata*), *Paradoneis armata*, *Spiophanes bombyx*, *Euclymene oerstedii*, *Abra prismatica*, *Abra alba*, *Lanice conchilega* et *Marphysa bellii* qui cumulent 63% de l'abondance totale de la station.

En revanche, comparer la station BH 20 avec l'ensemble des stations du groupe D conduit à plusieurs remarques :

- l'abondance totale, pour l'ensemble des stations du groupe D, de *Aponuphis bilineata* est de 151 individus et son abondance, à la seule station BH 20, est de 103 individus. Elle est donc faiblement présente dans les autres stations du groupe et même totalement absente de la station BH 21 (carte de distribution spatiale de *Aponuphis bilineata* présentée dans l'annexe 10) ;
- *Abra alba* est présente dans toutes les stations du groupe (avec un maximum de 38 individus à la station BH 20) mais son abondance totale est plus faible que celle de *Abra prismatica* (respectivement 74 et 93 individus) ;
- le coefficient DxP, de même que l'indice IndVal ne classent ni *Aponuphis bilineata* ni *Abra alba* dans les espèces caractéristiques du peuplement. En revanche, le coefficient DxP, de même que l'indice IndVal (93,2%) désignent *Spiophanes bombyx*, non seulement comme une des espèces dominantes de ce groupe de stations mais comme l'espèce caractéristique. Les seules stations où cette espèce est également présente appartiennent au groupe A : BH 11, BH 17 et B H 22 (avec respectivement 1, 7 et 8 individus). Ces deux dernières sont d'ailleurs limitrophes de la zone comprenant les stations du groupe D (carte de distribution spatiale de *Spiophanes bombyx* présentée dans l'annexe 10).

A l'échelle européenne les peuplements à *Abra alba*, très répandus en zone littorale, sous leurs différents faciès, aussi bien en Manche qu'en Mer du Nord, sur la façade atlantique ou encore en Méditerranée, ont fait l'objet de nombreuses études portant, entre autres, sur la structure du peuplement et ses variations à plus ou moins long terme (Dauvin 1998, Dewarumez *et al.*, 1996 ; Fromentin *et al.*, 1997 ; Carpentier *et al.*, 1997). Toutes ces études insistent sur la grande variabilité de ce peuplement. Ces variations temporelles, souvent pluriannuelles, ne concerneraient qu'un nombre limité d'espèces représentatives du peuplement et le plus souvent opportunistes (Dewarumez *et al.*, 1996 ; Carpentier *et al.*, 1997). Les

modifications des conditions environnementales se traduiraient par des augmentations plus ou moins importantes des densités de ces espèces.

Il est probable également que le peuplement évolue en fonction des relations intra et inter-spécifiques dont il est difficile d'apprécier les responsabilités respectives (Dauvin et Ibanez, 1986).

Cette variabilité temporelle est liée soit à des modifications environnementales locales (événement climatique tel que les tempêtes, modifications sédimentaires, recrutement plus ou moins bien réussi) ou à une échelle régionale (alternance d'hivers froids et doux, par exemple) (Dauvin *in* RNO, 1996 ; Fromentin *et al.*, 1997).

Contrairement aux peuplements de la Manche orientale ou du sud de la Mer du Nord, qui occupent des aires plus ou moins continues, le peuplement des sables fins de la Pierre Noire correspond à une zone isolée, soumise aux influences atlantiques qui tempèreraient les amplitudes de température (Fromentin *et al.*, 1997).

D'autres études sur les changements à long terme de la diversité et de la structure des communautés macrobenthiques en Mer du Nord, montrent que l'augmentation des abondances d'espèces opportunistes comme *Spiophanes bombyx* ou *Myriochele oculata* (synonyme de *Galathowenia oculata*) serait liée à leur capacité à répondre rapidement à des changements dans la disponibilité de la nourriture.

Cette augmentation de l'abondance d'espèces opportunistes a été fréquemment observée ces dernières décennies dans différentes régions de la Mer du Nord, démontrant une évolution constante, à grande échelle, de la macrofaune. L'augmentation de la température moyenne de surface, en favorisant le développement de la production primaire aurait ainsi pour conséquence de modifier la structure et le fonctionnement des communautés benthiques, en particulier en favorisant des espèces opportunistes comme *Spiophanes bombyx* (Pearson and Mannvik, 1998, Schücker *et al.*, 2010, Knöncke *et al.*, 2011).

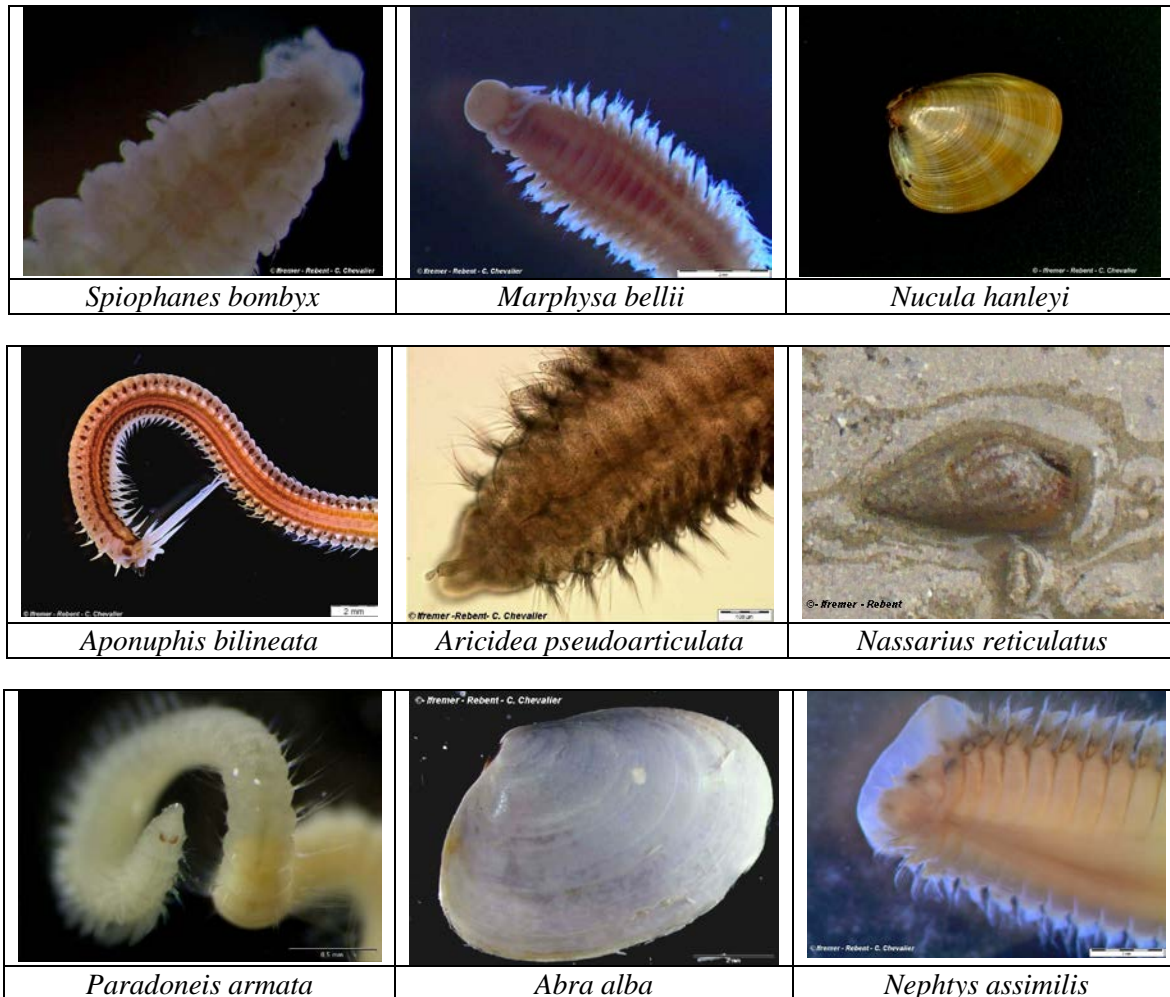
Spiophanes bombyx a toujours été considérée comme une des espèces dominantes du peuplement des sables fins de la Pierre Noire (Cabioch, 1968 ; Dauvin, 1984), mais dans cette étude, les différents indices (DxP, IndVal) désignent cette espèce comme caractéristique pour l'ensemble des stations du groupe D.

Toutes ces observations conduisent au questionnement suivant : en 2009 (et 2010 pour les stations complémentaires), les fortes abondances et occurrences de *Spiophanes bombyx* traduisent-elles une variabilité temporelle du peuplement liée à des phénomènes locaux avec la succession de quelques espèces dominantes en fonction des modifications environnementales à petite et mésoéchelle (par exemple, l'augmentation de la concentration en matière organique à l'échelle de la baie, pourrait expliquer l'augmentation des densités d'espèces opportunistes comme *Spiophanes bombyx* et *Myriochele oculata* et les fortes densités observées du bivalve *Timoclea ovata*) ou une évolution plus durable induite par des changements environnementaux à grande échelle (hydroclimatiques) ?

La poursuite du suivi stationnel de la Pierre Noire (en corrélant la composition faunistique à des variables environnementales comme la température, la chlorophylle *a*, la matière organique...) pourra apporter des éléments de réponse. La classification du peuplement des sables fins dépend en partie de cette réponse :

- Si cette variabilité n'est que temporelle (à l'échelle annuelle ou pluri-annuelle) et le cortège faunistique caractéristique du peuplement relativement constant, alors le peuplement peut-être qualifié de peuplement des sables fins à *Abra alba-Aponuphis bilineata*. Cette hypothèse rejoint le propos de Cabioch (1968) : "Cette classification n'a aucune valeur locale, mais les unités de peuplements ainsi définies représentent des états d'équilibre moyen, qui malgré des variations qualitatives et quantitatives annuelles, sont constamment habitées par des espèces appartenant aux mêmes stocks faunistiques".
- Si nous assistons à une modification notable et plus durable de la composition de ce peuplement, alors les espèces qui ressortent comme caractéristiques (en particulier d'après l'indice IndVal) sont *Spiophanes bombyx* et *Ampelisca sarsi*.

Dans tous les cas, les principales espèces du peuplement sont des espèces tubicoles (*Aponuphis bilineata*, *Spiophanes bombyx*, *Ampelisca sarsi*) et la meilleure dénomination qui semblerait convenir pour ce peuplement est celle issue de la typologie Eunis, à savoir le **peuplement des sables fins sublittoraux à amphipodes et polychètes tubicoles** (Classification EUNIS : A5.234 : Semi-permanent tube-building amphipods and polychaetes in sublittoral sand). Elle permet ainsi de s'affranchir d'une dénomination trop précise qui ne tiendrait pas compte des changements durables de la composition de ce peuplement.



3.3.3.5. Groupement de stations E : BH 7, BH 14, BH 9, BH 1C, BH 2, BH 3, BH 3C, BH 7C, BH 6C, BH 9C, BH 10C, BH 5C, BH 10, BH 19

Exception faite de la station BH 14, les 13 autres stations du groupe E sont concentrées dans les parties méridionale et orientale de la zone d'étude (fig. 99). Leur bathymétrie évolue depuis des fonds supérieures à 30 mètres pour les stations les plus au large (BH 3, BH 2, BH 7 et BH 14) jusqu'à celles de très petits fonds (inférieurs à 10 mètres) situées dans les chenaux de Penzé (BH 6C) et de la rivière de Morlaix BH 10C). Sur les 12 stations complémentaires échantillonnées en 2010, 7 stations appartiennent à ce groupe.

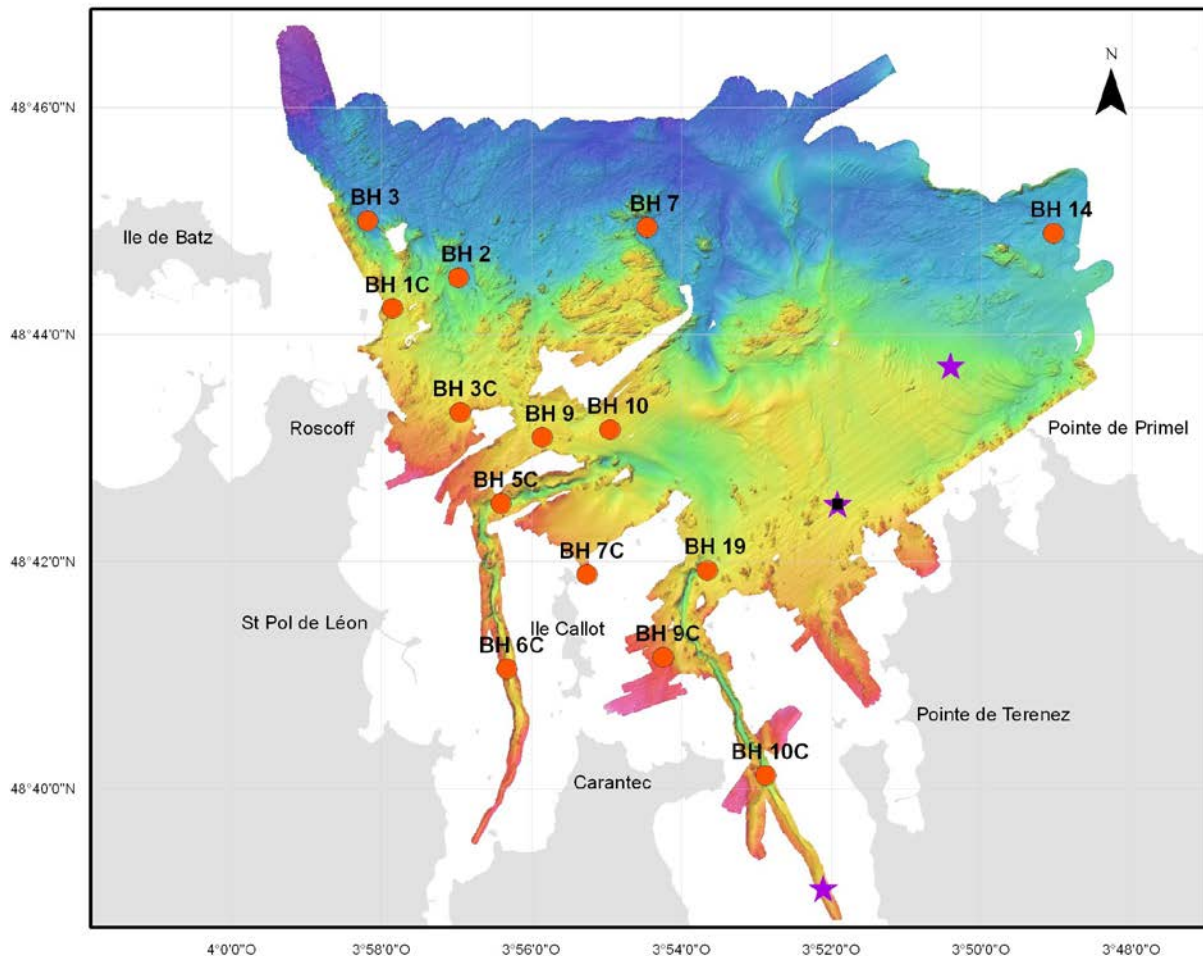


Figure 99 : Carte de situation des stations du groupe E

C'est le groupe le plus important en nombre de stations (14 sur les 36 que comporte cette étude), en nombre de taxons (303, soit 71,5% de la richesse spécifique totale sur l'ensemble de la zone étudiée) et en nombre d'individus recensés (6924, soit 61,7% de l'abondance totale).

La richesse spécifique varie de 51 aux stations BH 14 et BH 3C à 95 à la station BH 7C (moyenne 72 ± 11) et l'abondance par station ($3/8m^2$) de 96 à la station BH 14 à 1073 à la station BH 19 (moyenne 495 ± 292).

