Bases biologiques et écologiques de la conservation du milieu marin en mer d'Iroise

Coralie Raffin

▶ **To cite this version:**

Coralie Raffin. Bases biologiques et écologiques de la conservation du milieu marin en mer d'Iroise. Ecologie, Environnement. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2003. Français. NNT : . tel-00005791

HAL Id: tel-00005791

https://theses.hal.science/tel-00005791

Submitted on 6 Apr 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

SPÉCIALITÉ : OCÉANOLOGIE BIOLOGIQUE

Pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Bretagne Occidentale

BASES BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE

Coralie RAFFIN

Photo : Yves Gladu

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

SPÉCIALITÉ : OCÉANOLOGIE BIOLOGIQUE

Pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Bretagne Occidentale

BASES BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE

Présentée par

Coralie RAFFIN

le 26 septembre 2003

Jury composé de :

Pr. Abdellatif BAYED	Université Mohamed V - Agdal, Maroc	Rapporteur
Pr. Alfonso RAMOS-ESPLA	Université d'Alicante, Espagne	Rapporteur
Pr. Louis BRIGAND	Université de Bretagne Occidentale	Examinateur
Pr. Patrice FRANCOUR	Université de Nice - Sophia Antipolis	Examinateur
Dr. Christian HILY	Chargé de recherche CNRS	Directeur de thèse

REMERCIEMENTS…

Que le chemin est long, qui voit la réalisation d'une thèse en océanologie biologique !
Celui que j'ai suivi fut pavé des moments les plus forts de ma vie et parsemé de ces rencontres essentielles qui font voir le monde autrement. C'est pourquoi remercier toutes les personnes qui ont contribué, à différents niveaux, à l'aboutissement de ma thèse est une entreprise qui est loin d'être facile tant les noms et les visages qui me viennent à l'esprit sont multiples. La liste qui suit ne doit donc pas être considérée comme exhaustive…

Je remercie en premier lieu les personnes qui ont accepté de juger ce travail : MM. Abdellatif Bayed et Alfonso Ramos-Espla qui m'ont fait l'honneur d'être mes rapporteurs, M. Patrice Francour, que je remercie très chaleureusement pour avoir accepté de participer au jury et pour les remarques très profitables dont il m'a fait part, ainsi que M. Louis Brigand, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de relever le défi de participer au jury d'une thèse "de biologie". Merci bien sûr à M. Christian Hily pour m'avoir proposé ce sujet de recherche et avoir suivi ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au Professeur Michel Glémarec, pour son aide précieuse et le temps qu'il m'a consacré, et pour m'avoir fait bénéficier de ses immenses connaissances de l'écologie benthique, de l'océanographie en général et de la pointe de la Bretagne.

Ce travail a été financé par la Région Bretagne, que je remercie ici, ainsi que le laboratoire des sciences de l'environnement marin (LEMAR) et son directeur M. Jacques Clavier, pour m'avoir fourni les moyens de travailler en m'accueillant pendant toutes ces années.

Merci aussi à Jacques Grall et Michel Le Duff pour leur aide et le temps passé à la détermination de quelques invertébrés récalcitrants, à Jacqueline Giraudet, du laboratoire GÉOMER, qui m'a initié aux mystères de la cartographie "géographiquement correcte" et du logiciel de cartographie, à Alain Hénaff pour ses conseils précieux concernant les analyses sédimentologiques, à Robert Marc et Monique Briand pour leur aide informatique et le scannage de documents, à l'incontournable "Raoul" pour les multiples dépannages de mon ordinateur caractériel, à Louis Quiniou pour ses lumières dans le domaine du maniement du logiciel qui permettra l'impression de ce document et à Jean-Marie Fétrot, de l'Association Bernard Grégory, pour son aide lors de la rédaction du Nouveau Chapitre de Thèse.

Je suis très reconnaissante aux capitaines et aux équipages des navires océanographiques côtiers du CNRS, le *Côte d'Aquitaine* et le *Côtes de la Manche*, en particulier Renaud, Guy, Michel, Pierre, Paulo, J-P, Jean-Marc, Jean-Marie, Jean, Éric, Gérard, Bernard, Régis et tous les autres, pour m'avoir fait découvrir le monde de la pêche et de la navigation en mer avec autant de patience, de gentillesse et de passion. Les campagnes furent grâce à ces marins passionnés et passionnants des purs moments de plaisir malgré le rythme soutenu des manips imposé par mon programme bien rempli.

Merci également à tous les étudiants et stagiaires qui m'ont donné des coups de main au cours des phases d'acquisition des échantillons en mer ou pour leur dépouillement, même si tous ne trouvent pas le résultat de leur travail dans ce manuscrit : Jérôme Baudrier, Stéphanie Billy, Caroline Broudin, Cédric Chevrollier, Nolwenn Coïc, Amandine Cozic, Solène Dubois, Sandra Figuet, Isabelle Gloaguen, Marc Gosselin, Edwige Guerlet, Benjamin Guyonnet, Aude Houdan, Julie Lacout, Anne Le Duff, Vincent Le Jeune, Greta Marini, Maud Millet, Aurélien Morvant, Anne-Sophie Poirot, Carole Porhel, Charlotte Roudaut, Alexandre Vagne… et à mes amis et collègues qui ont accepté d'embarquer pour moi : Solène Connan, Jacques Grall, Laurent Guérin, Marion Hardegen, Alain Hénaff, Iwan Le Berre, François Le Loc'h, Joëlle Richard…

Je veux remercier ici tous mes amis pour leur patience et l'amitié indéfectible qu'ils m'ont témoignée, repère salvateur de tous les instants : le groupe des "copains de Nantes", avec Sandra, Stéphane, Xaxa, Stéphanie, Christophe et Christophe, pour toutes les soirées et quelques week ends brestois et camarétois inoubliables, mes amis plongeurs Philou, Fred et Stéphanie, pour l'oxygénation représentée par chacun des moments partagés avec eux. Merci tout particulièrement à Fred grâce à qui j'ai pu multiplier les expériences subaquatiques en bénéficiant de son fameux tarif "étudiant fauché"… Et vive les poissons clowns ! Merci à mes amis brestois d'adoption Gaouët, Pierre, Solène, Pascal, Dorothée, Caro, Guillaume, Matthieu et Marion pour tous les moments partagés, à Betty grâce à qui j'ai amélioré ma vision internationale de la biodiversité et de sa protection, à Gwen pour son amitié et sa patience lors du fameux épisode de l'impression des trois premiers exemplaires de ma thèse, à Angelina, Claire et Eva pour les longues discussions "de filles", les pauses thé et le partage de leurs expériences de thésards en fin de rédaction. Merci enfin à mon colocataire de bureau bigouden, François Le Loc'h, pour sa présence paisible et sereine et son calme si agréables à partager. Une pensée toute particulière à mon amie outre-atlantique Claire et sa petite famille tant il est vrai que la perspective de la visiter là-bas m'a grandement motivée pour la dernière ligne droite…

La dernière personne que je remercierai parmi mes amis n'est pourtant pas la moindre, loin s'en faut. En effet, Laurent Guérin a été pour moi un soutien sans faille et une inépuisable source de réconfort dans les moments de doute et de découragement. Je tiens à le remercier très sincèrement d'avoir été un premier relecteur aussi efficace et éclairé et pour toutes les discussions passionnées autour de mes résultats pourtant parfois assez obscurs. Je lui suis infiniment reconnaissante pour ses conseils avisés, son aide, son amitié et bien plus encore.

Quelques lignes ne suffiront pas pour remercier mes parents du soutien infaillible qu'ils m'ont apporté dans les moments de doute les plus sévères et pour avoir pris en charge les soucis matériels imprévus durant toute la durée de mes études. Un merci tout particulier pour les apéritifs maison si appréciés de tous mes visiteurs, la fameuse sangria et tous les liquides, petits cakes salés et gougères du pot. Merci à mon père pour la relecture assidue de ma prose et pour l'exploration des complexités de l'orthographe, de la grammaire et des règles de ponctuation de la langue française ! Merci à ma petite sœur Marie pour avoir consenti au squat de son appartement et pour tous les efforts faits pour moi et à Guilhem pour son amitié et quelques fameuses plongées en Méditerranée. Un merci immense et encore tout ému à ma sœur Séverine, pour le soutien si précieux qu'elle m'a apporté lors des moments les plus critiques et bien sûr pour le temps qu'elle a consacré à l'élaboration du plus fabuleux pot de thèse que l'IUEM ait jamais accueilli, aux dires mêmes des heureux participants. La pièce montée avec plongeur nougatiné intégré restera pour moi un souvenir fort de cette journée…

Je tiens enfin à exprimer un merci très particulier aux artistes qui m'auront soutenue -sans même le savoir !- lors des longues heures solitaires de tri, de détermination et de rédaction, en particulier Manu Chao, Yannick Noah, Renaud, Sting et bien sûr Russell Crowe et *Gladiator*, comprenne qui pourra…

Finding the solution isn't the problem, finding the problem is the problem.

Anonyme

Knowledge of what is does not open the door directly to what should be.

Albert Einstein

BASES BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE

RÉSUMÉ

Cette étude permet une approche de la gestion et de la protection du milieu marin de la mer d'Iroise à partir des connaissances biologiques et écologiques acquises pour l'ensemble de la zone. Ce travail s'insère dans les préoccupations nationales et internationales de conservation de la biodiversité par l'acquisition et la synthèse de connaissances scientifiques et leur restitution aux autres acteurs de la conservation. La richesse biologique de cette région marine est attestée par la présence d'espèces-phares mais le milieu benthique restait largement méconnu. Cette étude apporte des données qui complètent les connaissances sur la sédimentologie des fonds de l'Iroise et permettent d'en préciser la couverture sédimentaire et la variabilité spatiale et saisonnière. Une large gamme de types sédimentaires est représentée, avec une importance originale pour les cailloutis et les graviers et l'organisation des sédiments en couches superposées, induisant une complexité d'habitats ; de plus, la variabilité spatiale masque la variabilité saisonnière. L'étude de la faune benthique des fonds meubles permet de définir les habitats et les communautés du milieu marin de l'Iroise, avec six grandes unités de peuplement comportant chacune plusieurs faciès, dont certains à grande valeur écologique et patrimoniale. L'importance de la zone frontale du large et son influence sur les communautés benthiques sont mises en évidence. Une analyse de l'utilisation de l'espace et des ressources en mer d'Iroise est proposée, ainsi qu'un bilan concernant la biodiversité et l'état actuel des réflexions internationales sur les aires marines protégées. La synthèse finale dégage les enjeux des habitats et des peuplements de l'Iroise puis les pressions anthropiques potentielles à court et moyen termes. Les priorités et les solutions pour la conservation de ce milieu marin sont discutées et un plan de zonage multi-usages est proposé dans le cadre du futur Parc National Marin de la mer d'Iroise.