L'équitabilité est relativement homogène pour la quasi-totalité des stations (mises à part les stations BH 10 et BH19) et varie de 0,71 à la station BH 9C à 0,94 à la station BH 7. Il semble donc qu'il n'y ait pas de dominance particulière d'une espèce ou d'un groupe d'espèces. En revanche, les stations BH 10 et BH19 ont les indices de diversité et d'équitabilité les plus bas observés pour l'ensemble des stations (respectivement $H' = 3,14$ et $3,32$ et $J' = 0,51$ et $0,54$). Ces faibles valeurs sont à mettre en relation avec les fortes abondances dans ces stations de deux espèces de bivalves : *Timoclea ovata* et *Nucula nitidosa*.

Comme pour tous les autres groupes, ce sont encore les annélides polychètes qui dominent, aussi bien en termes de richesse spécifique que d'abondance (respectivement 156 espèces et 3612 individus). Les mollusques et principalement les bivalves (89% de l'abondance totale des mollusques), bien que plus faiblement diversifiés que les crustacés (respectivement 15 et 24% de la richesse spécifique totale), ont des abondances nettement supérieures (34% de l'abondance totale) à celles des crustacés (8,5% de l'abondance totale) (fig. 100).

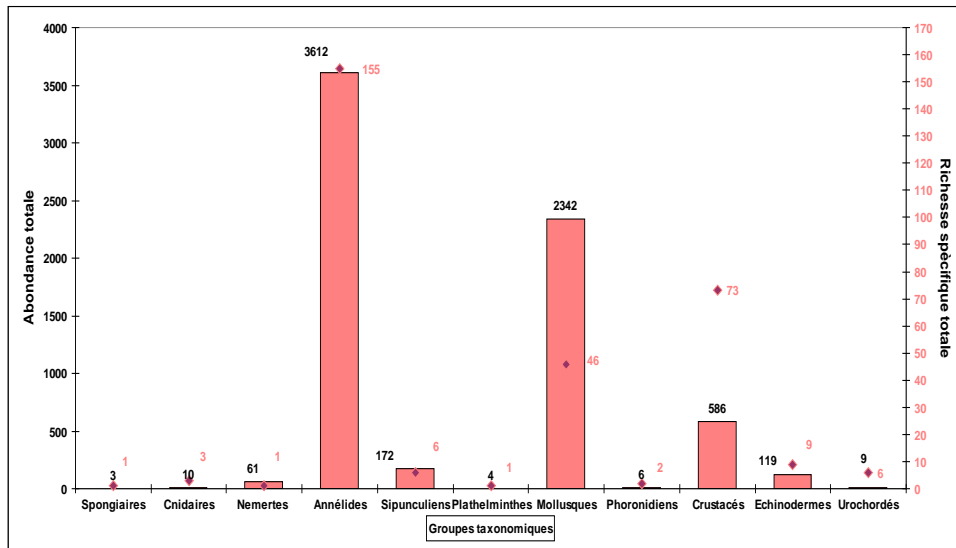


Figure 100 : Groupe E : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes taxonomiques

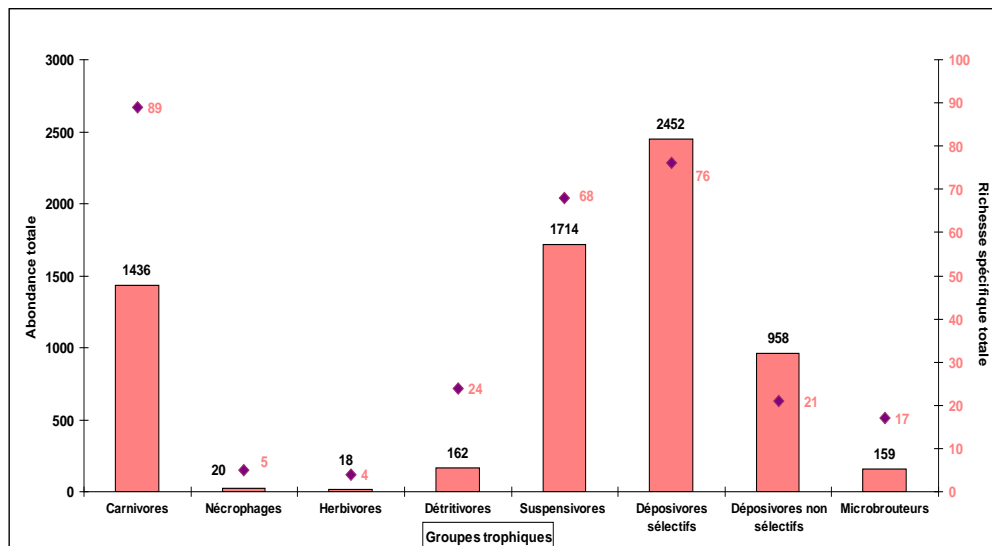


Figure 101 : Groupe E : Richesse spécifique totale et abondance totale des différents groupes trophiques

Les carnivores sont le groupe trophique dominant en termes de richesse spécifique (29,3%) mais les dépositivores sélectifs sont de loin le groupe trophique le plus abondant en termes de nombre d'individus (35,4 %). Les suspensivores, quant à eux, représentent 22,4% de la richesse spécifique et 24,8% de l'abondance totale (fig. 101).

Seules 9 espèces sur les 303 identifiées (environ 3%) cumulent 50% de l'abondance totale. Ce sont uniquement des annélides polychètes et des bivalves (tab. 27). Le bivalve *Timoclea ovata* est non seulement l'espèce la plus abondante mais c'est aussi la seule qui soit présente dans toutes les stations de ce groupe E. Les 8 autres espèces ont été identifiées dans au moins 7 des 14 stations du groupe.

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	1052	15,19	15,19
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	596	8,61	23,80
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	528	7,63	31,43
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	392	5,66	37,09
<i>Pista cristata</i>	Polychète	324	4,68	41,77
<i>Abra alba</i>	Bivalve	213	3,08	44,84
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	136	1,96	46,81
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Polychète	132	1,91	48,71
<i>Lumbrineris latreilli</i>	Polychète	130	1,88	50,59

Tableau 27 : Abondance des principales espèces du groupe E et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Les quatre espèces ayant les plus fortes abondances mais aussi des occurrences élevées (plus de 75%) se retrouvent naturellement en tête du classement des espèces en fonction du coefficient D_xP (tab. 28).

En revanche les listes d'espèces, classées en fonction du coefficient D_xP ou de leur indice IndVal, sont à la fois similaires et divergentes (tab. 28 et 29) : la plupart des espèces identifiées par le coefficient D_xP se retrouve dans le classement des espèces en fonction de leur indice IndVal mais l'ordre d'importance diffère. Le coefficient D_xP met en exergue des espèces ayant de fortes occurrences et de fortes abondances alors que l'indice IndVal, en se basant sur les moyennes des abondances et leurs fréquences relatives, s'en affranchit.

Espèces	Groupe taxonomique	D _x P Groupe E
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	4,31
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	3,23
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	2,67
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	1,79
<i>Calyptrea chinensis</i>	Gastéropode	1,47
<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i>	Sipunculien	1,35
<i>Pista cristata</i>	Polychète	1,34
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Polychète	1,26

Tableau 28 : Classement des espèces du groupe E en fonction du coefficient D_xP

Les principales espèces considérées comme caractéristiques en fonction de l'indice IndVal appartiennent à l'endofaune. *Scalibregma celticum* est une espèce ubiquiste mais que l'on trouve préférentiellement dans les sédiments grossiers (Worsfold T, 2006). Quant au crustacé *Upogebia deltaura* et aux sipunculien *Golfingia (Golfingia) elongata* et *Golfingia (Golfingia) vulgaris*, ce sont des espèces endogées fouisseuses qui peuvent pénétrer profondément dans des sédiments (plus de 40 cm) qui s'avèrent être, par leur texture et leur structure, hétérogènes.

Les différentes analyses relatives à ce groupe de stations hétérogènes, et en particulier les analyses multivariées (CAH et MDH) (fig. 73 et 74) permettent de différencier deux sous-groupes et une station qui s'individualise (fig 102) :

- sous-groupe E1 : BH 7, BH 14, BH 9, BH 1C, BH2, BH 3
- station BH 3C
- sous-groupe E2 : BH 7C, BH 6C, BH 9C, BH 10C, BH 5C, BH 10, BH 19.

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Groupe E
<i>Scalibregma celticum</i>	Polychète	83,57
<i>Upogebia deltaura</i>	Crustacé	78,57
<i>Golfingia (Golfingia)elongata</i>	Sipunculien	76,98
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	73,95
<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris</i>	Sipunculien	73,95
<i>Anapagurus hyndmani</i>	Crustacé	69,40
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	65,77
<i>Tapes (Tapes) rhomboides</i>	Bivalve	63,68
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Polychète	62,09
<i>Malmgreniella lunulata</i>	Polychète	61,00
<i>Eteone longa</i>	Polychète	60,44
<i>Euclymene droebrachiensis</i>	Polychète	60,10
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	56,41
<i>Leptochiton cancellatus</i>	Polyplacophore	56,10
<i>Calyptreaea chinensis</i>	Gastéropode	55,40
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	54,91
<i>Terebellidae indet.</i>	Polychète	54,47
<i>Parvicardium scabrum</i>	Bivalve	50,00

Tableau 29 : Classement des espèces du groupe E en fonction de leur indice IndVal

Les stations du sous-groupe E1 et la station BH 3C sont positionnées au nord d'une ligne Roscoff-Premel et celles du sous-groupe E2 se distribuent au sud-ouest d'une ligne Plateau des Duons-Térénez.

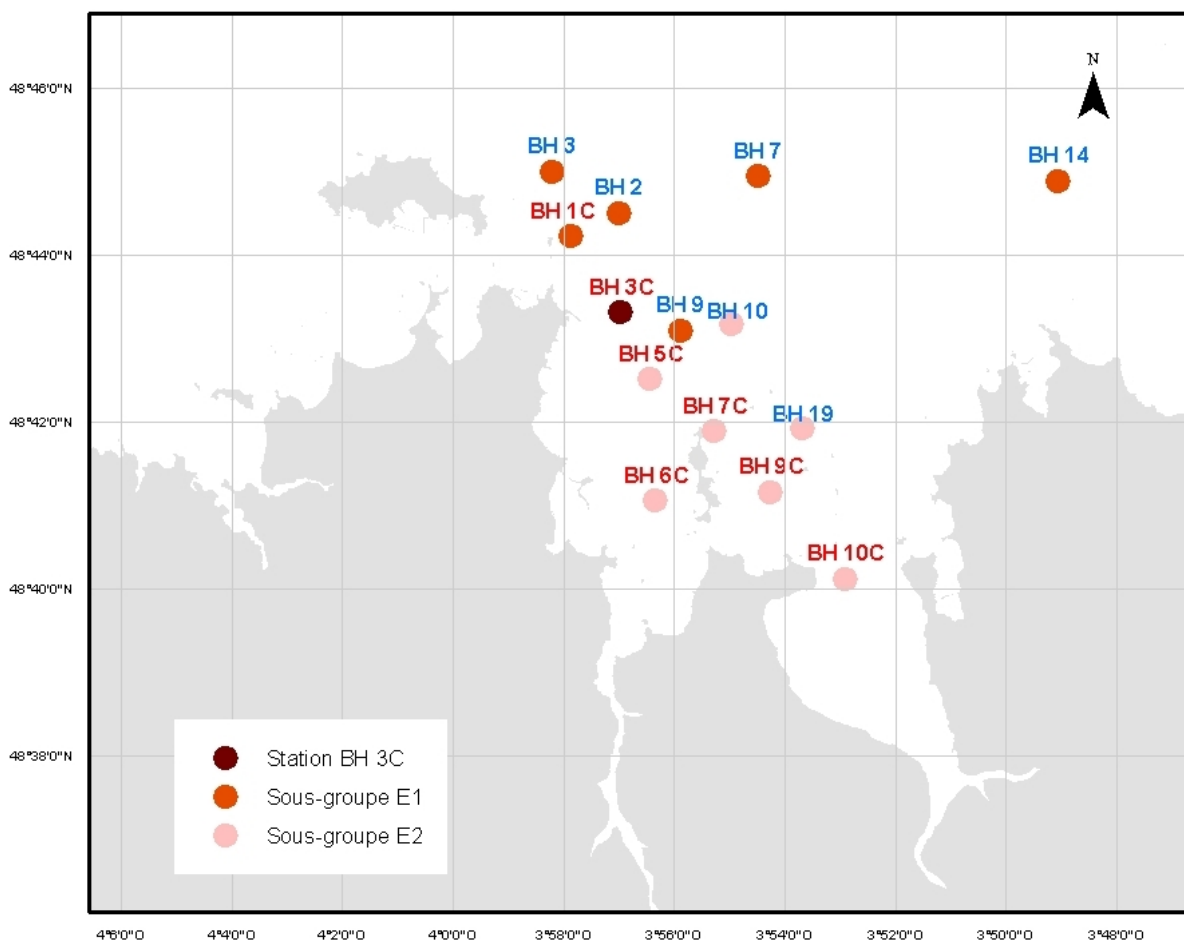


Figure 102 : Carte de situation des sous-groupes E1 et E2 et de la station BH 3C

3.3.3.5.1. Sous-groupe E1 : BH 7, BH 14, BH 9, BH 1C, BH2, BH 3

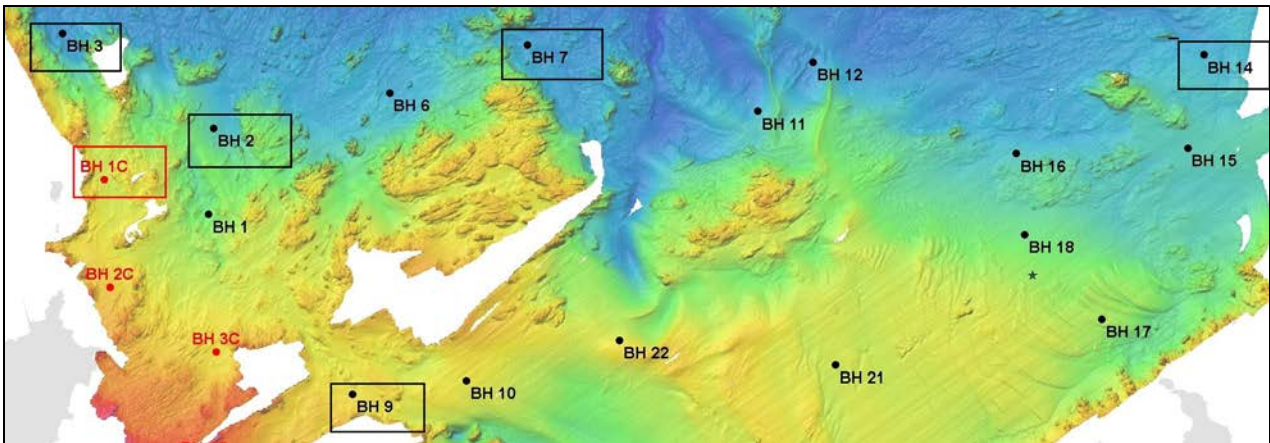


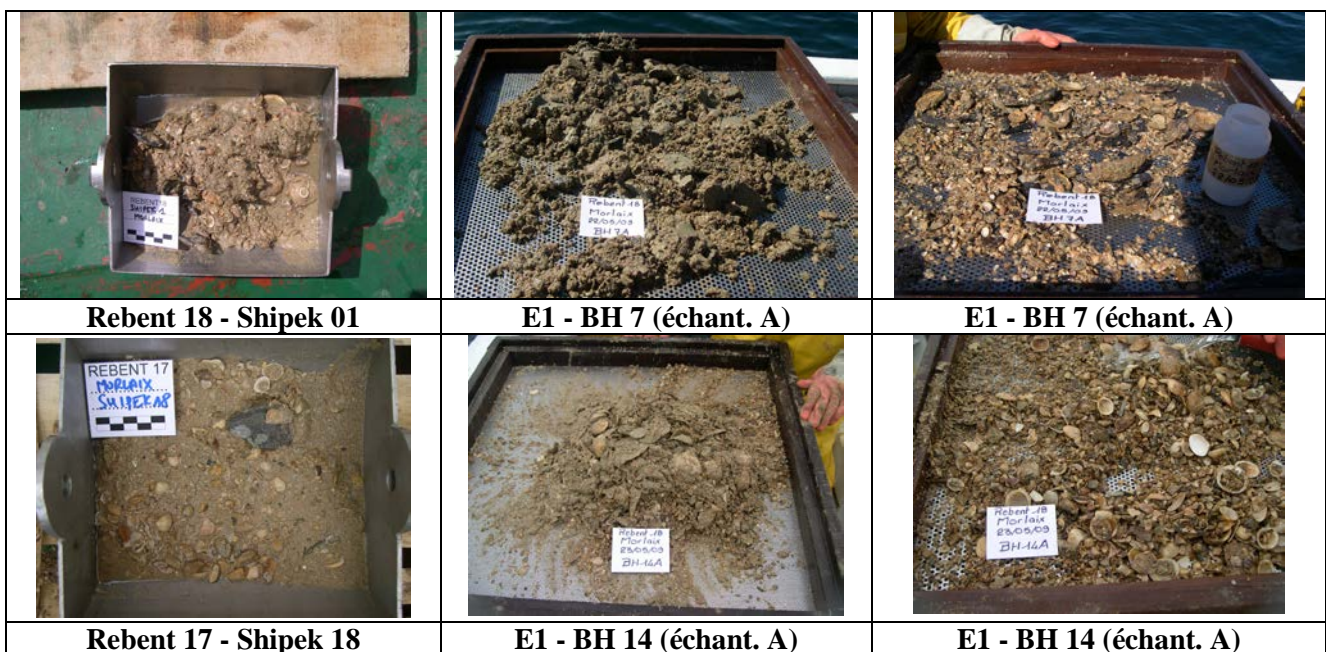
Figure 103 : Carte zoomée de situation des stations du sous-groupe E1

La bathymétrie des stations BH 1C (à l'est de Ty Saozon) et BH 9 (au sud de plateau des Duons), comprise entre 10 et 20 mètres, est nettement inférieure à celle des autres stations (supérieure à 30 mètres) (fig. 103).