MOTS-CLÉS :

biodiversité ; conservation ; Aires Marines Protégées ; mer d'Iroise ; sédimentologie ; habitats ; peuplements benthiques ; variabilité spatiale et saisonnière

BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL BASES FOR THE CONSERVATION OF THE MARINE ENVIRONMENT IN THE IROISE SEA

ABSTRACT

This study allows an approach to management and protection of the marine environment of the Iroise Sea which is based on biological and ecological knowledge gained for the whole area. This work forms part of the national and international concern for biodiversity conservation by the acquisition and synthesis of scientific knowledge and their restitution with the other interested parties of conservation management. The biological richness of this marine area is attested by the presence of flagship-species, but the benthic environment has remained largely ignored. This study provides data which complete knowledge on the sedimentology of the Iroise's bottoms and allows the specification of the sedimentary cover and its space and seasonal variability. A broad range of sediment types is represented, with a basic importance of cobbles and gravels and the organization of the sediments in superimposed layers, inducing a high habitat complexity ; moreover, space variability masks seasonal variability. Following this, the study of the benthic fauna of the soft sediment bottoms allows the definition of the habitats and communities of the marine environment of Iroise, with six main units of communities of species, each comprising several facets, of which some have great ecological and patrimonial values. The importance of the frontal zone and its influence on the benthic communities are highlighted. An analyze of the use of space and resources in the Iroise Sea is outlined, as well as an assessment concerning the biodiversity and the current state of international reflections on marine protected areas. The final synthesis identifies the interests of the habitats and communities of Iroise and the potential anthropogenic threats in the short and medium term. The priorities and solutions for the conservation of this marine environment are discussed and a multiple-use zoning plan is proposed within the context of the future National Marine Park of the Iroise Sea.

KEY WORDS :

biodiversity ; conservation ; Marine Protected Areas ; Iroise Sea ; sedimentology ; habitats ; benthic communities ; space and seasonal variability

INTRODUCTION GÉNÉRALE……...…1

PREMIÈRE PARTIE

SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS DE LA MER D'IROISE

CHAPITRE I - CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

I-1- INTRODUCTION……...…….…7

I-2- GÉOLOGIE DE LA MER D'IROISE ET DE SES CÔTES……..……8

I-3- TOPOGRAPHIE SOUS-MARINE……..10

I-4- GÉOMORPHOLOGIE DES FONDS……...…13

I-4-1- Les côtes continentales……...13

I-4-2- Les îles……13

I-5- HYDROLOGIE ET HYDRODYNAMISME……..17

I-5-1- Les courants de marée……17

I-5-2- La structure verticale des eaux……20

I-5-3- La circulation des masses d'eaux……23

I-6- SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS SOUS-MARINS……...…26

CHAPITRE II - NOUVEAUX APPORTS CONCERNANT LA COUVERTURE SÉDIMENTAIRE

II-1- INTRODUCTION……..29

II-2- MATÉRIEL ET MÉTHODES……...30

II-2-1- Échantillonnage à l'échelle de l'Iroise……....30

II-2-2- Variabilité spatiale et saisonnière à petite échelle……32

II-2-3- Analyse des sédiments……...35

II-2-3-1- Granulométrie et définition des types sédimentaires……35

II-2-3-2- Contenu en matière organique totale (M.O.)……38

II-3- RÉSULTATS DES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES……39

II-3-1- Définition des catégories sédimentaires……39

II-3-2- Couverture sédimentaire……42

II-3-3- Variabilité spatiale à échelle fine……...52

II-3-3-1- L'anse des Blancs Sablons……..…52

II-3-3-2- Morgat……55

II-3-3-3- Les Pierres Noires……..58
II-3-3-4- L'anse de Camaret……..….60
II-3-4- Discussion…….….62
II-3-4-1- Fiabilité des résultats granulométriques…….62
II-3-4-2- Analyse de la cartographie sédimentaire fine……63
II-3-4-3- Analyse de la couverture sédimentaire globale……..70
II-4- TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE……..73
II-4-1- Échelle globale……..73
II-4-2- Échelle fine……77
II-4-3- Discussion……..85
II-4-3-1- Origines des plus fortes concentrations en M.O……86
II-4-3-2- Relation entre pélites et matière organique……89
II-5- CONCLUSION…….94

DEUXIÈME PARTIE

HABITATS ET PEUPLEMENTS DE LA MER D'IROISE

CHAPITRE III - LES PRINCIPAUX COMPARTIMENTS DE L'ÉCOSYSTÈME MARIN

III-1- INTRODUCTION…….97
III-2- LES DOMAINES MARINS……98
III-2-1- Le domaine pélagique……..98
III-2-1-1- L'influence des fronts de marée……98
III-2-1-2- Les espèces du milieu pélagique……...98
III-2-2- Le domaine benthique……....101
III-2-2-1- Rappel des concepts d'étagement en écologie benthique……..….101
III-2-2-2- Les différents types d'habitat……..103
III-2-2-2-1- Les milieux rocheux……103
III-2-2-2-2- Les faciès influençant les peuplements sublittoraux fixés…..…107
III-2-2-2-3- Les fonds meubles……...……108
III-3- LES PEUPLEMENTS ANIMAUX REMARQUABLES……...112
III-3-1- Les invertébrés……...112
III-3-1-1- Les crustacés……...113
III-3-1-2- Les mollusques……...115

III-3-1-3- Les échinodermes……..…..…116
III-3-2- Les vertébrés…….…..…117
III-3-2-1- Les poissons……..…..….117
III-3-2-2- Les oiseaux de l'Iroise……..…..…..122
III-3-2-3- Les mammifères marins……..……125

CHAPITRE IV - ÉTUDE DES HABITATS ET DES PEUPLEMENTS DES SEDIMENTS MEUBLES DE LA MER D'IROISE

IV-1- INTRODUCTION……...129
IV-2- MÉTHODES D'ANALYSE DES PEUPLEMENTS……130
IV-2-1- Échantillonnage……..130
IV-2-2- Analyse des peuplements……...132
IV-2-2-1- Principe et méthodologie……132
IV-2-2-2- Descripteurs des données biologiques……134
IV-2-2-2-1- Analyse des échantillons…….……134
IV-2-2-2-2- Richesse spécifique et indice de diversité……...135
IV-2-2-2-3- Modèle DIMO (Species Diversity Monitoring)……..136
IV-2-2-3- Coefficient de dominance – présence D X P……...137
IV-2-2-4- Analyses statistiques multivariées……..…138
IV-2-2-4-1- Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)…….……138
IV-2-2-4-2- Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH)……..……..139
IV-2-2-5- Approche fonctionnelle……..139
IV-3- RÉSULTATS A L'ÉCHELLE DE L'IROISE…….…142
IV-3-1- Qualité de l'échantillonnage quantitatif……..142
IV-3-1-1- Influence de la bathymétrie……143
IV-3-1-1-1- Réalité de l'étagement bathymétrique des échantillons…..……143
IV-3-1-1-2- Différences observées au sein d'une même catégorie sédimentaire……..……144
IV-3-1-2- Surfaces d'échantillonnage minimales……146
IV-3-2- Identification des peuplements à l'échelle de la mer d'Iroise…….148
IV-3-2-1- Richesse spécifique et densité par strate sédimentaire……...148
IV-3-2-2- Habitats et assemblages d'espèces définis par les analyses multivariées...149
IV-3-2-2-1- Analyse Factorielle des Correspondances……150
IV-3-2-2-2- Analyse par Classification Ascendante Hiérarchique…..……..154
IV-3-2-2-3- Analyse croisée des résultats de l'AFC et de la CAH…….....154
IV-3-2-3- Descripteurs appliqués aux habitats définis……...……156

IV-3-2-3-1- Richesse spécifique et densité……156
IV-3-2-3-2- Diversité et équitabilité……157
IV-3-2-4- Espèces *leaders* et espèces exclusives……159
IV-3-2-5- Approche fonctionnelle : structure taxotrophique des peuplements……..166
IV-3-2-5-1- Structure taxonomique……166
IV-3-2-5-2- Structure trophique……168
IV-3-3- Données complémentaires de macrofaune et de mégafaune surdispersée….172
IV-3-4- Discussion……..173
IV-3-4-1- Description générale des peuplements de la mer d'Iroise……...173
IV-3-4-1-1- Les graviers biogènes (GRB)……173
IV-3-4-1-2- Les cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH)……174
IV-3-4-1-3- Les "graviers" au sens large (GL)……176
IV-3-4-1-4- Les "sables" au sens large (SL)……177
IV-3-4-1-5- Les sables fins envasés (FV)……180
IV-3-4-1-6- Les sédiments hétérogènes envasés (SHV)……181
IV-3-4-2- Synthèse……..182
IV-4- VARIABILITÉ DES PEUPLEMENTS À ÉCHELLE FINE……..185
IV-4-1- Variabilité spatiale de la macrofaune……186
IV-4-1-1- Densité et richesse taxonomique ……...186
IV-4-1-2- Dominance d'espèces……..190
IV-4-1-3- Composition taxotrophique……193
IV-4-2- Indices de variabilité saisonnière de la macrofaune de Camaret et des Pierres Noires……..198
IV-4-2-1- Densité et richesses taxonomiques……198
IV-4-2-2- Composition trophique……...200
IV-4-2-3- Composition taxonomique……..203
IV-4-2-4- Analyses multivariées……205
IV-4-3- Apports de l'analyse à échelle fine dans la connaissance des peuplements de l'Iroise……..209
IV-5- RÉPARTITION D'ESPÈCES ET POPULATIONS REMARQUABLES……...213
IV-5-1- Répartitions bathymétriques inhabituelles……213
IV-5-2- Répartitions spatiales……214
IV-5-2-1- Les coquilles Saint-Jacques……215
IV-5-2-2- Les pétoncles……..219
IV-5-2-3- Les amandes de mer……...221
IV-5-2-4- Les crabes……...223

IV-5-2-5- Les étoiles prédatrices et super prédatrices……225
IV-5-2-6- Une espèce introduite : la crépidule……...234
IV-5-2-7- Les ophiures……237
IV-5-2-8- L'amphioxus *Branchiostoma lanceolatum*……..……...240
IV-5-2-9- Autres espèces de bivalves remarquables……...242
IV-6- DISCUSSION GÉNÉRALE……..247
IV-6-1- Les peuplements et faciès identifiés pour la mer d'Iroise……..248
IV-6-2- Synthèse cartographique……250
IV-6-3- Place dans le contexte des côtes Manche-Atlantique françaises……255

TROISIÈME PARTIE

LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ : UN CHALLENGE POUR LA MER D'IROISE

CHAPITRE V - LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ PAR LA PROTECTION DES ESPACES : CONSTAT AU NIVEAU MONDIAL

V-1-INTRODUCTION……..……..259
V-2- LA BIODIVERSITÉ MARINE ET CÔTIÈRE……260
V-2-1- La place de la biodiversité vis-à-vis de l'humanité……..261
V-2-1-1- Valeurs directes……261
V-2-1-2- Valeurs indirectes……262
V-2-1-3- Valeurs en option……263
V-2-1-4- Valeurs en soi……...264
V-2-2- La crise de la biodiversité marine……266
V-2-2-1- Les extinctions d'espèces……266
V-2-2-2- La crise des écosystèmes……267
V-2-2-3- Les impacts du *global change*……...……..268
V-2-3- Bases administratives, réglementations et structures internationales……..270
V-2-3-1- La Conférence de Rio et la Convention sur la biodiversité……270
V-2-3-2- La Convention RAMSAR……271
V-2-3-3- Le programme *Man and Biosphere (MAB)* de l'UNESCO……..272
V-2-3-4- La Directive Habitats ou *Natura 2000*……..……272
V-2-3-5- La Convention OSPAR……273

V-2-3-6- La Convention d'Helsinki……273
V-2-3-7- Les zones marines spéciales (*Special Seas Areas - SSA*)……274
V-2-3-8- Les Programmes *Regional Seas*……274
V-2-3-9- Autres réglementations……274
V-3- LES AIRES MARINES ET CÔTIÈRES PROTÉGÉES……276
V-3-1- La protection des zones marines au niveau mondial……276
V-3-1-1- Définition d'une aire marine protégée……276
V-3-1-2- Nombre et étendue par rapport aux aires terrestres……278
V-3-1-3- Représentativité des *MPA* existantes……279
V-3-1-4- Systèmes de classification pour évaluer cette représentativité……280
V-3-2- Les critères de choix pour l'institution d'aires marines protégées……282
V-3-2-1- Objectifs……282
V-3-2-2- Critères de sélection……283
V-3-2-3- Taille minimale……284
V-3-2-4- Réseaux d'aires marines protégées……286
V-3-2-5- L'approche "écosystème"……288
V-3-3- Bilan fonctionnel des *MPA* dans le monde……290
V-3-3-1- Effets bénéfiques des *MPA*……290
V-3-3-2- Efficacité réelle des aires marines protégées……294
V-3-3-2-1- Mesure de l'efficacité d'une MPA……294
V-3-3-2-2- Raisons du manque d'efficacité……295
V-3-3-3- Rôles des *MPA* dans le développement durable des pêcheries……297
V-3-3-3-1- Atouts d'une gestion multi-espèces……297
V-3-3-3-2- Effets des zones refuge dans et hors des aires protégées……297
V-4- MESURES DE PROTECTION ET OUTILS DE CONSERVATION ET DE GESTION EN FRANCE…299
V-4-1- Les protections……299
V-4-1-1- Protections réglementaires……299
V-4-1-2- Protections foncières……302
V-4-1-3- Protections contractuelles……303
V-4-2- Les outils de reconnaissance patrimoniale……305

CHAPITRE VI - ACTIVITÉS HUMAINES ET UTILISATION DES RESSOURCES EN IROISE

VI-1- INTRODUCTION……307
VI-2- LA PÊCHE PROFESSIONNELLE EMBARQUÉE EN MER D'IROISE……308
VI-2-1- Description générale de l'activité de pêche……308
VI-2-1-1- État de la flotte de pêche……308

VI-2-1-1-1- Caractéristiques de la flotte de pêche…….308
VI-2-1-1-2- Évolution de 1992 à 1999……..311
VI-2-1-1-3- L'emploi à la pêche……312
VI-2-1-2- Débarquements……...313
VI-2-2- Description par métier……318
VI-2-2-1- Les métiers représentés en Iroise……318
VI-2-2-2- Les débarquements associés……...319
VI-2-3- Les zones de pêche……321
VI-2-3-1- Zones de restriction……321
VI-2-3-2- Zones de pêche réelles……323
VI-2-4- Encadrement et réglementations……324
VI-2-4-1- Compétences en matière de régulation des activités de pêche professionnelle……..……324
VI-2-4-2- Encadrement de la flotte et réglementation par métier……...325
VI-2-4-2-1- Pêche au chalut……...……327
VI-2-4-2-2- Pêche au filet……..……327
VI-2-4-2-3- Pêche au casier……...……328
VI-2-4-2-4- Pêche à la drague……..……330
VI-2-4-2-5- Pêche aux végétaux marins……332
VI-2-4-2-6- Pêche en plongée……...……332
VI-3- LA PÊCHE À PIED PROFESSIONNELLE……...333
VI-3-1- La pêche aux anatifes……333
VI-3-2- La pêche à la telline……...…335
VI-3-3- La pêche au filet fixe……..336
VI-3-4- La récolte des algues sur l'estran……337
VI-3-4-1- Les différents métiers……337
VI-3-4-2- La réglementation……...339
VI-4- LES CULTURES MARINES……...….340
VI-5- LES ACTIVITÉS D'EXTRACTION DE RESSOURCES MINÉRALES……...345
VI-5-1- Extraction de sédiments en mer……345
VI-5-2- Exploitation sur le littoral……..348
VI-6- LES ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES EN MER D'IROISE……..349
VI-6-1- Le nautisme……349
VI-6-2- La pêche de loisir……...352
VI-6-2-1- La pêche plaisancière……352

VI-6-2-2- La chasse sous-marine……352
VI-6-2-3- La pêche à pied de loisir……..353
VI-7- UN PARC NATIONAL MARIN POUR LA MER D'IROISE……355
VI-7-1- Les mesures de protection en place……355
VI-7-2- Historique de la création du Parc National Marin d'Iroise (PNMI)……..….360
VI-7-2-1- Les obligations légales……...360
VI-7-2-2- Le déroulement de la procédure…….361

SYNTHÈSE :

ENJEUX ET MENACES SUR LES HABITATS ET LES PEUPLEMENTS DE LA MER D'IROISE

COMPARAISON AVEC LES PRINCIPALES TYPOLOGIES EUROPÉENNES…….363
ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET PATRIMONIAUX…….368
PRESSIONS ACTUELLES OU POTENTIELLES……380
QUELLES PRIORITÉS ET QUELLES SOLUTIONS POUR LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE ?……395

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES……...……..403

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES...…….407

LISTE DES ABRÉVIATIONS...…..……..……..431

ANNEXES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le concept de diversité biologique est apparu dans la littérature relative à l'écologie au milieu des années 1980 (Ghilarov, 1996). La Convention sur la diversité biologique, signée lors de la Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement et le Développement - sommet Planète Terre (3-4 juin 1992, Rio de Janeiro, Brésil), définit la diversité biologique comme la diversité des organismes vivants de toutes origines, incluant *inter alia* les écosystèmes terrestres, marins ou aquatiques autres, et les complexes écologiques dont ils font partie ; elle s'exprime à des niveaux multiples incluant les gènes, les espèces, les phylums, les fonctions, les communautés et les écosystèmes, les paysages et les habitats (Gray, 1997). Plus encore, elle intègre l'idée de gestion saine et d'utilisation durable de ces ressources naturelles (Stork, 1994). Le terme de diversité biologique est souvent contracté en "biodiversité" et dans ce contexte, les deux termes peuvent être considérés comme synonymes.

Cette notion récente génère encore beaucoup de confusion et d'ignorance. De puissants lobbies s'emploient à promouvoir la continuité des mesures et des usages provoquant des pertes de biodiversité et s'efforcent de contrecarrer ceux qui doivent la préserver. Cette situation conflictuelle illustre le besoin d'une information scientifique cohérente mais présentée de façon intelligible sur la biodiversité. Elle montre aussi qu'il est essentiel que cette information soit intégrée dans les décisions de gestion et de protection : elle constituerait alors la pierre angulaire des stratégies nationales et mondiales de conservation de la biodiversité (Lubchenco, 1995).

Certains faits sont pourtant déjà établis avec certitude. L'importance que représente la diversité à tous les niveaux d'organisation biologique (génétique, spécifique, au niveau des écosystèmes, *etc*...) est reconnue, de même que les changements conséquents qui se produisent à tous ces niveaux et les implications négatives, directes et indirectes, qu'elles engendrent pour l'humanité. En particulier, les pertes constatées au niveau des espèces sont si rapides qu'elles sont comparées aux extinctions de masse des évènements paléontologiques (May, 1988). Des informations scientifiques claires sur la biodiversité sont urgentes pour aider les citoyens, les gestionnaires et les instances décisionnelles à arrêter des choix englobant mieux tous les aspects du problème. L'interaction entre les connaissances scientifiques et la gestion doit être dynamique, surtout quand le besoin d'information comme l'information elle-même évoluent très rapidement, comme c'est le cas avec la biodiversité (Lubchenco, 1995).