Le sédiment de ces stations est hétérogène et constitué d'un substrat sablo-graveleux en mélange avec des débris coquilliers, parfois des galets et aussi du maërl en surface comme dans les stations BH 1C et BH 9. L'envasement est faible, un peu plus marqué à la station BH 1C (fig. 104 et 105).

La richesse spécifique totale de ce sous-groupe est de 186 taxons pour une abondance totale de 1524 individus. Si 61% des espèces du groupe E sont présentes dans ce sous-groupe, leur abondance totale ne représente que 22% de l'abondance totale du groupe. La richesse spécifique moyenne par station est de 72 espèces (± 11) pour une abondance moyenne par station ($3/8\text{m}^2$) de 254 (± 106).

Parmi ces 186 taxons, seules 8 espèces ont été identifiées dans toutes les stations de ce sous-groupe. Ce sont des annélides (*Notomastus latericeus*, *Lumbrineris gracilis*, *Laonice bahusiensis*, *Glycera lapidum* et *Eunice vittata*), un bivalve (*Timoclea ovata*), un crustacé amphipode (*Ampelisca spinipes*) et un échinoderme (*Echynociamus pusillus*).



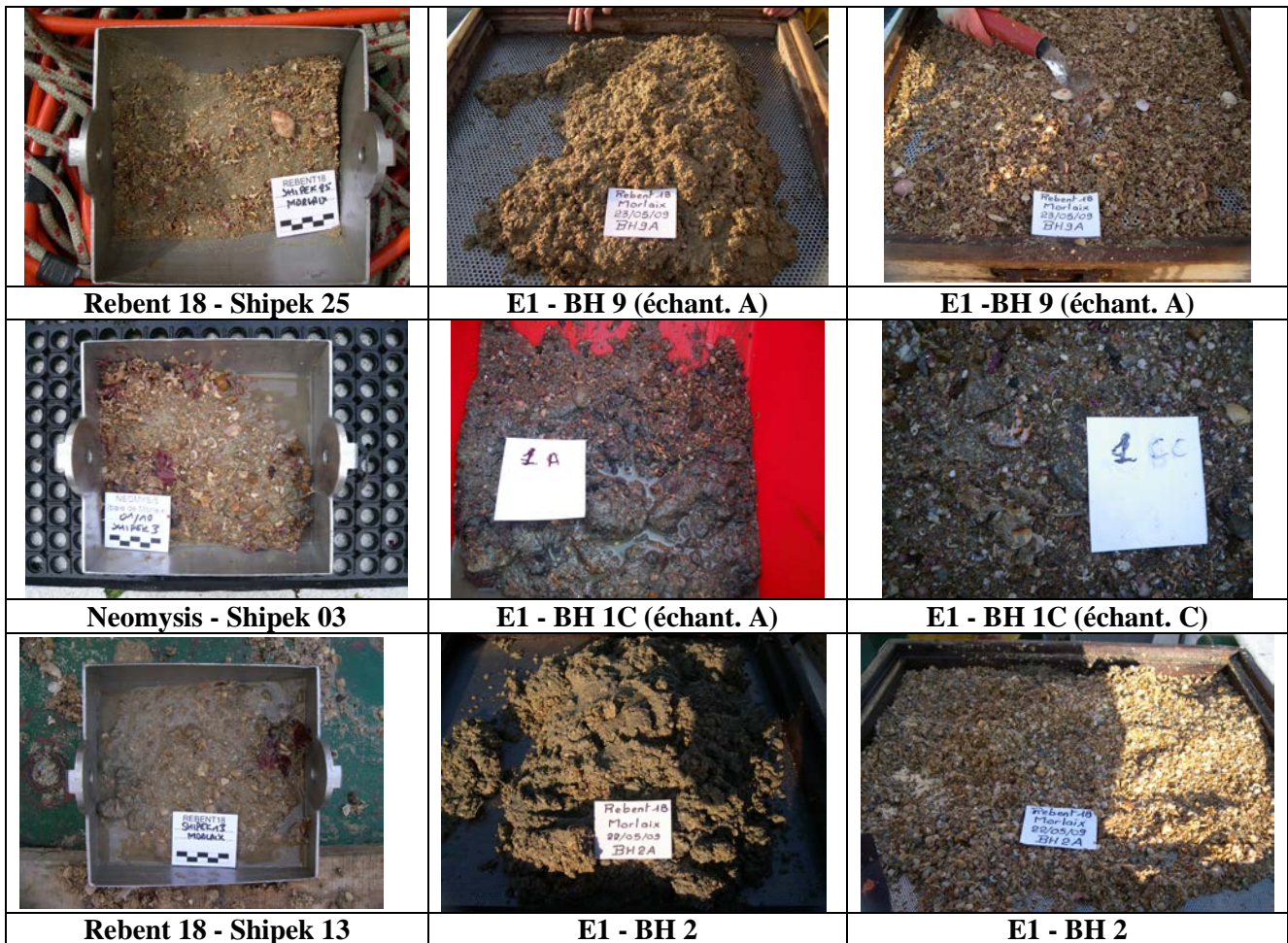


Figure 104 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon (avant et après lavage) et des bennes Shipek correspondantes des stations du sous-groupe E1

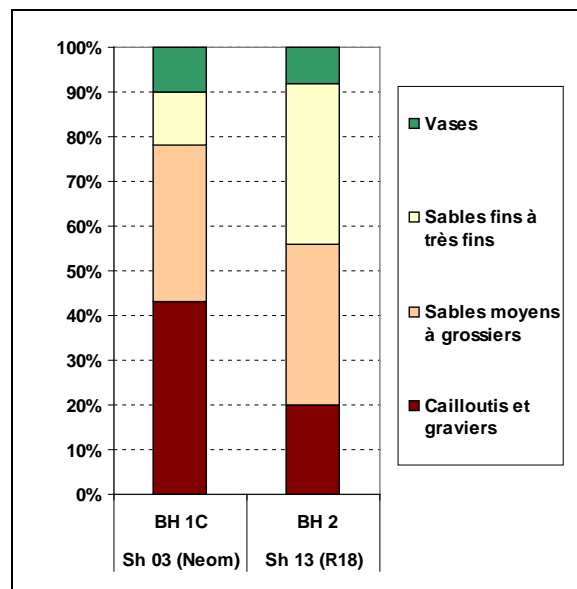


Figure 105 : Pourcentages des diverses fractions granulométriques de deux stations du sous-groupe E1

Aucune espèce dans ce sous-groupe n'a de dominance très marquée (tab. 30). L'espèce la plus abondante, le polychète *Notomastus latericeus*, ne représente que 7,1% de l'abondance totale. C'est une espèce à large répartition écologique mais qui affiche une préférence pour les milieux dont la teneur en vase est comprise entre 10 et 30% (Degraer *et al.*, 2006).

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	108	7,1	7,1
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	61	4,0	11,1
<i>Lumbrinereis gracilis</i>	Polychète	56	3,7	14,8
<i>Ampelisca spinipes</i>	Crustacé	49	3,2	18,0
<i>Laonice bahusiensis</i>	Polychète	46	3,0	21,0
<i>Pista cristata</i>	Polychète	44	2,9	23,9
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	38	2,5	26,4
<i>Thelepus setosus</i>	Polychète	35	2,3	28,7
<i>Clumenura cf tricirrata</i>	Polychète	34	2,2	30,9
<i>Othomaera othonis</i>	Crustacé	34	2,2	33,1
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	31	2,0	35,2
<i>Echinocyamus pusillus</i>	Echinoderme	31	2,0	37,2
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	31	2,0	39,2
<i>Eunice vittata</i>	Polychète	30	2,0	41,2
<i>Chaetozone gibber</i>	Polychète	28	1,8	43,0
<i>Golfingia elongata</i>	Sipunculien	28	1,8	44,9
<i>Lanice conchilega</i>	Polychète	28	1,8	46,7
<i>Abra alba</i>	Bivalve	25	1,6	48,4
<i>Terebellides stroemi</i>	Polychète	24	1,6	49,9
<i>Lumbrineris latreilli</i>	Polychète	21	1,4	51,3

Tableau 30 : Abondance des principales espèces du sous-groupe E1 et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Les espèces les mieux représentées, à la fois en termes de présence et d'effectifs sont des amphipodes (*Ampelisca spinipes* et *Othomaera othonis*) un échinoderme (*Echinocyamus pusillus*) et des polychètes (*Notomastus latericeus*, *Eunice vittata*, *Glycera lapidum*, *Laonice bahusiensis*, *Lumbrineris gracilis*, *Clymenura cf tricirrata*, *Terebellides stroemi* et *Eulalia mustela*). Le seul représentant de la classe des bivalves est *Timoclea ovata* (tab. 31).

Espèces	Groupe taxonomique	DxP Sous-groupe E1
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	3,54
<i>Ampelisca spinipes</i>	Amphipode	2,25
<i>Othomaera othonis</i>	Amphipode	2,23
<i>Echinocyamus pusillus</i>	Echinoderme	2,03
<i>Eunice vittata</i>	Polychète	1,97
<i>Thelepus spp</i>	Polychète	1,79
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	1,42
<i>Laonice bahusiensis</i>	Polychète	1,41
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	1,33
<i>Lumbrinereis gracilis</i>	Polychète	1,29
<i>Clymenura cf tricirrata</i>	Polychète	1,20
<i>Terebellides stroemii</i>	Polychète	1,13
<i>Eulalia mustela</i>	Polychète	1,12

Tableau 31 : Classement des espèces du sous-groupe E1 en fonction du coefficient DxP

Le calcul de l'indice IndVal fait ressortir deux espèces caractéristiques de ce sous-groupe (tab.32). Ce sont l'échinoderme *Echinocyamus pusillus* et le polychète *Eunice vittata*. La valeur maximale de 100

indique que ces deux espèces sont présentes uniquement dans ce sous-groupe. *E. pusillus* est un microbrouleur qui vit dans les interstices des sédiments grossiers soumis à l'action des vagues ou de forts courants de marée (Telford *et al.*, 1983 ; Brown *et al.*, 2001). *E. vittata* est une espèce carnivore, commune dans les fonds de sable coquillier grossier hétérogène, graveleux ou caillouteux (Inventaire de la Faune et de la Flore, Station biologique de Roscoff).

La présence d'autres espèces, comme par exemples, l'amphipode *Othomaera othonis*, les polychètes *Glycera lapidum*, *Fimbriosthenelais zetlandica*, *Diplocirrus stopbowitzi*, *Ophelia celtica* et *Pelogenia arenosa* ou le sipunculien *Phascolion (Phascolion) strombus*, bien que n'étant pas électives de ce sous-ensemble, confirment le caractère sédimentaire grossier de ces stations. L'envasement un peu plus marqué dans certaines stations, comme dans le cas de la station BH 1C (fig. 105), se traduit par la présence d'espèces affines des sédiments hétérogènes envasés telles que *Pista cristata* et *Terebellides stroemi*. Les éléments les plus grossiers du sédiment sont colonisés par une épifaune sessile principalement constituée de térébellidés (*Thelepus spp* : *T. cincinnatus* et *T. setosus*, *Nicolea venustula*) et des sabellaridés (*Sabellaria spinulosa*).

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Sous-groupe E1
<i>Eunice vittata</i>	Polychète	100
<i>Echinocyamus pusillus</i>	Echinoderme	100
<i>Laonice bahusiensis</i>	Polychète	96,4
<i>Othomaera othonis</i>	Amphipode	83,3
<i>Eunereis longissima</i>	Polychète	83,3
<i>Eulalia mustela</i>	Polychète	83,3
<i>Conilera cylindracea</i>	Isopode	83,3
<i>Glycera lapidum</i>	Polychète	76,7
<i>Upogebia stellata</i>	Décapode	76,1
<i>Ampelisca spinipes</i>	Amphipode	76,1
<i>Glycera gigantea</i>	Polychète	74,2
<i>Ophiura albida</i>	Echinoderme	68,6
<i>Lumbrinereis gracilis</i>	Polychète	68,5
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	Sipunculien	67,5
<i>Terebellides stroemii</i>	Polychète	64,1
<i>Terebellidae indet</i>	Polychète	59,8
<i>Nicolea venustula</i>	Polychète	58,3
<i>Atylus vedlomensis</i>	Amphipode	55,0
<i>Clymenura cf trcirrata</i>	Polychète	51,9
<i>Dipolydora caeca</i>	Polychète	50,8
<i>Syllis sp1</i>	Polychète	50,0
<i>Sabellaria spinulosa</i>	Polychète	50,0
<i>Proclymene muelleri</i>	Polychète	50,0
<i>Neoamphitrite figulus</i>	Polychète	50,0
<i>Jasmineira elegans</i>	Polychète	50,0
<i>Harmothoe impar</i>	Polychète	50,0
<i>Fimbriosthenelais zetlandica</i>	Polychète	50,0
<i>Diplocirrus stopbowitzi</i>	Polychète	50,0
<i>Atelecyclus rotundatus</i>	Décapode	50,0
<i>Ampelisca spooneri</i>	Amphipode	50,0

Tableau 32 : Classement des espèces du sous-groupe E1 en fonction de leur indice IndVal

Du point de vue biosédimentaire, ces stations se réfèrent à des **sables hétérogènes coquilliers pas ou peu envasés à *Echinocyamus pusillus***.

3.3.3.5.2 Station BH 3C

Entre le port de Roscoff et le plateau des Duons, à l'ouest de la tourelle "Le Menk", cette station a été échantillonnée dans une enclave de roche, dans des fonds d'une dizaine de mètres de profondeur.

Parmi les 51 espèces identifiées, seules trois espèces cumulent plus de 50% de l'abondance totale qui est de 263 individus (tab. 33) : il s'agit du crustacé *Pisidia longicornis* et des bivalves *Nucula nitidosa* et *Timoclea ovata*.

Du point de vue sédimentaire, cette station se caractérise par un substrat sablo-graveleux en mélange avec des débris coquilliers et la présence de nombreux cailloutis et même de blocs (fig. 106). Cette hétérogénéité sédimentaire se traduit par une hétérogénéité faunistique. L'endofaune est représentée par de nombreuses espèces liées à la fraction sablo-graveleuse du sédiment. Ce sont majoritairement des bivalves (*Nucula nitidosa* et *Timoclea ovata*), mais également des polychètes tels que *Nephtys kersivalensis*, *Caulleriella alata* et *Lumbrineris gracilis*. L'épifaune vagile est dominée par des crustacés décapodes comme *Pisidia longicornis* et *Galathea indermedia*, espèces affines des sédiments très grossiers et dont la présence est liée à la variété d'espaces interstitiels créés par les graviers, cailloutis et débris coquilliers, mais aussi, en surface, par le mollusque polyplacophore *Leptochiton cancellatus* et le gastéropode *Calyptraea chinensis* fixés sur les éléments sédimentaires les plus grossiers.