Ces bases scientifiques concernent tous les domaines d'étude nécessaires pour cerner la problématique de conservation de la biodiversité dans une zone donnée. Deux aspects se mêlent étroitement dans ces problématiques environnementales : les sciences sociales et

économiques et les sciences naturelles, avec en particulier l'écologie et la biologie. Pour ce domaine de recherche prioritaire que représentent les problèmes environnementaux, la nécessité d'une approche pluridisciplinaire a été reconnue en France dès 1979, avec la mise en place de programmes interdisciplinaires par le Centre National de la Recherche Scientifique. C'est l'unique exemple d'une telle ouverture et d'une telle constance dans un effort de programmation interdisciplinaire du CNRS (Muxart et Vivien, 2002), ce qui traduit bien l'importance de la question de l'environnement dans le devenir des sociétés contemporaines.

Les zones prioritaires de conservation se focalisent en général sur les zones particulièrement riches en espèces, abritant des espèces rares et menacées ou une combinaison de ces caractéristiques (*hotspots* : Reid, 1998). Les espèces sont conservées pour leur rareté, leur endémisme, leur grande taille, leur pouvoir attractif ou leur importance économique (Bond, 1994). En milieu terrestre, l'expérience montre que les habitats riches en espèces pour un taxon le sont aussi pour les autres et que les espèces rares se trouvent souvent à l'intérieur des mêmes habitats : en conséquence, elles bénéficient de la conservation des habitats riches en espèces (Prendergast *et al.*, 1993). La biologie de la conservation du milieu marin est une science encore récente, qui fait appel à des connaissances biologiques et écologiques des espèces et des milieux, mais exige aussi des bases en géographie et en histoire pour appréhender l'influence des phénomènes à très grande échelle, spatiale ou temporelle, sur la structure des communautés et la composition en espèces (Ricklefs, 1987 ; Cornell, 1999), ainsi que la vision d'économistes et de sociologues pour connaître les usages de la population humaine concernée par la zone. Or, malgré des bases scientifiques communes, les positions des économistes et des biologistes écologues reposent sur un système de valeurs différent, ce qui explique pourquoi les débats concernant le développement durable sont si laborieux et les décisions convergentes si contestées et difficiles à prendre (Cairns, 2003).

La problématique développée dans ce travail de thèse est de montrer en quoi les connaissances biologiques et écologiques de base réunies sur le milieu marin de la mer d'Iroise peuvent permettre une approche optimale de sa protection et de sa gestion. Elle s'insère donc complètement dans les préoccupations nationales et internationales de conservation de la biodiversité par l'acquisition et la synthèse des connaissances scientifiques et leur restitution sous une forme disponible pour les autres acteurs de la conservation que sont les acteurs locaux, les gestionnaires, les politiques et les scientifiques.

La zone choisie pour cadre à cette étude est délimitée à l'intérieur de la mer d'Iroise. Cette petite mer bordière baigne les côtes occidentales du Finistère, à l'ouest de la Bretagne, de la France et de l'Europe (figure 1). Elle est limitée au nord par l'île d'Ouessant (48°30'N) et au sud par la chaussée de Sein (48°00'N). Vers le nord, elle communique avec la Manche par le chenal du Four, qui longe la côte du Léon et, le long de la côte sud d'Ouessant, par l'étroit passage du Fromveur, réputé dangereux pour la navigation à cause des violents courants de marée. Vers le sud, le passage du Raz de Sein, entre la pointe du Raz et la chaussée de Sein, fait communiquer l'Iroise avec le golfe de Gascogne par la baie d'Audierne. L'Iroise communique largement avec la baie de Douarnenez et, par un étroit goulet, avec la rade de Brest. Vers le large, l'Iroise est limitée par le méridien de la pointe de Pern, la plus occidentale d'Ouessant, qui correspond approximativement à l'isobathe des cent mètres. Au-delà commence la mer Celtique. À partir de ces profondeurs, les fonds réguliers se raccordent à la plate-forme continentale.

Deux archipels encadrent la mer d'Iroise : au nord, une dizaine d'îlots forment l'archipel de Molène, en avant duquel se détache l'île d'Ouessant. Au sud se trouve une île isolée : l'île de Sein (figure 2).

Les connaissances acquises sur le milieu de la mer d'Iroise concernent surtout les domaines terrestres des côtes continentales et des îles. Brigand (2002) a réalisé une synthèse très complète de tous les aspects historiques, géographiques et humains des îles de la mer d'Iroise, dont les richesses floristiques et faunistiques sont par ailleurs reconnues grâce aux études d'une association de protection de la nature (Bretagne Vivante - SEPNB). La création d'une réserve de Biosphère de l'UNESCO dans l'archipel de Molène-Ouessant a donné l'occasion d'étudier les milieux intertidaux particulièrement bien représentés dans cette zone (Jean *et al.*, 1993 ; Hily et Jean, 1997 ; Le Hir, 2002). La présence d'espèces-phares comme les grands dauphins ou les phoques gris a attiré l'attention sur la richesse biologique des parages de ces îles (Liret, 2001 ; Vincent, 2001) et sur cette région marine globale, qui présente aussi de nombreux sites particulièrement fréquentés par les oiseaux marins, dont certaines espèces sont rares et protégées. Pourtant, le milieu marin de la mer d'Iroise, constitué de la zone subtidale (partie marine non découverte à marée basse) et qui représente les plus grandes surfaces de la mer d'Iroise, restait presque totalement méconnu. Ces fonds sont caractérisés par une couverture sédimentaire allant de la roche et des cailloutis aux sables fins, dans laquelle vivent des peuplements végétaux et animaux caractérisés par des assemblages d'espèces variables selon les conditions locales.

Figure 1 : Situation de la mer d'Iroise en Europe et en France.

Ce mémoire de thèse est structuré en quatre parties, dont les trois premières comportent chacune deux chapitres. La première partie expose l'état des connaissances sur la sédimentologie des fonds de la mer d'Iroise et apporte les données nécessaires pour en préciser la couverture sédimentaire, à l'aide d'un échantillonnage à trois échelles (deux spatiales et une temporelle), indispensables pour appréhender la variabilité des fonds sédimentaires. La deuxième partie consiste en une étude des peuplements des fonds meubles

de la zone, l'approche à deux échelles poursuivie ici permettant d'aboutir à la définition des habitats et des peuplements du milieu marin de la mer d'Iroise et d'en réaliser une cartographie précise. La troisième partie est consacrée à la réalisation d'une synthèse des connaissances actuelles sur la biodiversité et sa conservation en France et dans le monde, en particulier pour le milieu marin. Un bilan des activités humaines et de l'utilisation des ressources de la mer d'Iroise est également proposé, incluant une présentation de l'état d'avancement du projet de création d'un Parc National Marin de la mer d'Iroise. Une synthèse finale permet de croiser toutes ces informations afin de mettre en avant les enjeux représentés par les habitats et les peuplements du milieu marin de la mer d'Iroise, ainsi que les pressions qu'ils subissent ou sont susceptibles de subir à court et moyen termes. Une discussion sur les priorités et les solutions pour la conservation du milieu marin de la mer d'Iroise termine cette synthèse globale. La conclusion générale de ce mémoire de thèse présente les points importants soulevés et expose les perspectives offertes par ce travail de thèse.

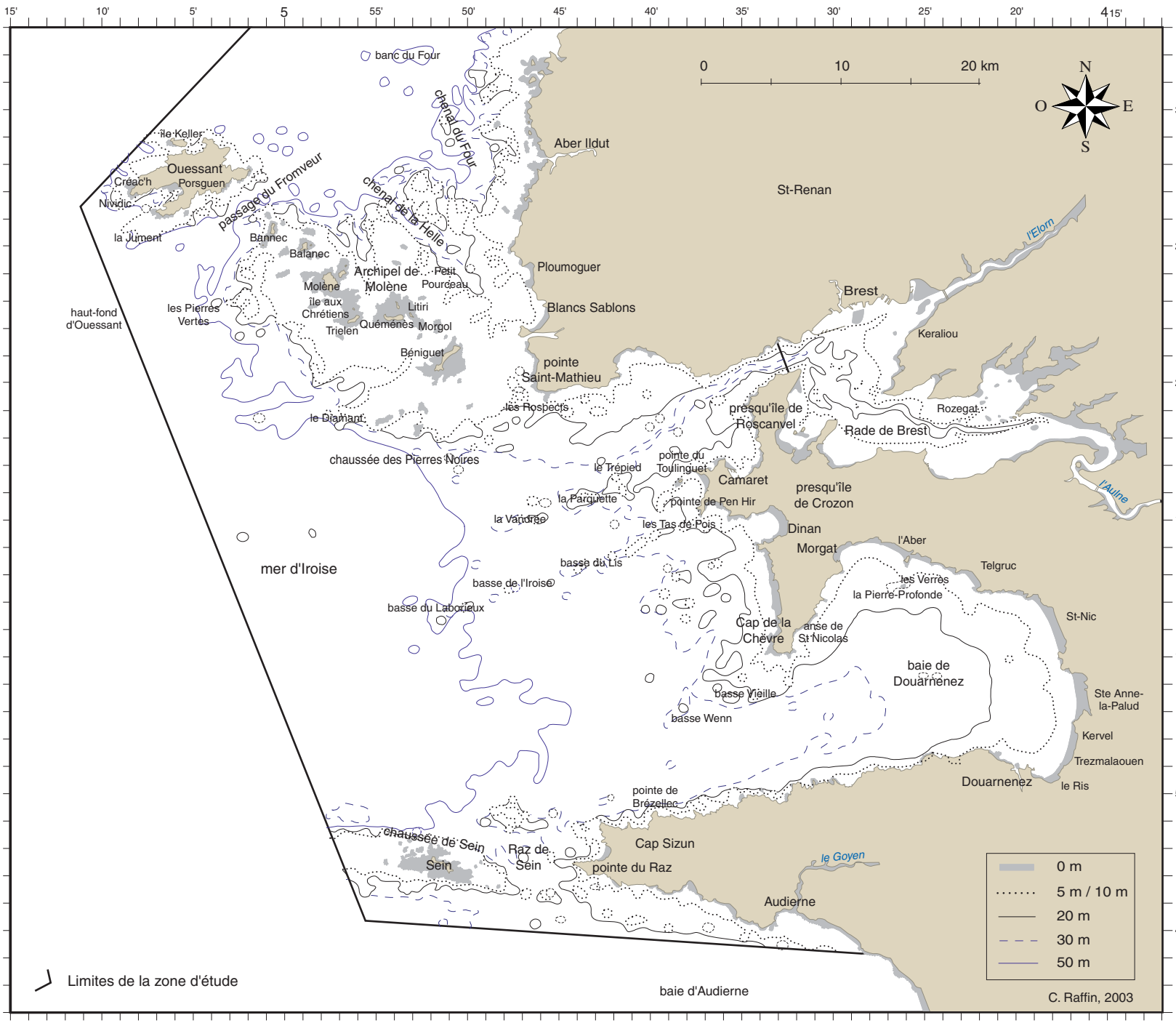


Figure 2 : Carte de présentation de la zone d'étude : la mer d'Iroise. Sources SHOM, toponymie d'après les cartes marines n 7149, 7148, 6099 et 7400.

PREMIÈRE PARTIE

SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS DE LA MER D'IROISE

- CHAPITRE I -

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

I-1- INTRODUCTION

L'étude de la nature des fonds, près d'une côte du type de la Bretagne, nécessite un examen des conditions physiographiques locales. En effet, la structure géologique influence la morphologie des fonds : ainsi, le long de la côte, les affleurements de roches dures sont représentés par des pointes, des caps et toutes les avancées du littoral, tandis que ce sont en mer des hauts-fonds rocheux appelés "basses". À l'inverse, les structures concaves de la côte, baies ou anses, tout comme les dépressions sous-marines, doivent leur origine à des bandes de roches plus tendres.

Or, les caractéristiques géologiques, la topographie sous-marine, l'hydrologie de la zone, la géomorphologie et la sédimentologie des fonds sont étroitement liées. Le tracé de la côte et la topographie sous-marine modifient par exemple la vitesse et la direction des courants responsables du transport et de la sédimentation du matériel meuble. Les abris constitués par les hauts-fonds rocheux ou les formes en creux par rapport aux houles et aux vents dominants sont des facteurs importants qui influencent la couverture sédimentologique, jusqu'à une profondeur où l'action des vagues n'est plus perceptible. Des actions directes et réciproques lient ces facteurs physiques : les dépôts de sables en bancs ou en dunes par des courants alternants contribuent par exemple au modelage morphologique des fonds qui peuvent eux-mêmes avoir une influence sur la propagation des courants marins.

Ce premier chapitre expose une synthèse des connaissances nécessaires pour bien comprendre les relations entre les différentes caractéristiques physiques du milieu marin, de ses fonds et des strates sédimentaires qui en résultent. Les paragraphes proposés aborderont successivement la géologie de la mer d'Iroise et de ses côtes, la topographie sous-marine, les différents aspects de la géomorphologie des fonds, l'hydrologie et l'hydrodynamisme de la zone et enfin les informations disponibles sur la sédimentologie des fonds sous-marins.

I-2- GÉOLOGIE DE LA MER D'IROISE ET DE SES CÔTES

Les fonds géologiques de la mer d'Iroise et de ses côtes sont connus de façon assez précise, grâce aux nombreux travaux réalisés sur le continent et les îles par Chauris (1966, 1982, 1991a,b,c, 1992a,b), Chauris et Hallégouët (1994) et Hallegouët (1993), ainsi qu'aux résultats d'une campagne de carottages obtenus par Chauris *et al.* (1972).

Globalement, l'opposition observée entre le Léon, de forme massive, et le Cap Sizun, beaucoup plus effilé, se retrouve dans les archipels qui prolongent ces formations vers le large : le plateau de Molène et l'île d'Ouessant ont la massivité caractérisant la péninsule léonarde, tandis que l'étroite et longue chaussée de Sein se présente avec la même finesse d'allure que la pointe du Raz (Hinschberger, 1970).

Les différentes unités géologiques du Pays de Léon se retrouvent dans l'archipel de Molène : les gneiss de Ploumoguer à Litiri, Morgol, Trielen et Quéménès, le granite de Saint-Renan et les gneiss associés à Molène, le granite porphyroïde de l'Aber Ildut à Balanec et le granite à deux micas de Ploudalmézeau à Bannec (Chauris, 1966, 1969).

La géologie de l'île d'Ouessant s'explique par la présence de deux bandes de granite, le granite légèrement porphyroïde de Porsguen au sud et un granite à deux micas, à grains grossiers, au nord, encadrant une zone centrale de micaschistes et de schistes plus tendres.

Au sud de l'archipel de Molène, la chaussée des Pierres Noires est constituée d'un granite à biotite (mica noir), qui forme une succession de récifs, disséminés sur une quinzaine de kilomètres entre les Rospects à l'est et le Diamant à l'ouest. Il n'a pas d'équivalence dans le Léon.

Un autre ensemble granitique, se prolongeant largement vers l'ouest, a été mis en évidence à son contact. Ces granites, appelés "granites de l'Iroise", diffèrent de ceux des Pierres Noires et de ceux présents sur le continent.

Au sud de ces ensembles granitiques se retrouvent les prolongements de la zone médiane armoricaine en Iroise. Le plancher de l'Iroise est ainsi constitué par des formations paléozoïques identiques à celles de la presqu'île de Crozon. Celles-ci se trouvent également dans le nord de la baie de Douarnenez, où elles sont au contact de roches plus anciennes,

datées du Briovérien (division du Précambrien, autour de - 650 millions d'années), qui forment la majeure partie du plancher de la baie (Augris *et al.*, 1988 ; Darboux, 1973 ; Darboux, 1991).

Au sud de la zone, la chaussée de Sein est le prolongement vers l'ouest des formations cristallines et granitiques de la pointe du Raz ; elle est formée des mêmes granites à muscovites que ceux qui constituent cette pointe. Elle représente en fait un fragment de la surface générale, affaissé de 80 mètres environ par rapport au Cap Sizun, dont elle est séparée par un accident nord-ouest - sud-est (Barrière *et al.*, 1985).

Des cassures obliques, affectant également le plateau de Molène, expliquent l'alignement de certaines îles, par exemple Balanec - Molène - Trielen. L'existence même de l'île d'Ouessant, isolée à l'entrée de la Manche, résulte de ces fractures transversales qui témoignent des activités tectoniques survenues au cours des temps géologiques, depuis la formation du Massif Armoricain, au début de l'ère primaire (à partir de - 570 millions d'années). D'après Chauris (1966), Ouessant représenterait ainsi l'unité la plus septentrionale du massif du Léon, comme un résumé des évènements structuraux qui l'ont affecté.

I-3- TOPOGRAPHIE SOUS-MARINE

La bathymétrie influence directement la quantité et la qualité des radiations lumineuses arrivant jusqu'au fond : c'est pourquoi la répartition des peuplements algaux se fait selon la profondeur, en fonction de la partie du spectre lumineux effectivement exploitée pour les activités photosynthétiques (Lünning, 1990). La localisation des zones côtières peu profondes revêt donc une importance particulière pour les études incluant les algues et les écosystèmes qui en dépendent.

La topographie sous-marine de l'Iroise est bien connue grâce aux cartes bathymétriques du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et à celle réalisée par Hinschberger en 1970. À partir des quelques 1 225 000 références enregistrées dans la base de donnée bathymétrique du SHOM (BDBS-SHOM) entre 1816 et 1996, une reconstitution en trois dimensions d'un modèle numérique bathymétrique a été réalisé par Le Berre en 1999 pour la mer d'Iroise. Cette représentation inédite des fonds permet de visualiser très facilement les zones rocheuses, d'apparence chaotique, et les vastes "plaines" sédimentaires sableuses, à l'aspect régulier et parsemées d'irrégularités dont les contours, s'ils sont accidentés, indiquent la nature rocheuse tandis qu'une allure douce et arrondie signale des accumulations sableuses (figure I-1).

Au nord, contrairement à ce que laisse supposer la superficie des îlots actuellement émergés, la plate-forme de l'archipel de Molène est particulièrement étendue puisque la surface comprise au-dessus de l'isobathe -5 mètres s'étend sur 135 kilomètres carrés. L'orientation générale de ce plateau à peine immergé est de direction sud-est - nord-ouest ; il se rattache au continent par le chenal du Four, d'une profondeur maximum de 11 mètres seulement.

Au contraire, le plateau d'Ouessant est presque entièrement émergé : l'île représente 16 kilomètres carrés et la surface comprise entre la ligne de côte et l'isobathe des -10 mètres est à peu près équivalente. En outre, cette frange peu profonde est entièrement située du côté ouest de l'île.

Ouessant et le plateau de Molène sont séparés par le passage du Fromveur, beaucoup plus profond que le chenal du Four puisque sa profondeur avoisine les cinquante mètres. Dans l'axe du Fromveur, se trouvent au sud-ouest le haut-fond d'Ouessant puis, à une plus grande

distance vers le nord-est, le banc du Four. Ces hauts-fonds ne sont pas rocheux mais formés d'accumulations de sable, avec des champs de rides sableuses à proximité (Hinschberger, 1962a ; Hinschberger et Guilcher, 1962 ; Hinschberger, 1970).

La chaussée des Pierres Noires constitue la limite méridionale du plateau de Molène. Elle affleure à son extrémité orientale, en face de la pointe Saint-Mathieu, puis s'enfonce progressivement vers l'ouest, jusqu'à 30 à 40 mètres de profondeur. Elle est bien soudée au plateau de Molène à hauteur de l'île de Béniguet mais en est nettement séparée à l'ouest par une large vallée sous-marine aux pentes douces. Du côté sud au contraire, les Pierres Noires se terminent par un tombant abrupt d'une quarantaine de mètres, au-dessus des fonds calmes de l'Iroise centrale.

Au centre de l'Iroise, le relief sous-marin est plus régulier, si ce n'est les alignements de "basses" qui prolongent les pointes de la presqu'île de Crozon vers l'ouest (rochers du Toulinguet, écueils du Trépied et de la Parquette et basse de la Vandrée au nord, les Tas de Pois, les basses du Lis, de l'Iroise et du Laborieux au centre, la basse Vieille et la basse Wenn au sud).