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Pisidia longicornis</i>	Crustacé	73	27,8	27,8
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	46	17,5	45,2
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	19	7,2	52,5

Tableau 33 : Abondance des principales espèces de la station BH 3C et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

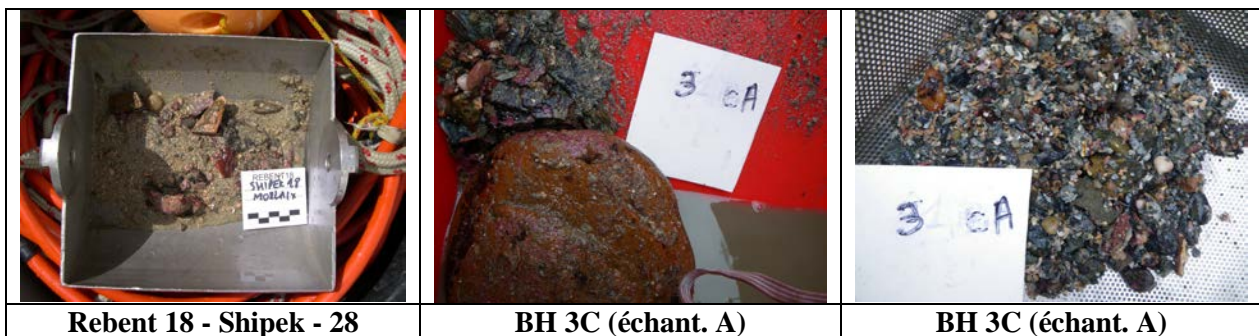


Figure 106 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon BH 3C et de la benne Shipek correspondante

La station BH 3C peut donc être définie comme une station de **cailloutis et de graviers ensablés avec un faciès d'épifaune sessile**.

3.3.3.5.3 Sous-groupe E2 : Stations BH 7C, BH 6C, BH 9C, BH 10C, BH 5C, BH 10, BH 19

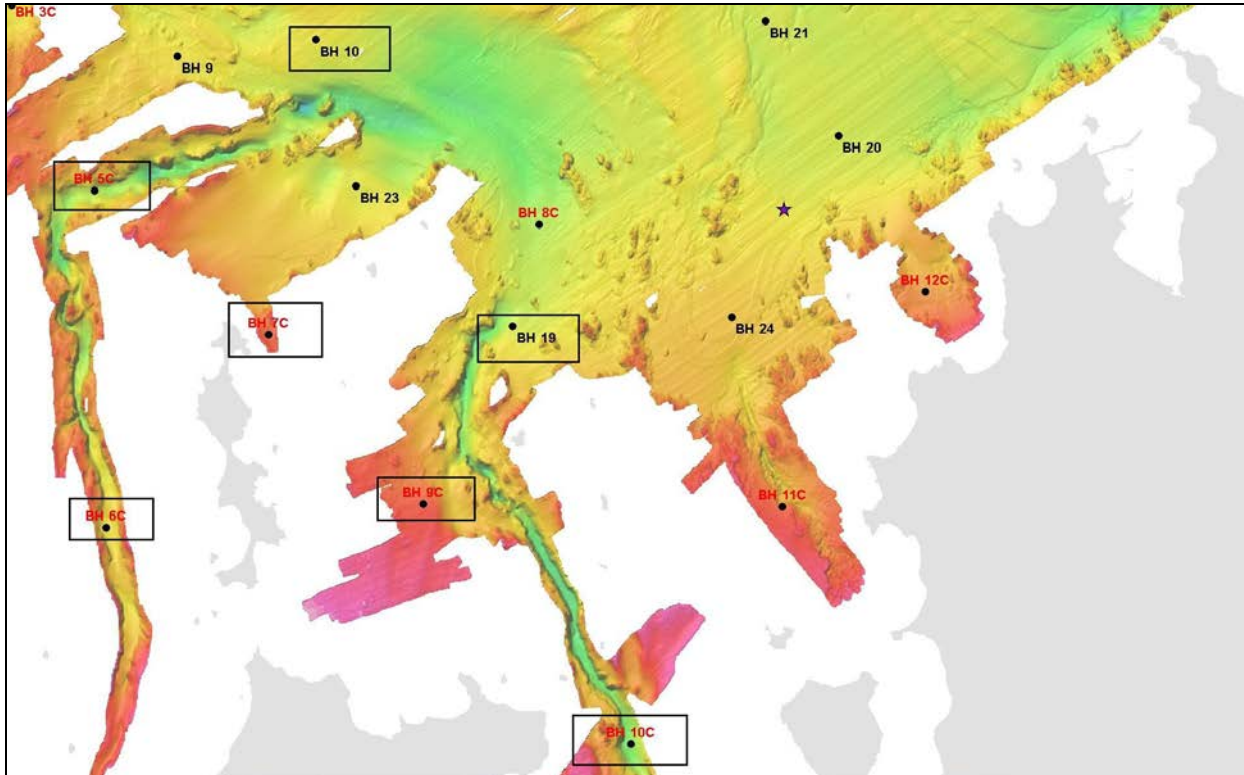


Figure 107 : Carte zoomée de situation des stations du sous-groupe E2

Sur les 7 stations qui constituent ce sous-groupe, 5 sont situées dans les petits fonds (une dizaine de mètres de profondeur) : les stations BH 6C et BH 5C, en aval et à la sortie de la Penzé, BH 10C dans la rivière de Morlaix, BH 7C au nord-est de l'île Callot et BH 9C à l'est de l'île Callot. Pour les deux autres stations (BH 10 au sud du plateau des Duons et BH 19 à l'est de l'île Verte), la profondeur est légèrement supérieure, mais demeure inférieure à 20 mètres (fig. 107).

Comme pour toutes les stations du groupe E, ce sous-groupe se caractérise par un sédiment hétérogène constitué d'un substrat sablo-vaseux, en mélange avec des éléments plus grossiers : graviers, débris coquilliers et même du maërl, en surface (fig. 108 et 109). Il diffère des stations du sous-groupe E1 par un envasement un peu plus marqué dans la majorité des stations. Aux stations BH 10 et BH 19, la fraction de sables fins à très fins est nettement supérieure et peut atteindre 40%.

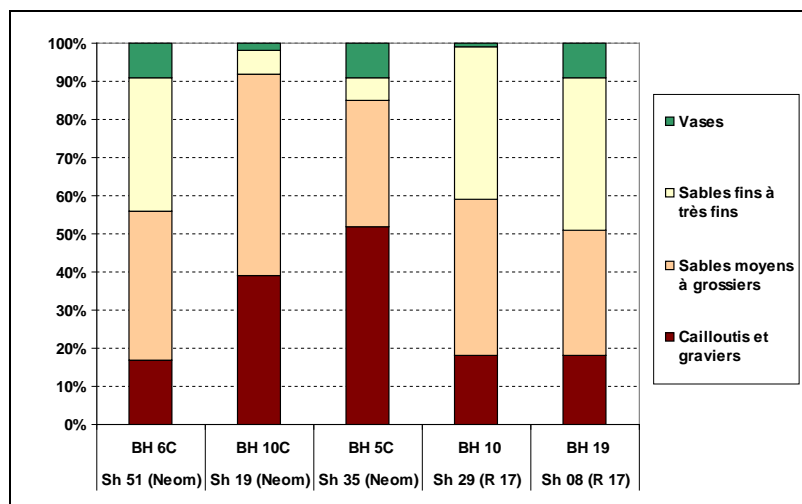

















Figure 108 : Pourcentages des diverses fractions granulométriques de cinq stations

		
Neomysis - Shipek 31	E2 - BH 7C (échant. A)	E2 - BH 7C (échant. A)
		
Neomysis - Shipek 51	E2 - BH 6C (échant. B)	E2 - BH 6C (échant. B)
		
Neomysis - Shipek 45	E2 - BH 9C (échant. A)	E2 - BH 9C (échant. A)
		
Neomysis - Shipek 19	E2 - BH 10C (échant. B)	E2 - BH 10C (échant. B)
		
Neomysis - Shipek 35	E2 - BH 5C (échant. B)	E2 - BH 5C (échant. B)

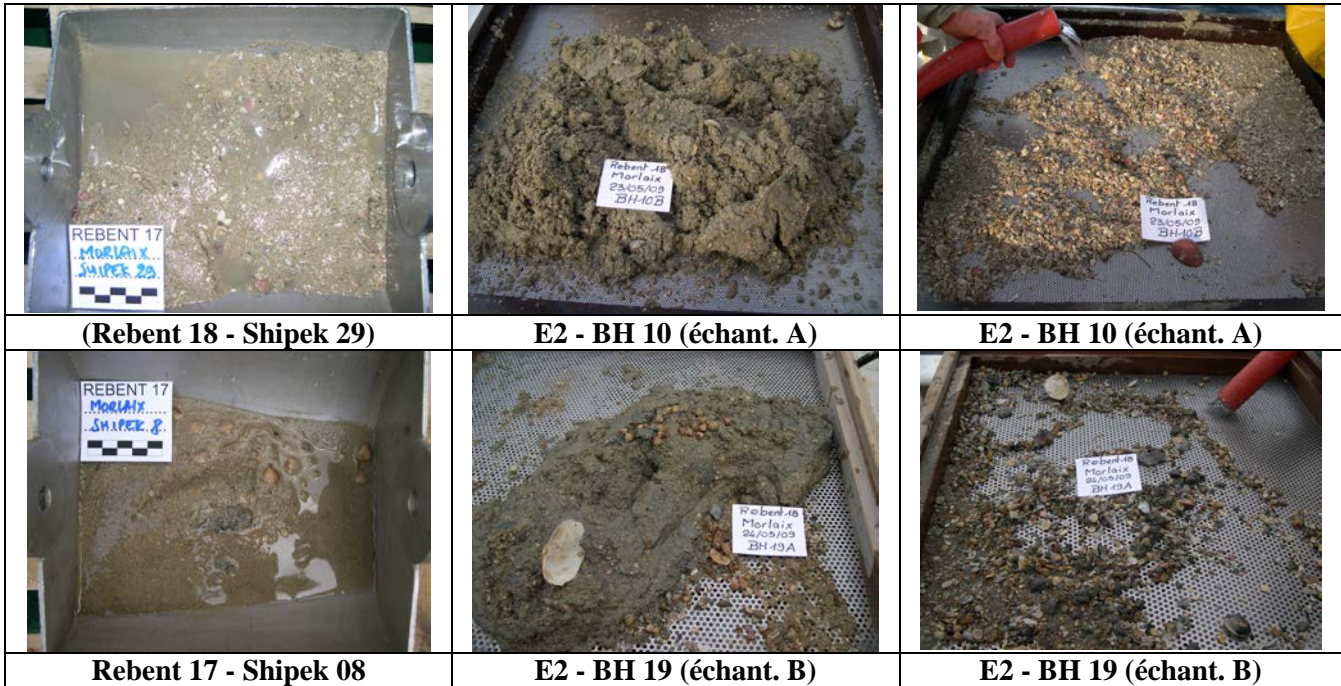


Figure 109 : Photographies des prélèvements à la benne Hamon (avant et après lavage) et des bennes Shipek correspondantes des stations du sous-groupe E2

La position bathymétrique de ces stations les différencie des stations du sous-groupe E1. En effet, cinq de ces stations se situent à une profondeur d'une dizaine de mètres alors que la majorité des stations du sous-groupe E1 se situent dans des fonds de l'ordre de 20 à 30 mètres (fig. 104 et 107). Dans ces stations côtières au sédiment hétérogène envasé, se surimpose du maërl (*Lithothamnium corallioides*) vivant (BH 7C et BH 9C) ou majoritairement mort (BH 6C, BH 10C et BH 5C).

Le degré d'envasement, la bathymétrie, la présence de maërl et très probablement les apports de matière organique par les rivières de Penzé et de Morlaix, sont parmi les facteurs abiotiques majeurs qui permettent d'expliquer les regroupements des stations en sous-groupes au sein du groupe E.

Dans le sous-groupe E2, 218 espèces ont été identifiées pour une abondance totale de 5137 individus, soit 71,5% de la richesse spécifique totale et 74,5% de l'abondance totale du groupe E. La richesse spécifique moyenne est de 74 espèces (± 10) pour une abondance moyenne par station ($3/8\text{m}^2$) de 734 individus (± 204).

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale	Abondance relative (%)	Abondances cumulées (%)
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	972	18,9	18,9
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	512	10	28,9
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	420	8,2	37,1
<i>Nematoneis hebes</i>	Polychète	371	7,2	44,3
<i>Pista cristata</i>	Polychète	269	5,2	49,5
<i>Abra alba</i>	Bivalve	188	3,7	53,2

Tableau 34 : Abondance des principales espèces du sous-groupe E2 et pourcentages relatifs et cumulés de l'abondance totale

Trois bivalves (*Timoclea ovata*, *Nucula nitidosa* et *Abra alba*) et trois polychètes (*Notomastus latericeus*, *Nematonereis hebes* et *Pista cristata*) cumulent plus de 50% de l'abondance totale de cet ensemble de stations (tab. 34). Ces espèces, exception faite de *Pista cristata*, sont présentes dans toutes les stations (tab.35). Si on se réfère au classement DxP (tab. 36), leurs fortes abondances et occurrences les classent comme espèces caractéristiques de ce sous-groupe.

Espèces	Groupe taxonomique	Abondance totale
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	972
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	512
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	420
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	371
<i>Calyptreaea chinensis</i>	Gastéropode	120
<i>Scalibregma celticum</i>	Polychète	83
<i>Euclymene droebrachiensis</i>	Polychète	59
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	58
<i>Anapagurus hyndmani</i>	Crustacé	37
<i>Amphipholis squamata</i>	Echinoderme	31
<i>Golfingia vulgaris</i>	Sipunculien	19
<i>Upogebia deltaura</i>	Crustacé	13

Tableau 35 : Espèces présentes dans toutes les stations du sous-groupe E2

Selon l'indice IndVal, le gastéropode *Calyptreaea chinensis*, serait l'espèce élective de ce sous-groupe (tab. 37). Cette espèce d'épifaune, inféodée aux sédiments grossiers, utilise les cailloutis et les débris coquilliers comme supports et sa distribution bathymétrique est limitée aux fonds inférieurs à 20 mètres (Retière, 1979).

La structure tridimensionnelle du substrat et son large spectre granulométrique, avec des éléments grossiers (cailloutis, graviers, débris coquilliers et arbuscules de maërl) ennoyés dans un sédiment sablo-vaseux, se traduit par une forte diversité faunistique. La structure va favoriser la présence d'une épifaune vagile qui va utiliser les éléments les plus grossiers comme supports (*Calyptreaea chinensis*, *Leptochiton cancellatus* et *Lepidochitona cinerea*) ou les espaces interstitiels (*Nematonereis hebes*, *Amphipholis squamata*), alors que dans le sédiment meuble sous-jacent, l'endofaune va être bien représenté, en particulier par des bivalves (*Timoclea ovata*, *Nucula nitidosa*, *Abra alba*, *Parvicardium scabrum* et *Tapes (tapes) rhomboides*), des sipunculien (*Golfingia (Golfingia) elongata* et *Golfingia (Golfingia) vulgaris*) et des crustacés fouisseurs comme *Upogebia deltaura* et *Upogebia stellata*. La texture sédimentaire hétérogène favorise la cohabitation d'espèces affines des sédiments grossiers et celles affines de sédiments fins, plus ou moins envasés, comme les polychètes *Notomastus latericeus*, *Pista cristata*, *Scalibregma celticum*, *Caulleriella alata*, *Chaetozone gibber* ou encore *Cirriformia tentaculata*. Le polychète *Notomastus latericeus*, déjà bien représenté dans le sous-groupe E1 (en moyenne 18 individus par station de 3/8m²), atteint dans le sous-groupe E2 des abondances nettement supérieures (en moyenne 60 individus par station de 3/8m²) et ceci est à mettre en relation avec un envasement plus conséquent.