Mis à part des accidents topographiques très localisés, dus aux structures géologiques, les fonds diminuent régulièrement de la côte vers le large.

Au sud de l'Iroise, la chaussée de Sein s'avance vers le large en rétrécissant. Comme celle d'Ouessant, la plate-forme de Sein est peu étendue et des profondeurs de 50 mètres sont très rapidement atteintes en allant vers le nord. Plus au large, le haut-fond d'Ar Men, comparable à celui d'Ouessant, est dû à une accumulation de sables ; le haut-fond de Kafarnao est, quant à lui, comparable aux grands champs de rides qui prolongent le banc du Four, dont les amas de sable forment des dunes hydrauliques d'une ampleur considérable (Hinschberger et Guilcher, 1962 ; Hinschberger *et al.*, 1967 ; Hinschberger et Pauvret, 1968 ; Hinschberger, 1970).

La surface relativement élevée des estrans et des petits fonds (de 0 à 10 mètres) est un élément remarquable de l'Iroise, avec en particulier de vastes champs de blocs et de roches dans l'archipel de Molène et des fonds meubles formant de grandes étendues sableuses en baie de Douarnenez.

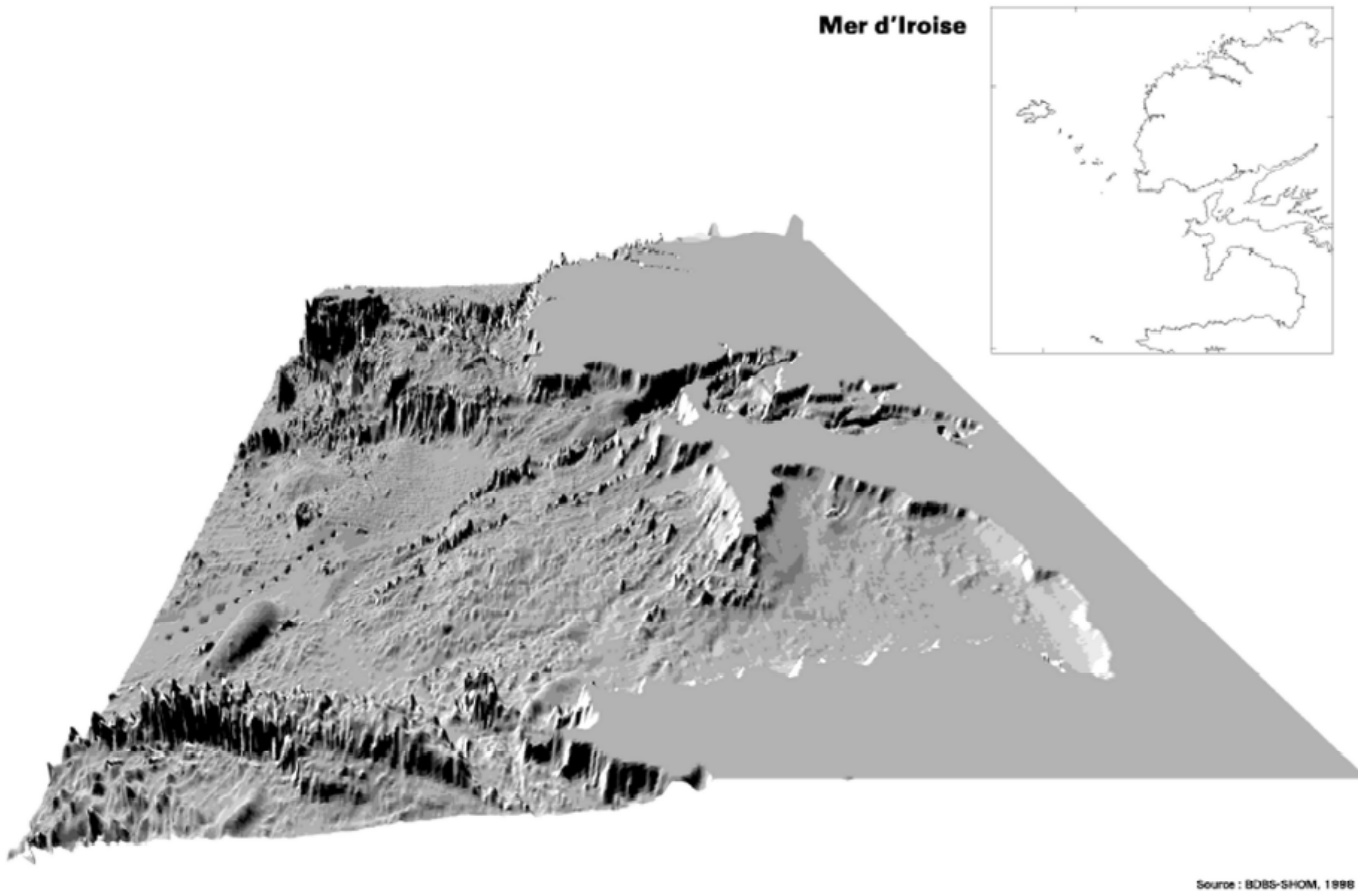


Figure I-1 : Représentation en trois dimensions de la topographie des fonds de la mer d'Iroise. Source : BDBS-SHOM (1816 à 1996), dans Le Berre (1999).

I-4- GÉOMORPHOLOGIE DES FONDS

I-4-1- Les côtes continentales

Les types de côtes bordant à l'est la mer d'Iroise peuvent être regroupés en deux catégories : les falaises s'avançant sur la mer et les plages situées entre ces avancées.

Les côtes rocheuses, principalement des falaises, se rencontrent partout où le continent forme une pointe avancée vers la mer, comme à la pointe Saint-Mathieu, au Toulinguet, à Pen Hir, au Cap de la Chèvre ou encore au Cap Sizun. Ces falaises sont hautes : 100 mètres au Cap de la Chèvre, 60 mètres à la pointe de Dinan, à Camaret et au nord du Cap Sizun.

Les dépressions situées entre ces pointes sont occupées par des plages de sables fins, comme à Camaret, dans les anses des Blancs Sablons et de Dinan ou encore en baie de Douarnenez. C'est d'ailleurs dans cette baie que les plages de ce type sont les plus étendues. Certaines sont protégées des courants et des houles dominantes (Morgat, l'Aber), d'autres au contraire font face aux vents dominants (plages de Telgruc, Saint-Nic, Sainte-Anne la Palud, Kervel, Trezmalaouen, plage du Ris).

La géomorphologie de ces estrans meubles a été étudiée par Prenant (1963), Chassé (1972), Hallegouët et Hénaff (1995), Hénaff (1998) et Hénaff et Bodéré (1999).

I-4-2- Les îles

Les îles sont une composante très importante dans le paysage de la mer d'Iroise : elle est en effet limitée au nord par l'île d'Ouessant et par les îles de l'archipel de Molène. Bien qu'elle soit de loin la plus grande, Ouessant présente beaucoup moins de formations littorales que cet archipel, constitué de nombreuses îles émergeant d'une vaste plate-forme immergée.

L'île d'Ouessant a une allure de plan incliné s'abaissant de l'est vers l'ouest et peut être interprétée comme un gros bloc basculé en pente douce vers l'ouest : les falaises les plus hautes atteignent en effet soixante mètres à l'est mais dépassent rarement trente mètres à l'ouest, où l'île s'enfonce doucement sous la mer, prolongeant vers le large cette plate-forme littorale en laissant affleurer au ras de l'eau de dangereux écueils qui s'étendent sur plus d'un mille au large.

Les premières études géomorphologiques de cette île ont été réalisées par Robequain (1935) et Collin (1936, 1940), puis par Guilcher (1957a), dont les recherches ont notamment porté sur les plages anciennes et les dépôts actuels de l'île. Le relief et la géomorphologie littorale de l'île d'Ouessant ont également été bien étudiés (Hallégouët, 1986). Les plages actuelles, dont celle de la baie de Lampaul est une des plus importantes, sont rares à Ouessant. À l'inverse, les restes de plages anciennes sont nombreux (Guilcher, 1957a, b) et se retrouvent dans la quasi-totalité des criques au nord et au sud-ouest de l'île. En plus des petites plages actuelles, il existe, sur le littoral d'Ouessant, deux cordons de galets comptant parmi les plus spectaculaires de toutes les côtes bretonnes, qui s'élèvent à plus de quatre mètres au-dessus de la dépression interne qu'ils barrent, avec des galets atteignant, pour les plus volumineux, des longueurs de 70 et même 90 centimètres. Cinq petits tombolos de galets existent également, dont les plus importants, bien que modestes, sont situé à l'est de l'île ainsi qu'au nord, où le tombolo relie Keller à Keller Vihan.

L'archipel de Molène, séparé du continent par l'étroit chenal du Four, regroupe neuf îles principales, ainsi que neuf autres îlots, annexes des précédentes (Guilcher, 1959). Ce sont les points culminants de la grande plate-forme rocheuse immergée. Mis à part les îles de Molène et de Béniguet, dont les altitudes maximales sont respectivement de vingt mètres et seize mètres, cet archipel est composé d'îles basses, ne s'élevant pas à plus de dix mètres au-dessus du niveau des hautes mers. Cette plate-forme, disputée entre terre et mer au gré des transgressions et des régressions passées, présente de nombreuses formations géomorphologiques mises en place sous les actions conjuguées de la houle et des courants marins.

Les accumulations littorales ont été étudiées dès les années 1950 par Guilcher (1948, 1950, 1957a, 1958, 1959), Guilcher *et al.* (1959), puis par Hallegouët (1982a,b, 1984). Elles sont à mettre en rapport avec les courants de marée, très violents par endroits sur ce plateau peu profond qui constitue pour eux un obstacle. Elles s'ordonnent en fait en fonction des courants de la houle dominante d'ouest-sud-ouest. Ainsi, les sédiments sableux ont été balayés

dans les zones où les courants sont particulièrement violents ; au contraire, dans les zones d'amortissement des courants, ils se sont déposés et ont donné naissance à différents types de dunes hydrauliques. Guilcher (1958) a distingué des formes en traînées, des amas globulaires, des paraboles, des barkhanes, des dunes en "z" et des *ripple-marks*.

La formation des traînées, souvent accrochées à une roche par une de leurs extrémités, est en relation avec les courants de marée. Les principales se situent au sud-est de Morgol, au nord de Litiri, au nord-est de Béniguet et entre Bannec et Balanec. Les traînées formées au nord-est de Quéménès ne semblent par contre pas dues aux courants mais à la houle.

L'amas globulaire le plus spectaculaire est situé au sud de Quéménès. Il correspond à une zone d'amortissement des courants, dans un secteur resserré entre des îles.

Les dunes hydrauliques paraboliques doivent leur existence à la différence de force entre le flot et le jusant dans certains secteurs (Hallegouët, 1982a) ; elles sont situées derrière un détroit entre les îles, là où la force du courant s'affaiblit. Leur localisation précise a été le plus souvent facilitée par la présence d'une roche, qui se situe soit au cœur de la dune, soit à une de ses extrémités. La plus belle de ces dunes se trouve près du Petit Pourceau, au nord-est de Litiri. Il en existe également plusieurs au nord de Morgol, au nord-est de Balanec et au sud-est de Molène.

Les barkhanes sont des dunes plus petites, à cornes effilées, en relation avec une roche voisine, comme au nord-nord-ouest de Litiri.

Les dunes en forme de "z" se trouvent à l'est-sud-est de Béniguet et près de l'île aux Chrétiens ; elles représentent une forme intermédiaire entre les dunes paraboliques et les barkhanes.

Les *ripple-marks* géantes ne peuvent exister que dans les fonds où un seul des courants alternatifs peut agir, le flot ou le jusant, comme c'est le cas à l'est et au nord de Béniguet, ainsi qu'autour de Litiri, où elles sont même fixées par des herbiers de zostères qui retiennent les sédiments.

En dehors de ces formations sous-marines, il existe également des dunes sur certains îles ou îlots de l'archipel. Les plus développées se trouvent à Béniguet et surtout à Molène, où elles couvrent toute la partie ouest de l'île. Il s'agit principalement de dunes fixées par la végétation, qui ne sont plus alimentées à partir de l'estran. Seules celles de Litiri et de Béniguet sont encore nourries par le sable des plages.

En plus de ces formations sableuses, les accumulations de blocs et de galets sont très bien représentées dans l'archipel de Molène. Celles-ci se présentent sous plusieurs formes : les "queues de comète", les tombolos ou encore les accumulations avec loc'h. Sur Morgol et l'île

aux Chrétiens, elles sont même suffisamment importantes pour recouvrir entièrement les roches sous-jacentes.

Les tombolos sont des accumulations de galets reliant îles et îlots entre eux, comme celui existant entre Molène et sa grande Ledenez, entre celle-ci et la petite Ledenez, ou encore ceux qui relient en chapelet Quéménès, ses deux Ledenez et deux roches situées plus au nord.

Les "queues de comète", définies par Guilcher *et al.* (1959), sont des tombolos incomplets : ils se constituent dans une zone d'abri de la houle dominante, derrière un point d'appui, le plus souvent une roche. Les plus belles accumulations de ce type se trouvent à l'ouest de Molène, entre Molène et Balanec, du côté nord-ouest de Béniguet, ainsi qu'au sud-est de Molène et entre Molène et ses Ledenez.

Les accumulations avec loc'h sont des cordons de galets isolant un marais littoral. Cinq des îles de l'archipel en comptent : Trielen, Quéménès, Balanec, Béniguet et la plus grande Ledenez de Molène. Ces cordons se sont mis en place sous l'action de la houle et bordent un étang de taille variable selon les îles : le loc'h de Trielen mesure 110 mètres de diamètre, celui de Balanec en fait 80 tandis que celui de la grande Ledenez de Molène est si réduit qu'il est asséché pendant l'été.

La chaussée de Sein, d'orientation est-ouest, est limitée au nord et au sud par deux escarpements sous-marins. Il s'agit d'une plate-forme réduite, en grande partie immergée, dont le point le plus haut constitue la petite île de Sein (45 hectares), dans l'est de la chaussée. Cette île est constituée presque entièrement d'une plage ancienne, de sables et de galets restés collés sur le point culminant de la barre de granite formant la chaussée et qui résistent assez bien à l'érosion marine actuelle. Vers l'ouest, l'abaissement est régulier et les écueils se raréfient progressivement. La géomorphologie de cet ensemble a été étudiée par Guilcher à la fin des années 1950 (Guilcher, 1958).

L'étroitesse de la plate-forme n'a pas permis la mise en place d'accumulations aussi importantes que celles existant dans l'archipel de Molène, cependant quelques-unes des formations décrites se retrouvent dans la chaussée : des traînées de sable à l'ouest de Sein, des barkhanes de petite taille, une queue de comète et de rares accumulations de galets, avec néanmoins un banc de 400 mètres de long, situé à un kilomètre à l'ouest de l'île de Sein.

I-5- HYDROLOGIE ET HYDRODYNAMISME

I-5-1- Les courants de marée

Située devant la pointe de la Bretagne, l'Iroise est largement soumise à l'action de la houle générée au large par les vents, dont l'action se traduit principalement par l'existence d'un éventail très large de formations géomorphologiques côtières.

La marée joue également un rôle primordial dans le fonctionnement des systèmes littoraux en Bretagne, d'autant plus que les marnages y sont importants (de l'ordre de six mètres à Brest). Ils tendent à diminuer vers le golfe de Gascogne (quatre mètres à Penmarc'h) et à augmenter lorsqu'on pénètre dans la Manche (sept mètres et demi à Roscoff), pour atteindre un maximum dans la baie du Mont Saint-Michel avec douze mètres (SHOM, 1998). Les masses d'eau mises en mouvement lors de ces cycles de marée engendrent d'importants courants, dont la vitesse est fortement influencée par la configuration des fonds et de la côte.

Les caractéristiques hydrodynamiques de ces courants de marée conditionnent en grande partie la distribution des sédiments qui tapissent le fond de l'Iroise ; ils ont aussi un rôle prépondérant dans le régime de circulation des masses d'eaux. De plus, leur forte intensité induit une faiblesse relative des courants résiduels dus au vent, qui n'atteignent pas une puissance comparable.

Les courants de marée de l'Iroise sont connus de façon précise depuis les travaux de Mariette *et al.* (1982), Mariette (1983), Mariette et Le Cann (1985), Mariette *et al.* (1985), Dupuy (1993) et du SHOM (1994). Le SHOM possède ainsi un atlas numérique avec, pour chaque point, la direction et l'intensité du courant à toutes les heures d'une marée de vive-eau et de morte-eau moyenne (coefficients 95 et 45). Ces informations concernent principalement les courants de surface, bien que leurs caractéristiques ne soient pas homogènes sur l'ensemble de la tranche d'eau. À partir de ces données, Le Berre (1999) a pu calculer le courant résiduel à l'issue d'un cycle de marée grâce aux possibilités d'un SIG (figure I-2). Les zones de courants maximaux ont ainsi pu être identifiées (figure I-3).

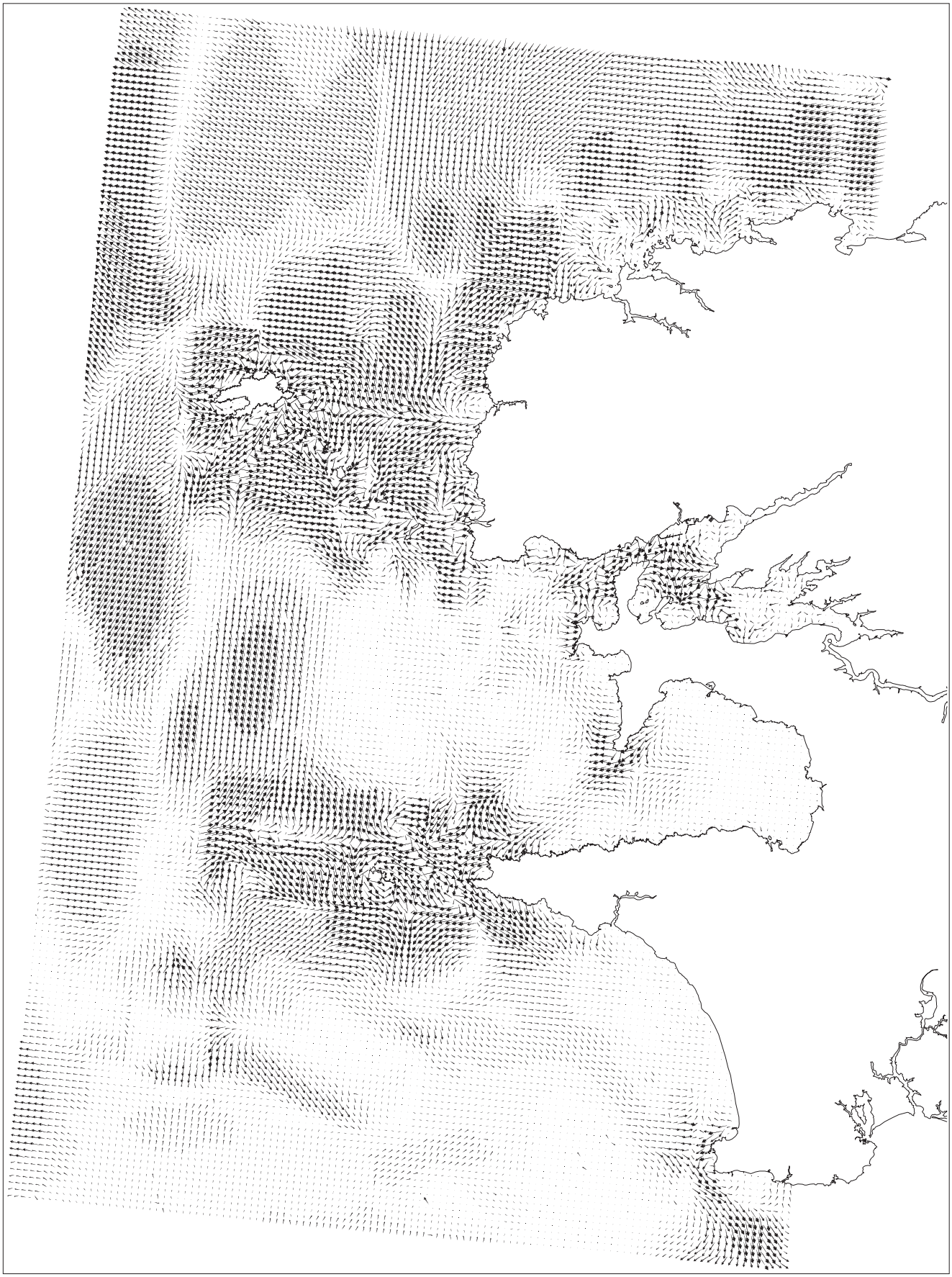


Figure I-2 : Résultantes de courants calculées d'après les fichiers provenant des modélisations du SHOM pour un coefficient de 95. La taille et la direction des flèches sont calculées en fonction de l'intensité et du sens du déplacement. Dans Le Berre (1999).