Dans ce groupe de stations côtières, caractérisées par un sédiment hétérogène envasé avec présence de maërl, la station BH 7C (au nord-est de l'île callot) affiche quelques particularités faunistiques qui ne se retrouvent pas dans les autres stations. C'est la station la plus diversifiée de ce sous-groupe : 95 espèces et c'est la seule station, de l'ensemble de la zone d'étude, où a été identifié le polychète *Cirriformia tentaculata* (75 individus). La présence de ce cirratulidé et de l'oligochète *Tubificoides benedii* indique que cette station doit être particulièrement riche en matière organique. En effet, lors de l'échantillonnage,

le descriptif de la station signalait des débris de zostères (*Zostera marina*) et du maërl vivant. La carte 17 (Rivière de Morlaix/Penzé) de l'Atlas des herbiers de zostères de la région Bretagne (cf. annexe 6), indique la présence d'un herbier à *Zostera marina* à proximité de cette station (entre la côte est de l'île Callot et l'île Vierge). La proximité d'une zone de maërl (cf. annexe 7) se traduit par des apports faunistiques dont certaines espèces, comme les crustacés amphipodes *Gammarella fucicola* et *Abludomelita gladiosa*, sont caractéristiques du maërl (Grall, 2002).

Les stations BH 10 et BH 19 se singularisent par rapport aux autres stations de ce sous-groupe, d'une part par leur position bathymétrique (en zone plus profonde), l'absence de maërl et un sédiment hétérogène dont la fraction caillouto-graveleuse est beaucoup plus faible (de l'ordre de 20%) et dont le pourcentage de sables fins à très fins est de l'ordre de 40%. L'envasement est un peu plus marqué à la station BH 19 qu'à la station BH 10 (fig. 108). Ces deux stations se caractérisent par de fortes concentrations des bivalves *Timoclea ovata* (respectivement 332 et 447 individus pour 3/8m²) et *Nucula nitidosa* (158 et 234 individus pour 3/8m²). Ces fortes densités de ces deux bivalves sont probablement à mettre en relation avec les apports de matière organique par les rivières de Morlaix et de Penzé.

Le polychète *Pista cristata*, bien représenté dans les stations côtières où l'envasement est plus marqué, est totalement absent de la station BH 10 et seulement 11 individus ont été identifiés dans la station BH 19. Inversement, c'est à la station BH 10, moins envasée, que le polychète tubicole *Lanice conchilega* montre ses plus fortes abondances (39 individus pour 3/8m²).

Le sous-groupe E2 est donc constitué de stations de **sédiments hétérogènes envasés à *Pista cristata***.

Espèces	Groupe taxonomique	DxP Sous-groupe E2
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	6,31
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	4,09
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	3,52
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	2,89
<i>Abra alba</i>	Bivalve	2,64
<i>Pista cristata</i>	Polychète	1,69
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	1,51
<i>Cirriformia tentaculata</i>	Polychète	1,46
<i>Calyptrea chinensis</i>	Gastéropode	1,17

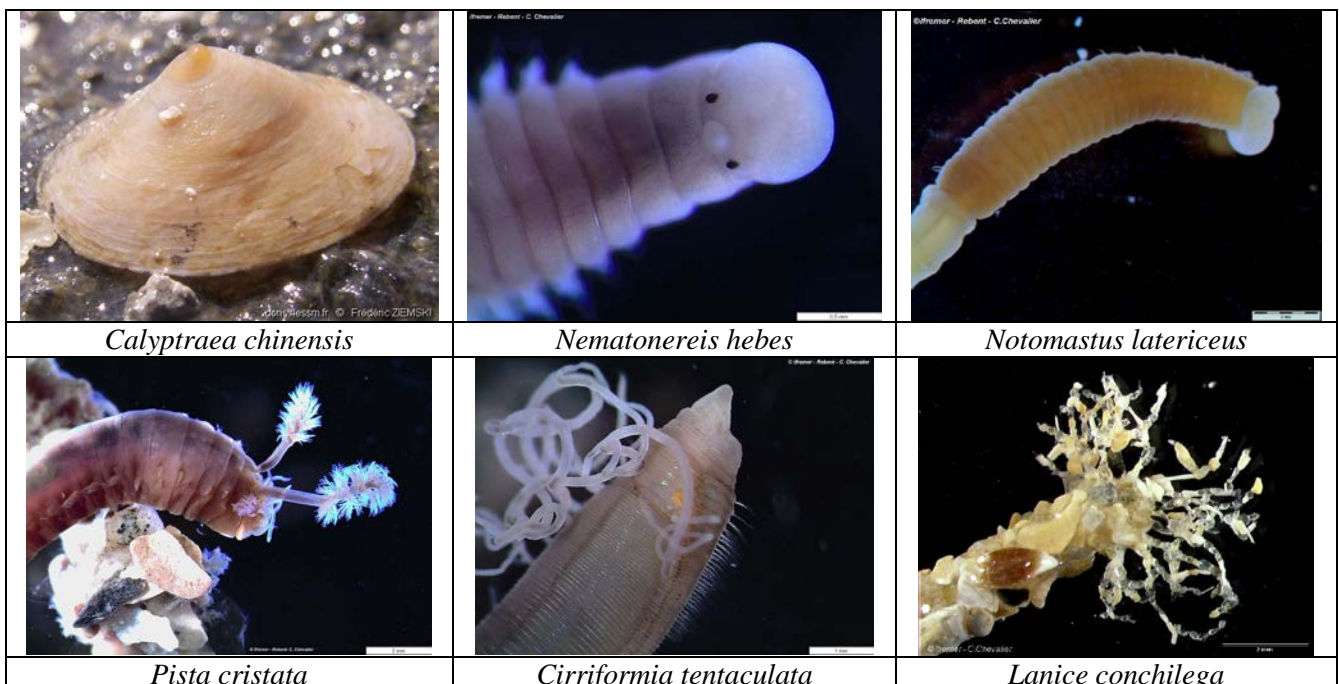
Tableau 36 : Classement des espèces du sous-groupe E2 en fonction du coefficient DxP

En résumé, toutes les stations du groupe E ont en commun un sédiment hétérogène, plus ou moins envasé, avec une dominance des sédiments grossiers. Les deux sous-groupes identifiés sont corrélés avec leur distribution bathymétrique : au nord de la baie, des stations de sables coquilliers graveleux pas ou peu envasés et en zone proche côtière, un sédiment hétérogène grossier plus ou moins envasé (toujours une fraction coquillière importante) et présence de maërl. Suivant les stations les arbuscules de maërl observés correspondent soit à du maërl mort (BH 6C, BH 10C, BH 5C) ou à du maërl vivant (BH 7C).

Le tableau 38 rassemble les résultats synthétiques issus de l'analyse des prélèvements biologiques et les différentes caractéristiques biocénotiques pour l'ensemble de la zone d'étude

Espèces	Groupe taxonomique	IndVal Sous-groupe E2
<i>Calyptraea chinensis</i>	Gastéropode	100,0
<i>Nematonereis hebes</i>	Polychète	94,6
<i>Timoclea ovata</i>	Bivalve	93,2
<i>Nucula nitidosa</i>	Bivalve	92,0
<i>Euclymene droebrachiensis</i>	Polychète	86,3
<i>Amphipholis squamata</i>	Echinoderme	84,2
<i>Scalibregma celticum</i>	Polychète	78,9
<i>Notomastus latericeus</i>	Polychète	76,9
<i>Euclymene oerstedii</i>	Polychète	76,3
<i>Mediomastus fragilis</i>	Polychète	75,9
<i>Abra alba</i>	Bivalve	74,2
<i>Polycirrus medusa</i>	Polychète	73,7
Némertes (spp)	Némertien	72,4
<i>Anapagurus hyndmani</i>	Décapode	70,9
<i>Nephtys kersivalensis</i>	Polychète	70,3
<i>Malmgreniella lunulata</i>	Polychète	67,8
<i>Eteone longa</i>	Polychète	65,2
<i>Parvicardium scabrum</i>	Bivalve	64,0
<i>Tapes (Tapes) rhomboides</i>	Bivalve	62,4
<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i>	Sipuculien	61,9
<i>Caulleriella alata</i>	Polychète	61,6
<i>Pholoe inornata</i>	Polychète	60,9
<i>Ampharete lindstroemi</i>	Polychète	60,7
<i>Pista cristata</i>	Polychète	60,0
<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris</i>	Sipuculien	57,6
<i>Platynereis dumerilii</i>	Polychète	57,1
<i>Phyllodoce longipes</i>	Polychète	57,1
<i>Dipolydora flava</i>	Polychète	57,1
<i>Corbula gibba</i>	Bivalve	57,1
<i>Protodorvillea kefersteni</i>	Polychète	56,0
<i>Leptochiton cancellatus</i>	Polyplacophore	51,1

Tableau 37 : Classement des espèces du sous-groupe E2 en fonction de leur indice IndVal



Groupe	A	B	C	D	E		
Stations	BH 13 – BH 8 BH 11 – BH 12 BH 17 – BH 22	BH 2C – BH 4 BH 5 – BH 15 BH 16 – BH 18	BH 4 BH 1 BH 6	BH 21 – BH 20 BH 24 – BH 23 BH 8C – BH11C BH 12C	BH 7 – BH 14 – BH 9 – BH 1C BH 2 – BH 3 – BH 3C – BH 7C BH 6C – BH 9C – BH 10C BH 5C – BH 10 – BH 19		
Sous - groupe					E1		E2
Stations					BH 7 – BH 14 BH 9 – BH 1C BH 2 – BH 3	BH 3C	BH 7C – BH 6C BH 9C – BH 10C BH 5C – BH 10 BH 19
Catégorie sédimentaire	Sables fins à moyens propres et mobiles	Sables grossiers	Sédiments grossiers et caillouteux	Sables fins	Sables coquilliers graveleux, pas ou peu envasés		Sédiments hétérogènes envasés
Espèces caractéristiques	<i>Bathyporeia elegans</i> <i>Abra prismatica</i> <i>Nephtys cirrosa</i>	<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Glycymeris glycymeris</i>	<i>Thelepus spp</i> <i>Nicolea venustula</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Ampelisca sarsi</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Eunice vittata</i>		<i>Pista cristata</i> <i>Timoclea ovata</i>
Principales espèces accompagnatrices	<i>Glycera oxycephala</i> <i>Tellina pygmaea</i>	<i>Glycera lapidum</i> <i>Schistomeringos neglecta</i> <i>Polygordius lacteus</i> <i>Arcopagia crassa</i>	<i>Polynoe scolopendrina</i> <i>Eumida sanguinea</i>	<i>Aponuphis bilineata</i> <i>Paradoneis armata</i> <i>Lanice conchilega</i> <i>Owenia fusiformis</i> <i>Abra prismatica</i> <i>Abra alba</i>	<i>Laonice bahusiensis</i> <i>Othomaera othonis</i>		<i>Calyptrea chinensis</i> <i>Nematoneis hebes</i> <i>Scalibregma celticum</i>
S moyen par station ± Ecart type	19 ± 6	41 ± 14	50 ± 13	58 ± 13	72 ± 11		
S totale	69	123	105	167	303		
A moyenne par station et par m ² ± Ecart-type	118 ± 55	415 ± 299	434 ± 132	999 ± 563	1319 ± 778		
H' moyen ± Ecart type	3,56 ± 0,41	4,52 ± 0,41	4,60 ± 0,39	4,46 ± 0,53	4,80 ± 0,84		
J' moyen ± Ecart type	0,86 ± 0,04	0,87 ± 0,12	0,82 ± 0,04	0,77 ± 0,10	0,78 ± 0,13		
Régime trophique dominant (sur les abondances)	Dépositores	Dépositores/Carnivores	Dépositores	Dépositores Suspensivores	Dépositores		

Tableau 38 : Caractéristiques biologiques des principales entités identifiées

3.4. Les peuplements de substrats durs

Sur les 77 profils vidéo réalisés, 2/3 environ ont concerné les fonds à dominante rocheuse ou caillouto-graveleuse. L'analyse de ces profils, à partir des captures d'images (cf. annexe 12), complétée par une analyse détaillée d'un certain nombre d'entre eux, a permis de dégager les grands traits de la distribution des macro-espèces animales et végétales dans la baie.

En aucun cas ce volet de l'étude n'a eu pour objectif de décrire la biodiversité des fonds durs dans toute ses composantes et, du point de vue quantitatif, seule l'importance relative de certaines espèces animales ou groupes d'espèces, dans le cas des algues, a pu être évaluée (cf. annexe 12).

3.4.1. Traits généraux

Les fonds de la baie de Morlaix offrent une mosaïque de biotopes soumis à des conditions d'environnement très variables. Ainsi, l'imbrication des fonds durs et des fonds meubles, l'exposition à la houle, la vitesse des courants, l'éclairement, ou encore les apports des rivières, déterminent des conditions écologiques d'une grande diversité d'un point de la baie à un autre mais aussi très ponctuellement. Cette variété des conditions écologiques explique la diversité et l'abondance de la flore et de la faune des substrats durs observés dans la baie.

La distribution verticale des principales biocénoses répond toutefois au schéma classique décrit notamment par Cabioch (1968) dans les environs de Roscoff et par Castric-Fey *et al.* (2001) d'une façon plus générale en Bretagne.

3.4.1.1. Les formations algales de l'étage infralittoral

Les champs de laminaires, accompagnées d'une sous-strate composée d'un mélange d'algues plus petites et d'animaux fixés à la roche ou sur les algues (spongiaires, anémones et hydraires, bryozoaires, ascidies,...), constituent l'un des éléments marquants du domaine infralittoral dans sa partie supérieure. Ces grandes algues se développent sur la roche dans les secteurs où règnent des courants de marées modérés à forts et moyennement exposés à la houle. Leur densité est telle en certains endroits qu'elles forment une canopée qui empêche l'observation du substrat sur lequel elles se développent, ainsi que celle des macro-espèces végétales et animales associées. *Laminaria hyperborea* apparaît comme étant l'espèce dominante dans la baie mais *Laminaria ochroleuca* y est également bien représentée. La qualité des observations vidéo ne permet pas de différencier avec certitude les deux espèces mais il semble, d'après Lévêque (in Compert 2010), qu'au nord de la baie on ne recense que *Laminaria hyperborea*, au centre un mélange de *Laminaria hyperborea*- *Laminaria ochroleuca* et au sud, uniquement *Laminaria ochroleuca* qui se développe préférentiellement dans les secteurs abrités balayés par les courants. Deux autres espèces de laminaires colonisent également les fonds rocheux de la baie : *Laminaria digitata* dans la partie supérieure de l'infralittoral et *Sacchoriza polyschides* plus largement répartie dans les secteurs abrités.

Gorman *et al.* (en préparation, fig. 110), dans le cadre d'un travail de modélisation s'appuyant sur des données physiques et des observations biologiques de terrain, pour partie issues de la présente étude, proposent une carte prédictive de la densité de laminaires, sans distinction des espèces, en baie de Morlaix.

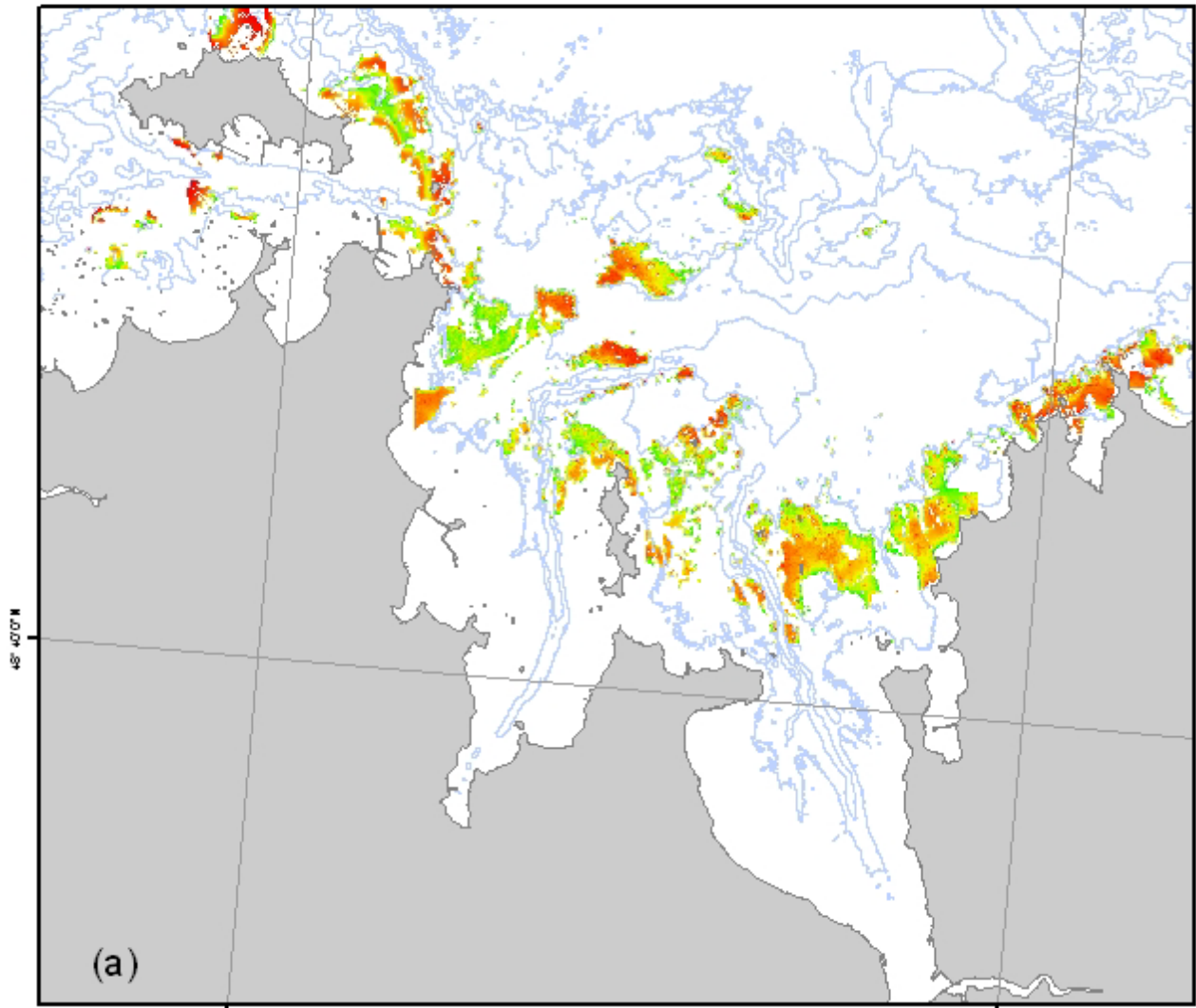


Figure 110 : Carte de prédiction de la densité (décroissant du rouge au vert) de laminaires en baie de Morlaix (Gorman *et al.*, en préparation)

Les peuplements denses de laminaires laissent place, vers 15-20 m de profondeur, à une pelouse d'algues de plus petite dimension, dominée par les rhodophycées avec des algues brunes en mélange (notamment des dictyotales) dans la partie supérieure de la ceinture. L'observation vidéo ne permet pas elle seule de différencier les espèces, hormis quelques unes caractéristiques (*Dictyopteris polypodioides*, *Dictyota dichotoma*). Peu de macro-espèces d'invertébrés sont observées dans cette frange inférieure de l'infralittoral à forte couverture algale.

3.4.1.2. Les fonds à épifaune sessile dominante

Les peuplements d'algues s'appauvrissent avec la profondeur et laissent place, vers 25-30 m (passage au circalittoral côtier), à un peuplement dominé par l'épifaune sessile. Cependant, des remontées d'espèces du circalittoral forment des enclaves dans l'infralittoral. L'inclinaison et les anfractuosités des fonds participent à la réduction de la couverture algale et au développement de l'épifaune. Castric-Fey *et al.* (2001) mentionnent que le peuplement à épifaune sessile est présent partout où il y a un peu d'ombre (surplombs, tombants, failles) car les algues ne s'y installent pas du fait de la faible luminosité. De plus, des espèces du circalittoral peuvent être présentes en sous-strate des laminaires qui génèrent un environnement sciaphile (Cabioch, 1968 ; Castric-Fey *et al.*, 2001). On peut y retrouver des algues rouges comme des spongiaires, des bryozoaires ou des ascidies coloniales.

Les épibioses se composent en grande partie d'espèces coloniales où l'on distingue :

- les filtreurs actifs : notamment spongiaires, bryozoaires et ascidies et balanes
- les filtreurs passifs : cnidaires, alcyons, gorgones, hydraires
- les carnivores fixés : anémones et madréporaires.

L'ordonnement de ces organismes, les uns par rapport aux autres, résulte des conditions de milieu mais aussi d'interactions complexes entre les organismes eux-mêmes. Des espèces telles que l'oursin *Echinus esculentus* ont une pression de broutage suffisamment importante pour libérer des surfaces, disponibles pour d'autres espèces et façonnent ainsi le peuplement (Dauvin, 1997 ; Castric-Fey *et al.*, 2001). La compétition pour la place disponible est alors sévère et, en dépit du broutage, les fortes densités d'algues rouges observées limitent l'étendue vers le haut du peuplement à épifaune.

Parmi les principales espèces du peuplement identifiées par vidéo, figurent les cnidaires *Alcyonium digitatum*, *Eunicella verrucosa*, *Nemertesia antennina* et *Nemertesia ramosa*, les spongiaires *Cliona celata* et *Tethya aurantium*, le bryzoaire *Pentapora fascialis*, les échinodermes *Echinaster sepositus*, *Marthasterias glacialis*, *Echinus esculentus*, *Holothuria forskali*, ainsi que les tuniciers *Dendrodoa grossularia* et *Diazona violacea*.

3.4.1.3. Autres faciès remarquables

Le faciès des cailloutis et graviers

Les fonds de cailloutis et graviers, plus ou moins ennoyés dans du sable, parsèment les zones rocheuses et représentent une superficie importante dans la baie. Ils sont colonisés des algues éparses, en particulier des rhodophycées, des bryozoaires gazonnants du genre *Cellaria*, des spongiaires encroûtants, ou encore des crustacés cirripèdes. La faune vagile est notamment représentée par des échinodermes épars dont *Echinaster sepositus* qui se nourrit d'éponges et *Marthasterias glacialis* au régime alimentaire diversifié (invertébrés vivants et morts).

La flore et la faune de ces fonds sont nettement moins luxuriantes que sur les massifs rocheux environnants. Ceci s'explique par la relative instabilité du substrat, en particulier du sable qui localement peut opérer un effet de criblage.

Le faciès de jonction roche-sable

Au contact du sable, la roche est fréquemment colonisée par des ascidies coloniales, *Stolonica socialis* et/ou *Dendrodoa grossularia*, les deux espèces n'étant pas toujours évidentes à identifier sur simple imagerie vidéo. C'est à ce niveau que l'on rencontre le plus fréquemment l'holothurie *Holothuria forskali*.

3.4.2. Illustration de la distribution verticale des peuplements majeurs

Le schéma vertical de distribution des principaux peuplements de substrats durs (fig. 111) est illustré par le résultat de l'analyse des profils réalisés sur la zone Ar Rater (Mission Thalia 2010, profils 7, 8 et 9).

La ceinture à laminaires est dans ce secteur limitée en profondeur à 16 m, ce qui est conforme aux observations de Cabioch (1968) indiquant la brusque disparition des laminaires vers 15-20 m en baie de Morlaix et à celles de Werhmann (1998) sur le plateau des Duons. La ceinture à rhodophycées occupe la frange bathymétrique de 16 à 24 m, avec, dans sa partie supérieure entre 16 m et 19 m, la présence de dictyotales (*Dictyopteris polypodioïdes* et *Dictyota dichotoma*).

Au-delà de 24 m, l'épifaune sessile devient dominante, ce qui là aussi est en accord avec les données de Cabioch (1968) qui définit le passage de l'infralittoral au circalittoral à 26 m dans les conditions homogènes en sortie de baie, en soulignant que les peuplements des fonds de 25 à 30 m assurent la transition entre l'étage infralittoral et l'étage circalittoral.

Ne sont ici considérés que les peuplements dominants et représentatifs de l'étagement en soulignant que les limites ne sont pas franches et que les peuplements se succèdent selon un continuum d'espèces.

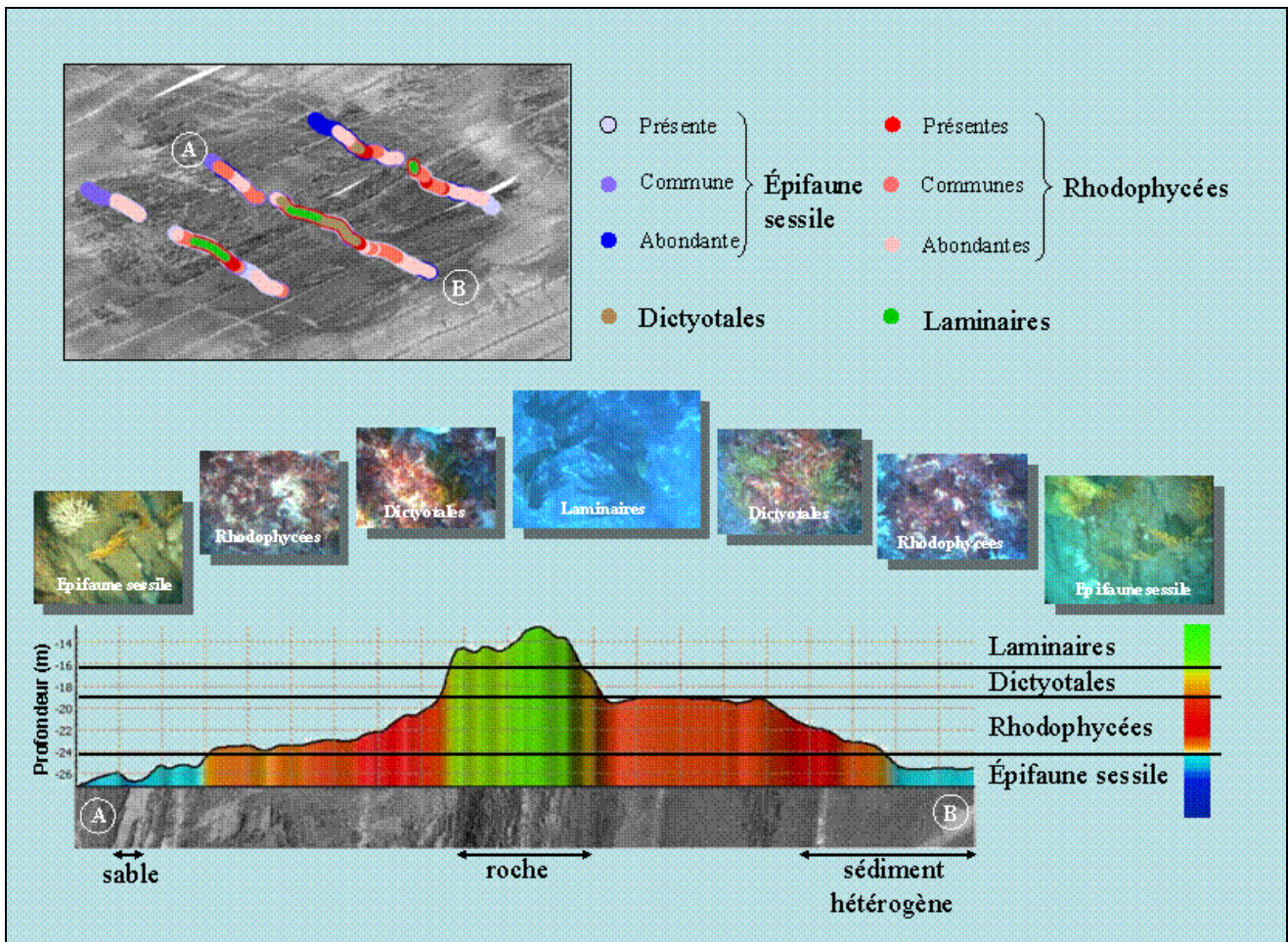


Figure 111 : Coupe bathymétrique du secteur Ar Rater, illustrant l'étagement des principaux peuplements de substrats durs (profondeur indiquée par rapport au zéro hydrographique).

3.4.3. Répartition dans la baie de quelques macro-espèces

Il convient tout d'abord de souligner que, parmi les 32 espèces rares d'algues et d'invertébrés répertoriées sur le littoral breton (Castric-Fey *et al.*, 2001), 25 espèces sont signalées dans la baie de Morlaix, notamment l'ascidie coloniale *Diazona violacea* et l'étoile *Echinaster sepositus* d'affinité méridionale qui trouve sa limite nord en Bretagne. Les 7 espèces par ailleurs signalées comme étant remarquables par leur abondance sont toutes mentionnées en baie de Morlaix, avec en particulier la gorgone sciaphile *Eunicella verrucosa*. Les vastes champs de gorgones observés en baie de Morlaix confèrent aux fonds rocheux de ce secteur un intérêt paysager certain. En outre, le faciès à *Aslia lefevrei* (holothurie lèche-doigts) rencontré localement en baie de Morlaix figure au rang des faciès rares observés en Bretagne. Favorisé par une topographie en fissures, il semble indépendant de l'étagement. Il peut aussi se développer dans des champs de petits blocs et former de grands peuplements monospécifiques sur plusieurs dizaines de m².

Les cartes de distribution semi-quantitatives établies pour une douzaine d'espèces ou groupes d'espèces à partir des observations vidéo (*cf.* annexe 13) conduisent aux observations suivantes :

- Les laminaires, et plus encore les algues rouges, sont largement distribuées dans la baie mais l'isobathe 20 m marque la limite de leur répartition en profondeur. Elles sont de ce fait quasi-absentes des fonds rocheux des parties Nord et Est de la zone d'étude.

- Les macro-espèces d'invertébrés pris en compte, à savoir le spongiaire *Cliona celata*, les cnidaires, *Alcyonium digitatum* et *Eunicella verrucosa*, le bryzoaire *Pentapora foliacea*, les échinodermes *Echinaster sepositus*, *Marthasterias glacialis*, *Echinus esculentus* et *Holothuria forskali*, ainsi que le tunicier *Diazona violacea* sont largement réparties dans la baie et révèlent, pour la majorité d'entre elles, les plus fortes abondances selon l'axe NE île de Batz-pointe de Primel. Les filtreurs dominant et, qu'il s'agisse de filtreurs actifs comme les spongiaires et les bryozaires ou de filtreurs passifs comme les cnidaires, ces espèces bénéficient de l'apport de nourriture facilitée par les courants alternatifs de forte intensité qui règnent selon cet axe.

Conclusion

Les fonds de la baie de Morlaix offrent une mosaïque de biotopes soumis à des conditions d'environnement très variables. Ainsi, l'imbrication des fonds durs et des fonds meubles, l'exposition à la houle, la vitesse des courants, l'éclairement, ou encore les apports des rivières, déterminent des conditions écologiques d'une grande diversité d'un point de la baie à un autre mais aussi très ponctuellement. Cette variété des conditions écologiques explique la diversité et l'abondance de la flore et de la faune observées dans la baie.

La palette des substrats meubles est variée, allant des vases sableuses en fond de baie, aux sédiments grossiers graveleux et caillouteux du large, au contact des roches immergées. Elle est dominée par des sables fins à grossiers, mélangés à une fraction coquillière importante, plus ou moins grossière et très mobile. La teneur élevée en carbonates des sédiments (en moyenne 51 %) est une des caractéristiques sédimentaire de ce secteur. Un autre élément permettant d'apprécier le degré de mobilité des sédiments en place réside dans le fait que la couverture sédimentaire est richement modelée de figures de courant aussi bien transversales (mégarides, grandes dunes hydrauliques) que longitudinales (bancs, traînées, rubans, queues de comète, sillons). La dynamique tidale des sédiments charriés sur les fonds de la baie montre une direction préférentielle contrôlée par le courant de jusant sur le secteur, selon un mouvement anticyclonique entre Primel et Batz, sauf au nord des plateaux des Duons et du Rater, qui constitue la seule voie d'entrée du matériel coquillier en charriage sur le fond depuis le Nord. Une autre caractéristique morpho-sédimentaire majeure de cette baie est soulignée par l'alternance de barres sableuses et de sillons courbes le long de la côte orientale, sous l'effet conjugué des houles de tempêtes et des courants de marée.

La macrofaune d'invertébrés des substrats meubles est globalement diversifiée (424 taxons identifiés) et localement variable (12 à 95 espèces par stations). Les trois embranchements les mieux représentés sont les annélides, les arthropodes et les mollusques, avec respectivement 48%, 26% et 18% de la richesse spécifique totale, et 56%, 9% et 30% de l'abondance totale. L'analyse de la structure trophique sur l'ensemble de la zone révèle qu'en termes de richesse spécifique les trois groupes dominants sont les carnivores (31%), les déposivores sélectifs (25%) et les suspensivores (23%).

A partir des 36 stations échantillonnées, six unités majeures de peuplements ont pu être différenciées (fig. 112 et tab. 39) :

- les sédiments grossiers à épifaune sessile (105 taxons), distribués sur les fonds caillouto-graveleux à la périphérie du plateau des Duons ;
- les sédiments grossiers à *Branchiostoma lanceolatum*-*Clausinella fasciata* (124 taxons) distribués en différents secteurs de la zone d'étude, à des profondeurs comprise entre 10 et 30 mètres.
- les sables fins à moyens mobiles à *Abra prismatica*, distribués dans le nord-est de la zone d'étude, se caractérisent par une faible diversité (69 taxons) et de faibles abondances ;
- les sables fins sublittoraux à amphipodes et polychètes tubicoles (168 taxons), localisés dans le quart sud-est de la zone d'étude à des profondeurs variant de 10 à 20 mètres, au sein desquels la station de la Pierre Noire fait l'objet depuis 1977, suite au naufrage de l'Amoco Cadiz, d'un suivi quantitatif annuel de la macrofaune ;
- les sédiments hétérogènes coquilliers, peu ou pas envasés, à *Echinocyamus pusillus* (186 taxons), distribués principalement dans la partie nord occidentale de la zone d'étude ;
- les sédiments hétérogènes envasés à *Pista cristata* (218 taxons), majoritairement distribués dans les petits fonds, inférieurs à 10 mètres, où se développent des bancs morcelés de maërl et des herbiers de zostères.

Les fonds rocheux, dont l'emprise est légèrement supérieure à 30 % de la zone étudiée, ont fait l'objet d'un effort de prospection particulier par vidéo sous-marine, même s'il n'a pas été possible au final de dresser une cartographie de leurs peuplements, à l'image de ce qui a pu être entrepris pour les fonds meubles.

Les champs de laminaires, accompagnées d'une sous-strate composée d'un mélange d'algues plus petites et d'animaux fixés à la roche, constituent l'un des éléments marquants du domaine infralittoral, dans sa partie supérieure. Ces peuplements denses de laminaires laissent place, vers 15-20 m de profondeur, à une pelouse d'algues de plus petite dimension, dominée par les rhodophycées avec des algues brunes en mélange dans la partie supérieure de la ceinture. Les peuplements d'algues s'appauvrissent avec la profondeur et laissent place, vers 25-30 m (passage au circalittoral côtier), à un peuplement dominé par l'épifaune sessile composée majoritairement d'espèces coloniales. Les vastes champs de gorgones (*Echinaster sepositus*) confèrent aux fonds rocheux de ce secteur un intérêt paysager marqué.

Ces peuplements de fonds rocheux, caractéristiques des milieux ouverts des côtes de Bretagne Nord, abritent en baie de Morlaix des espèces remarquables par leur densité (*Echinaster sepositus*, *Dendrodoa grossularia*) ou leur rareté (*Echinaster sepositus*, *Diazona violacea*).

Au-delà de son objectif premier visant à cartographier et caractériser les habitats benthiques de la baie de Morlaix en tant que secteurs Rebut de référence sur le littoral breton, cette étude aura permis d'actualiser et de préciser la carte des peuplements benthiques de substrats meubles établie, plus de quarante ans auparavant, par Cabioch (1968), et d'enrichir l'inventaire de la faune marine de Roscoff par le signalement de nouvelles espèces d'invertébrés recensés dans la baie.

Habitat/Peuplement	Typologie EUNIS (Octobre 2004)	Superficie couverte (km ²)	% de couverture
Fonds rocheux affleurant à sub-affleurant	A4	24,1	31,6
Sédiments grossiers avec faciès à épifaune sessile	A5.12 (infralittoral) et A5.13 (circalittoral)	7,6	10
Sédiments grossiers à <i>Branchiostoma lanceolatum</i> – <i>Clausinella fasciata</i>	A5.135	8,3	10,9
Sables fins à moyens mobiles à <i>Abra prismatica</i>	A5.231 (infralittoral) et A5.252 (circalittoral)	8,4	11
Sables fins sublittoraux à amphipodes et polychètes tubicoles	A5.234	10,1	13,2
Sédiments hétérogènes coquilliers pas ou peu envasés à <i>Echinocyamus pusillus</i>	A5.43	12	15,7
Sédiments hétérogènes envasés à <i>Pista cristata</i>	**A5.43_FR03	5,2	6,8
Vase sableuse, non caractérisée biologiquement	A5.33	0,62	0,8
Présence de Maërl*		4,7*	
TOTAL		76,3	100

** Proposition française soumise à validation

Tableau 39 : Importance relative des peuplements identifiés

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, 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 EUNIS (Version 2004).

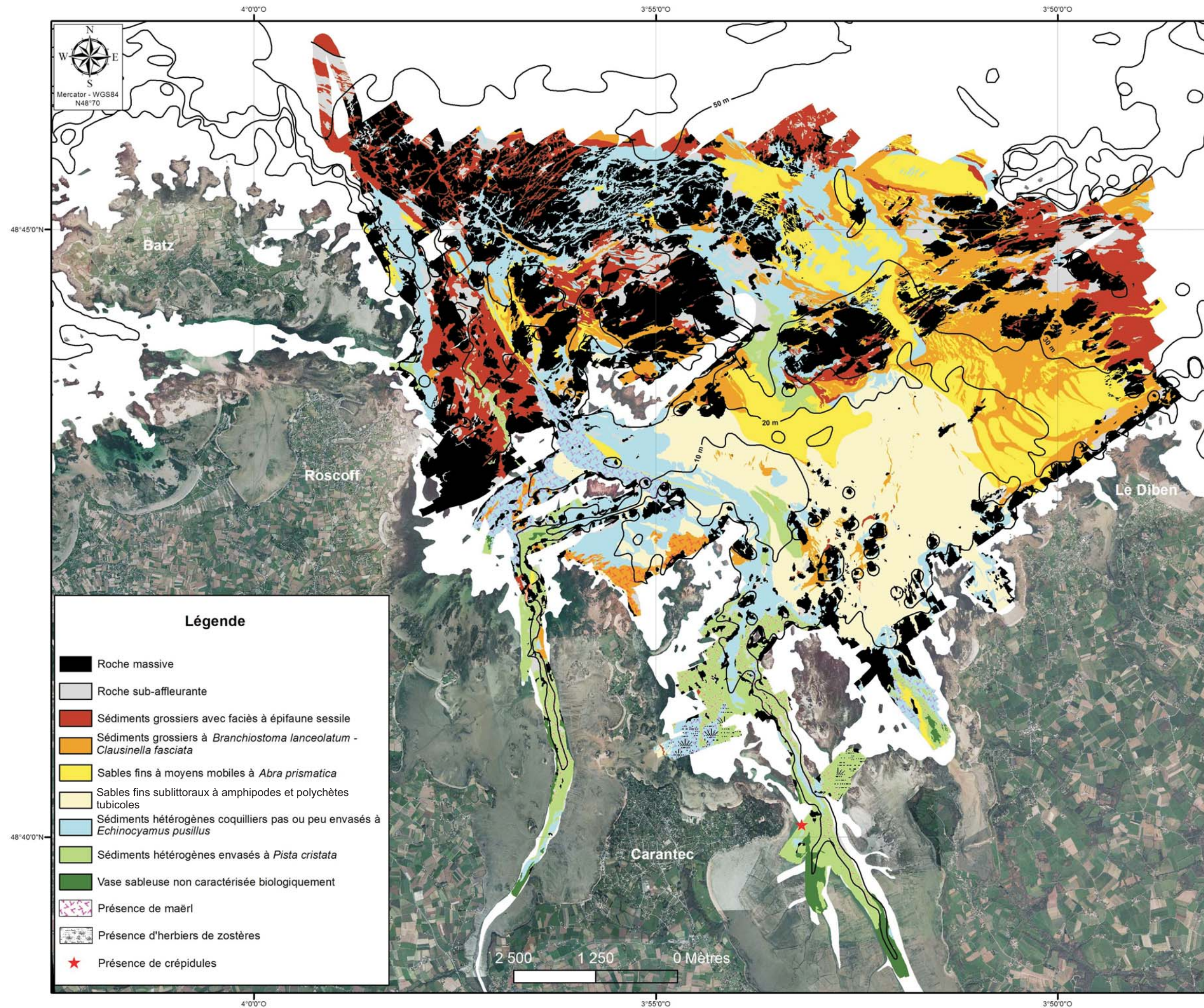


Figure 112 : Carte des habitats marins sur le secteur d'étude

Références bibliographiques

* *Références communes à plusieurs chapitres*

Caractères généraux de la zone d'étude

- Amézière, N., Chardy, P., Dauvin, J.C., 1995. Modelling carbon flows in soft-bottom communities from the bay of Morlaix, western English Channel, *in*: Eleftheriou, A. *et al.* (Ed.) (1995). Biology and ecology of shallow coastal waters. Proceedings of the 28th European Marine Biological Symposium, Crete, Greece, 23-28 September 1993. International Symposium Series, 215-224.
- *Auffret G.A., Douvillé J.L., 1974. Observations sur la dynamique des sables de la Pierre Noire (baie de Morlaix, Finistère, France). Bulletin BRGM (2), Section IV, n°1-1974, 5-18.
- Bassoulet P., L'Yavanc J., Guillaud J.F., Loarer R. et Breton M., 1987. Etudes sédimentologiques et bathymétrique de l'estuaires de Morlaix. Rapport IFREMER, DERO-87.21-EL, 58 p.
- *Beslier A., 1981. Les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz dans les sédiments subtidaux au nord de la Bretagne. Distribution et évolution. Thèse 3^{ème} cycle, Géologie, Université Caen.
- *Boillot G., 1961. La répartition des sédiments en Baie de Morlaix et en Baie de Siec. *Cahiers de Biologie Marine*, 2, 53-66.
- Boillot G., Le Calvez Y., 1961. Etude de l'Eocène au large de Roscoff (Finistère) et au Sud de la Manche occidentale. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, (2), 4, 15-30.
- *Cabioch L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale, *Cahiers de Biologie Marine*, 9, 493-720.
- Cabioch L., Dauvin J. C., Gentil F., 1978. Preliminary observations on pollution of the sea bed and disturbance of sub-littoral communities in northern Brittany by oil from the Amoco Cadiz. *Marine Pollution Bulletin*, 9, 303-307.
- Cabioch L., Dauvin J. C., Mora Bermudez J., Rodriguez Babio C., 1980. Effets de la marée noire de l'Amoco Cadiz sur le benthos du nord de la Bretagne. *Helgoländer Meeresunters*, 33, 192-208.
- Cabioch L., Dauvin J. C., Retière C., Rivain V., Archambault D., 1982. Evolution de peuplements benthiques des fonds sédimentaires de la région de Roscoff, perturbés par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz. *Netherlands Journal of Sea Research*, 16, 491-501.
- Cabioch J., 1969. Les fonds de maerl de la baie de Morlaix et leur peuplement végétal. *Cahiers de Biologie Marine*, 10 (2), 129-161.
- *Castric-Fey A., Girard-Descatoire A., L'Hardy-Halos M.Th., Derrien-Courtel S., 2001. La vie sous-marine en Bretagne – Découverte des fonds rocheux. *Les Cahiers Naturalistes de Bretagne* n°3, Conseil régional de Bretagne, Biotope édit., 176 p.
- Chantraine J., Chauris L., Cabanis B., Chauris M.-M., Larsonneur C., Herrouin Y., Rabu D., Lulzac Y., Bos P., 1986. Notice carte géologique de Plestin les Grèves. Editions du BRGM, 202, 84 p.
- Chauris L., 1972. Evolution tectonique des granites précambriens de la région de Morlaix (massif Armoricaïn). *C.R. Acad. Sc., Série D*, t. 274, pp. 991-994.
- Chauris L., 1978. Succession des intrusions dans le complexe granitique tardi-hercynien de la baie de Morlaix (Massif Armoricaïn). *Comptes Rendus Académie des Sciences, Paris*, 286, série D, 253-256.
- *Chauris L., 1984. Concentration de sables lourds sur les plages de la baie de Morlaix (Finistère) : Exemples de micro-placers d'origine proximale dans une profonde échancrure littorale en voie de déblaiement rapide par la mer. *Norois*, n°123, pp. 407-426.
- Chauris L., 1997. Pierres de Carantec II. Sur terre et sur mer. Edit. Presbytère de Carantec, 98 p.
- Chauris L., Marcoux E., Le Goff E., Thiéblement D., Carn A., 1998. Carte géologique de France à 1/50.000 et notice explicative, feuille Saint-Pol de Léon, BRGM, Orléans, 167 p.
- Clarke, K. R., Somerfield, P.J., Gorley, R. N., 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366, 56-69.
- Dauvin J. C., 1982. Impact de l'Amoco Cadiz oil spill on the muddy sand *Abra alba* and *Melinna palmata* community from the Bay of Morlaix. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14, 517-531.

- *Dauvin J.C., 1984. Dynamique d'écosystèmes macrobenthiques des fonds sédimentaires de la baie de Morlaix et leur perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz. Thèse Doctorat Etat, Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 456 p. + annexes.
- *Dauvin J. C., 1987. Evolution à long terme (1978-1986) des populations d'Amphipodes des sables fins de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Manche Occidentale) après la catastrophe de l'Amoco Cadiz. *Marine Environmental Research*, 21, 247-273.
- *Dauvin J. C., 1998. The fine sand *Abra alba* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco cadiz oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 36, 669-676.
- Dauvin J. C., 2000. The muddy fine sand *Abra alba-Melinna palmata* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco Cadiz oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (6), 528-536.
- *Dauvin J. C., Ibanez F., 1986. Variations à long terme (1977-1985) du peuplement des sables fins de la Pierre Noire (baie de Morlaix, Manche occidentale) : analyse statistique de l'évolution structurale. *Hydrobiologia*, 142, 171-186.
- Dauvin J.C., Gentil F., 1989. Long-term changes in populations of subtidal bivalves (*Abra alba* and *A. prismatica*) from the Bay of Morlaix (Western English Channel). *Marine Biology*, 103, 63-73.
- Derrien-Courtrel S., Le Gal A., Mercier-Pecard M., Derrien R., Decaris F.-X., Mercier N., 2007. Projet REBENT, Résultats de la surveillance du Benthos, Région Bretagne, Suivi Stationnel des roches subtidales 2004-2005-2006. MNHN – Station de Biologie Marine de Concarneau, Rapport REBENT, 526 p.
- Dufrêne M., Legendre P., 1997. [Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach](#). *Ecological Monographs*, 67(3), 345-346.
- Dussauze M., Ménesguen A., 2008. Simulation de l'effet sur l'eutrophisation côtière bretonne de 3 scénarios de réduction des teneurs en nitrate et phosphate de chaque bassin versant breton et de la Loire. Rapport de contrat Ifremer pour la Région Bretagne et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, RST/IFREMER/DYNECO/EB/08-08/AM, 160 p.
- * Ehrhold A., Guennoc P., Choynet J., Biscara L., 2007. Morphologie détaillée du domaine côtier sous-marin du Trégor oriental (Côtes d'Armor) : structures géologiques et évolution quaternaire. Actes du XI^{ème} colloque de l'Association des Sédimentologues de France, Caen du 23-25/10, p. 110, 358 p.
- Gomez Gesteira J. L., Dauvin J. C., Salvande Fraga M., 2003. Taxonomic level for assessing oil spill effects on soft-bottom sublittoral benthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 562-572.
- *Hamon D., Ehrhold A., Houlgatte E., 2010. Directive Cadre Eau – Région Bretagne : Reconnaissance cartographique de bancs de maërl distribués dans les masses d'eaux côtières de référence. Convention Ifremer - Agence de l'Eau Loire-Bretagne. RST/IFREMER/DYNECO/Ecologie benthique/10-01, Volume 1 : Rapport de synthèse, 89 p., 7 annexes ; Volume 2 : Résultats analytiques, 394 p.
- Ibanez F., Dauvin J. C., Etienne M., 1993. Comparaison des évolutions à long terme (1977-1990) de deux peuplements macrobenthiques de la baie de Morlaix (Manche occidentale) : relations avec les facteurs hydroclimatiques. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 169, 181-214.
- Lamarche S., 2010. Cartographie des habitats benthiques du site Natura 2000 de la baie de Morlaix (Code site : FR5300015). Rapport LEMAR, UBO-IUEM, 60 p.
- Larsonneur C., 1971. Manche centrale et baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse Doctorat Etat, Sciences Naturelles, Université Caen, 394p.
- Leclerc J.P., Bellesort B., Migniot C., 1976. Action de la houle sur les sédiments. Rapport LCHF, 191 p.
- Loarer, R., Rollet C., 2011. Réseau de surveillance benthique. Région Bretagne. Approche sectorielle intertidale. Cartographie des habitats benthiques intertidaux, Secteur de la baie de Morlaix (29). Rapport IFREMER, ODE/DYNECO/AG/11-07/RL. 46 p. + annexes.
- Martin-Jezequel V., 1983. Facteurs hydrologiques et phytoplancton en Baie de Morlaix (Manche Occidentale). *Hydrobiologia* 102, 131-143.
- Muraour P., Boillot G., Merle J., 1962. Etude sismique par réfraction au large de Roscoff (Finistère). *Bulletin Institut Océanographique*, Monaco, n°1228, 10 p.

- Poggiale J. C., Dauvin J. C., 2001. Long-term dynamics of three benthic *Ampelisca* (Crustacea Amphipoda) populations from the Bay of Morlaix (western English Channel) related to their disappearance after Amoco Cadiz oil spill. *Marine Ecology Progress Series*, 214, 201-209.
- Salomon. J. C., Breton, M., 1987. Ferme aquacole en baie de Morlaix. Etude de courant et de dispersion dans le secteur compris entre l'île de Batz et la pointe de Primel. Rapport IFREMER, Centre de Brest, 33 p.
- Wafar M.V.M., 1981. Nutrients, primary production and dissolved and particulate organic matter in well-mixed temperate coastal waters (Bay of Morlaix – Western English Channel). Thèse 3ème cycle, Université Paris 6, 226 p.
- Wafar M.V.M., Le Corre P., Birrien J.L., 1983. Nutrients and primary production in permanent well-mixed temperate coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 17, 431-446.
- *Wehrmann A., 1998. Modern cool-water carbonates on a coastal platform of Northern Brittany: carbonate production of macrophytic systems and sedimentary dynamics of bioclastic facies. *Senckenbergiana maritime*, 28, 151-166.

Acquisition et analyse des données

- Augris C., Clabaut P., Bourillet J.F. et 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.
- Blanchard M., 2009. Recent expansion of the slipper limpet population (*Crepidula fornicata*) in the Bay of Mont-Saint-Michel (Western Channel, France). *Aquatic Living Resources*, 22, 11-19.
- 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.
- Chevillon C., 2001. Caractérisation des types de fonds et habitats benthiques par classification hydro-acoustique dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Rapport IRD, 41 p.
- Chivers R.C., Emerson N., Burns D., 1990. New Acoustic Processing for Underway Surveying. *The Hydrographical Journal*, 56, 9-17.
- Chivers R.C., Burns D., 1992. Acoustic surveying of the sea bed. *Acoustics Bulletin*, 17(1), 5-9.
- Coetzee J.C., Merkle D., de Moor C.L., Twatwa N.M., Barange M., Butterworth D.S., 2008. Refined estimates of South African pelagic fish biomass from hydro-acoustic surveys: quantifying the effects of target strength, signal attenuation and receiver saturation. *African Journal of Marine Science*, 30 (2), 205-217.
- 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). Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- 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>).
- De Grave S., Fazakerley H., Kelly L., Guiry M.D., Ryan M., 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., Blanchet A., Hamon D., Chevalier C., Gaffet J. D., Alix A. S., 2007. Réseau de surveillance benthique (REBENT) – Région Bretagne. Approche sectorielle subtidale : identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Concarneau. RST/IFREMER/DYNECO/Écologie benthique/07-01/REBENT, 78 p. + annexes.
- Ehrhold A., 2004. Projet REBENT, cartographie des habitats benthiques dans les petits fonds côtiers à l'aide de méthodes acoustiques (Octobre 2002 – Mars 2004). Rapport Ifremer, DEL/EC/BB.RST.04.02, 55 p + 17 annexes.

- Ehrhold A., 2000. Méthodologie de traitement des données RoxAnn : validation au large de la plateforme sud-armoricaine, Rapport interne, EPSHOM, n°479, 22 p.
- *Ehrhold A., 1999. Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal : exemple de la baie du Mont Saint-Michel. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Caen, 271 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). Comptes Rendus Académie des Sciences Paris, série IIa, 327, n°9, 583-588.
- Foote K.G., Hanlon R.T., Lampietro P.J., Kvittek R.G., 2006. Acoustic detection and quantification of benthic egg beds of the squid *Loligo opalescens* in Monterey Bay, California. Journal of the Acoustical Society of America, 119, (2), 844-856.
- 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.
- Garlan T., 2004. Expression acoustique des caractéristiques sédimentaires. Livre des résumés, colloque SeatechWeek 2004, 21 et 22 octobre 2004, Brest, p. 52.
- Glémarec, M., 1963. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. Thèse 3^{ème} cycle, Faculté des sciences, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 91 p.
- *Grall J., 2002. Biodiversité spécifique et fonctionnelle du maërl : réponses à la variabilité de l'environnement côtier. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 300 p.
- Grall J. Coic, N., 2006. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Rapport Ifremer DYNECO/VIGIES/06-13/REBENT, 91 p.
- Hamilton L.J., 2001. Acoustic seabed classification systems. Rapport DSTO, TN, 0401, 75 p.
- Hass C., Bartsch I., 2008. Acoustic kelp bed mapping in shallow rocky coasts – case study Helgoland (North Sea).
[http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/Acoustic kelp bed mapping in shallow rocky coasts - case study Helgoland %28North Sea%29](http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/Acoustic_kelp_bed_mapping_in_shallow_rocky_coasts_-_case_study_Helgoland_%28North_Sea%29).
- Hily C., Bouteille M., 1999. Modifications of the specific and feeding guild diversity in an intertidal sediment colonised by an eelgrass meadow (*Zostera marina*) (Brittany, France). Comptes Rendus Académie des Sciences, Paris., Sciences de la vie, 322, 1121-1131.
- Hutin E., Simard Y., Archambault P. 2005. Acoustic detection of a scallop bed from a single-beam echosounder in the St. Lawrence. ICES Journal of Marine Science, 62, 966-983.
- 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.
- Jordan A., Lawler M., Halley V., Barrett N., 2005. Seabed habitat mapping in the Kent Group of islands and its role in marine protected area planning. Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems, 15, 51-70.
- Lunven M., Le Goualher V., Vasquez M. 2002. VIDEONAV : Logiciel de navigation, traitement des bandes vidéo benthiques. Rapport Ifremer, 20 p.
- Lurton X., 1998. Acoustique sous-marine. Présentation et applications. Edition Quæ, 110 p.
- Lurton X., 2001. Précision de mesure des sonars bathymétriques en fonction du rapport signal/bruit. Traitement du Signal, 18 (3), 179-194.
- Lurton X. et Augustin J.M., 2004. Techniques sonar pour la cartographie et la caractérisation des fonds marins. Résumé Journées AUM/AFM, Brest le 2-3 septembre 2004, 9 pp.
- Méléder V., Populus J., Guillaumont B. Perrot T. et Mouquet P., 2010. Predictive modelling of seabed habitats - Case study of subtidal kelp forests on the coast of Brittany, France. Marine Biology 157: 1525-1541.
- Monpert C., 2010. Approche multi-capteurs de la végétation sous-marine en baie de Morlaix. Rapport stage Master 2, Ifremer-ENSIETA, 59 p.
- NOAA CSC, 2000. Mapping a Nuisance Algae for Effective Harvesting in Delaware's Inland Bays. http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/issues/sb_ulva.htm.

- 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.
- Piazzì 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*, 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.
- Pluquet F., Ehrhold A., 2009. Une nouvelle stratégie d'étude des habitats marins littoraux au moyen de la vedette acoustique V/O Haliotis. Rapport Ifremer, DYNECO/EB/09-02/FP, 74 p. + 4 annexes.
- Rivière A., 1977. Méthodes granulométriques : techniques et interprétations. Masson, Paris, 170 p.
- Seaward-Thomson B.L., Hails J.R., 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. *Sedimentology*, 20, 161.
- Serpetti N., Heath M., Rose M., WitteHigh U., 2012. Resolution mapping of sediment organic matter from acoustic reflectance data. *Hydrobiologia*, 680 (1), 265-284.
- Service M., 1998. Monitoring benthic habitats in a Marine Nature Reserve (1998). *Journal of Shellfish Research*, 17 (5), 1487-1489.
- Siakavara A., Lazaridou E., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds in Strymonikos and Ierissos gulfs. 6. Hellenic Symp. on Oceanography and Fisheries, Chios (Greece), 23-26 May 2000, NCMR Association of Employees 2000, vol. 1, 361-365.
- Smith C.J., Banks A.C., Papadopoulou K.N., 2007. Improving the quantitative estimation of trawling impacts from sidescan-sonar and underwater-video imagery. *ICES Journal of Marine Science*, 64, 1692-1701.
- Vaslet D., Larsonneur C. et Auffret J.P., 1979. Carte des dépôts superficiels de la Manche au 1/400 000. Ed. BRGM, Orléans.
- Williamson A., 1998. Use of acoustics in remote sensing of the seabed. *Hydro. Int.*, vol. 2, n° 2, 51-53.

Résultats

- Auffret J.P., Augris C., Cabioch L. et Koch P., 1992. Sillons graveleux aux abords de la baie de Morlaix. *Ann. Soc. Géol. Du Nord*, T. 1 (2^{ème} série), 143-147.
- Augris C., Ménesguen A., Hamon D., Blanchet A., Le Roy P., Rolet J., Véron G., Jouet G., Delannoy H., Drogou M., Bernard C., Maillard X., 2005. Atlas thématique de l'environnement marin de la baie de Douarnenez (Finistère). Ed. Ifremer - Ville de Douarnenez, 10 cartes échelle 1/25 000 et 1 livret d'accompagnement, 135 p.
- Berné, S., Allen, G., Auffret, J.P., Chamley, H., Durand, J. & Weber, O. 1989. Essai de synthèse sur les dunes hydrauliques géantes tidales actuelles. *Bull. Soc. Géol. France*, 6, 1145-1160.
- Boillot G., 1964. Géologie de la Manche occidentale : fonds rocheux, dépôts quaternaires, sédiments actuels. *Ann. Inst. Océanogr. Paris*, 42, 1-219.
- 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.
- Brown C.J., Cooper K.M., Meadows W.J., Limpenny D.S., Rees H.L., 2002. Small-scale mapping of sea-bed assemblages in the Eastern English Channel using sidescan sonar and remote sampling techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54 (2), 263-278.
- Carpentier P., Dewarumez J-M., Leprêtre A., 1997. Long-term variability of the *Abra alba* community in the southern bight of the North Sea. *Oceanologica Acta*, 20 (1), 283-290.
- Castro C., 1981. Les dunes du Léon et les problèmes de leur conservation. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Bretagne Occidentale, 176 p.

- Dauvin J.C., 1979. Recherches quantitatives sur le peuplement des sables fins de la Pierre Noire, Baie de Morlaix, et sur sa perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco-Cadiz". Thèse 3^{ème} cycle Océanographie Biologique, Université Paris 6, 251 p.
- Dauvin J.C., 1986. Biologie, dynamique et production d'une population d'*Abra alba* (Wood) (Mollusque-Bivalve) de la baie de Morlaix (Manche occidentale). Journal of experimental marine biology and ecology, 97, Issue 2, 23, 151–180.
- Darbyshire T., Mackie A.S.Y., 2009. Two new species of *Diplocirrus* (Polychaeta : Flabelligeridae) from the southern Irish Sea and South Africa. Zoosymposia, 2, 91-103.
- Dauvin J.C. (édit.), 1997. Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives. Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie - Service du Patrimoine naturel / IEGB / MNHN, Paris, 376 p.
- Dewarumez J. M., Quisthoudt C., Richard A., 1986. Suivi pluriannuel du peuplement à *Abra alba* dans la partie méridionale de la Mer du Nord (région de Dunkerque-France). Hydrobiologia, 142 (1), 187-197.
- Ehrhold A., Blanchet A., Hamon D., 2006. Réseau de surveillance benthique (REBENT) – Région Bretagne ; Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Glénan. Rapport Ifremer, DYNECO/EB/06-03/REBENT, 60 p., 8 annexes, (www.rebent.org).
- Flemming B.W., 1988. Zur Klassifikation Subaquatischer, Strömungstransversaler Transportkörper. Bochumer geol. u. geotechn. Arb., 29, 44–47.
- Fromentin J.M., Ibanez F., Dauvin J.C., Dewarumez J.M., Elkaim B., 1997. Long-term changes of four macrobenthic assemblages from 1978 to 1992. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 77, 287-310.
- Garnaud S., Lesueur P., et Garlan T., 2005. Origin of sedimentary furrows associated with cohesive sediments on a shoreface setting (eastern Bay of Seine, France). Geo-marine Letters, 1, 34-42.
- Koch P., 1984. Etude de corps sableux en baie de Morlaix au moyen du sonar latéral. Mém. DEA, Université de Caen, 22 p.
- Kröncke I., Reiss H., Eggleton J.D., Aldridge J. Bergman, M. J.N., Cochrane S., Craeymeersch J.A., Degraer S., Desroy N., Dewarumez J-M., Duineveld G. C.A., Essink K., Hillewaert H., Lavaleye M. S.S., Moll A., Nehring S., Newell R., Oug E., Pohlmann T., Rachor E., Robertson M., Rumohr H., Schratzberger M., Smith R., Vanden Berghe E., van Dalfsen J., van Hoey G., Vincx M., Willems W., Rees H.L. , 2011. Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 94, 1-15.
- Pearson T.H. and Mannvik H-P., 1998. Long-term changes in the diversity and faunal structure of benthic communities in the northern North Sea: natural variability or induced instability ? Hydrobiologia, 375/376, 317-329.
- Retière C., 1979. Contribution à l'étude des peuplements benthiques du golfe normano-breton. Thèse Doctorat Etat, Sciences Naturelles, Université Rennes, 370 p.
- RNO, 1996. Surveillance du Milieu Marin. Travaux du RNO. Edition 1996. Ifremer et Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 32 p.
- Ruffin C et Van Waerbeke D., 1999. Suivi morphodynamique de la plage de Saint-Samson (Petit Trégor, Finistère). Méditerranée, n°4, vol.93, pp 77.
- Schückel U., Ehrich S., Kröncke I., 2010. Temporal variability of three different macrofauna communities in the northern North Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 89, 1-11.
- Telford, M., Harold A.S., Mooi R., 1983. Feeding structures, behaviour and microhabitat of *Echinocyamus pusillus* (Echinoidea Clypeasteroidea). Biol. Bull., 165, 745-757.
- Walker P., 2001. Dynamique sédimentaire dans le Golfe Normand-Breton. Intérêt de l'imagerie par sonar à balayage latéral. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Caen, 288 p.