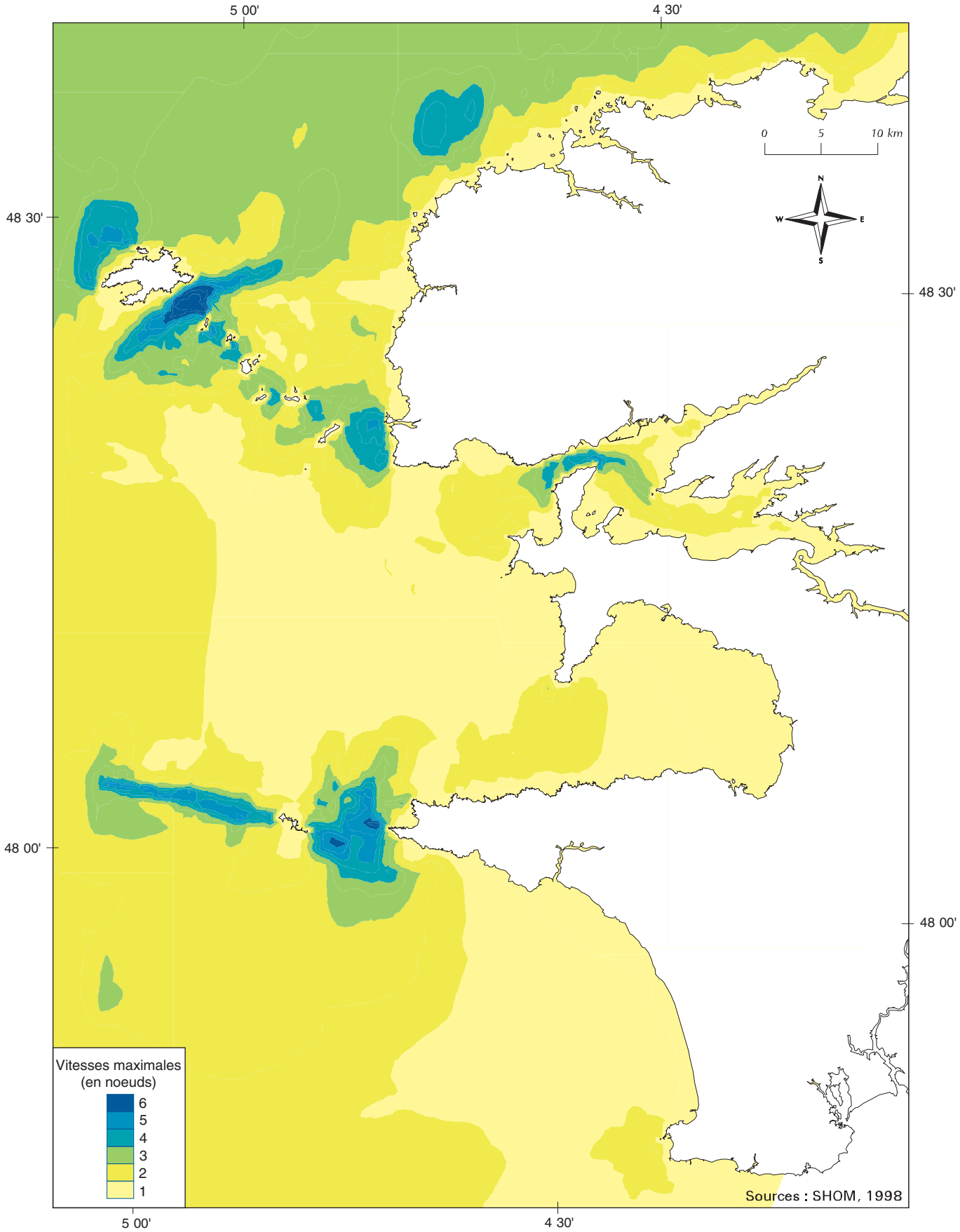


Figure I-3 : Intensité des courants maximaux calculés d'après l'atlas numérique des courants de marée du SHOM. Dans Le Berre (1999).

Les courants les plus forts sont situés dans les rétrécissements, comme le Raz de Sein, le goulet de Brest, les espaces situés entre les côtes du Conquet et la première île de l'archipel de Molène (Béniguet) ou entre les îles de l'archipel, également dans le passage du Fromveur, où les courants maximaux sont atteints avec sept à huit nœuds (marée de vive-eau de coefficient 115). Les plus faibles se retrouvent dans la baie de Douarnenez ainsi que dans toute la partie centrale de la zone d'étude, avec des courants rarement supérieurs à un nœud entre les prolongements rocheux de la chaussée de Sein et de l'archipel de Molène.

Il existe une zone de divergence des courants le long de la ligne joignant l'Aber Ildut et l'île d'Ouessant, les courants s'inclinant soit vers le sud (Iroise), soit vers le nord pour remonter le long des côtes rocheuses des Abers et rejoindre la Manche occidentale.

I-5-2- La structure verticale des eaux

L'énergie dissipée par le frottement des courants de marée sur le fond est suffisante pour homogénéiser physiquement toute la colonne d'eau : en période estivale, des zones où la structure thermique verticale est homogène subsistent alors, entourées d'eaux stratifiées.

Les courants ne sont évidemment pas les seuls facteurs influençant la structure thermique de la couche superficielle de l'océan qui concerne les premières dizaines de mètres d'eau. Celle-ci change aussi selon le cycle des saisons. L'hiver entraîne ainsi une homogénéité verticale de la température tandis qu'au printemps, un gradient thermique bien marqué se met en place entre dix et soixante mètres de profondeur, surmonté d'une couche de température homogène. Les forts gradients thermiques horizontaux observés alors, à la frontière entre les eaux homogènes et les eaux stratifiées, peuvent atteindre près de 1°C par kilomètre : ce sont de véritables fronts thermiques.

Une thermocline se forme au moment où la mer commence à gagner de la chaleur et résulte de la succession de périodes ensoleillées et de vents forts. Ce profil thermique subsiste jusqu'à l'automne et disparaît sous l'effet des forts coups de vent et des pertes thermiques de l'océan, marquant le début de l'hiver. La structure thermique de la couche superficielle de l'océan redevient alors homogène.

Ces zones homogènes sont centrées autour des îles d'Ouessant et de Sein, là où l'intensité des courants de marée est maximale. En périodes de vives-eaux, ces deux régions se

rejoignent, coupant ainsi la mer d'Iroise du nord au sud et créant deux zones frontales. La première, à l'ouest, empêche les eaux océaniques du large d'entrer en Iroise, tandis que l'autre, à l'est, isole les eaux côtières de la baie de Douarnenez et de la rade de Brest (Le Fèvre, 1986 ; Birrien, 1987 ; Morin *et al.*, 1994).

Les conditions dans lesquelles se forment les fronts influent sur le fonctionnement de l'écosystème associé. Dans le cas de l'Iroise, leur existence est fortement liée aux courants de marée en zone côtière : ce sont des fronts de marée, marqués par une discontinuité thermique. En Iroise, deux systèmes frontaux sont présents : le front d'Ouessant et le front interne de l'Iroise (figure I-4).

Le front d'Ouessant est localisé à quelques kilomètres au large de l'île d'Ouessant ; il barre l'entrée de la Manche, du sud de la Bretagne à la Cornouaille anglaise et se raccorde à la côte à proximité de la pointe du Raz. Son gradient thermique est très accentué, atteignant 3 à 4°C en moins d'un mille. Sa formation est due aux forts courants qui empêchent ou freinent la formation d'une thermocline saisonnière, du fait de leur intensité dans la zone côtière. Il se met en place au printemps et est établi de manière permanente en période estivale. Au large, les eaux de surface réchauffées par le soleil atteignent 17°C ; elles reposent sur les eaux plus profondes et plus froides du "bourrelet froid" (12°C à vingt mètres de profondeur). C'est un exemple type de front de marée thermique (Birrien, 1987).

D'extension relativement plus réduite, le front interne de l'Iroise se situe dans le secteur le plus côtier de l'Iroise, compris entre la pointe du Raz et les environs de la pointe Saint-Mathieu. Sa nature est différente de celle du front externe : il est marqué par un gradient halin nettement prononcé et représente en fait la limite d'influence vers le large d'eaux dessalées arrivant en surface, de provenance locale (baie de Douarnenez et rade de Brest qui, au moins en été, font partie d'un même ensemble) ou du sud de la Bretagne (eaux de la Loire et de la Vilaine). Cependant, en période estivale, le caractère thermique vient rapidement s'ajouter au facteur halin et le front a alors un caractère thermohalin (Morin *et al.*, 1994). En baie de Douarnenez, les courants de marée sont moins importants et comme au large, les eaux de surface sont donc plus chaudes (17-18°C) que celles du fond (14°C).

Entre les deux fronts, la température de la colonne d'eau est de 14°C du fond à la surface. Ce phénomène particulier n'existe qu'en Iroise et ne s'observe nulle part ailleurs sur le plateau continental français (Birrien, 1987).

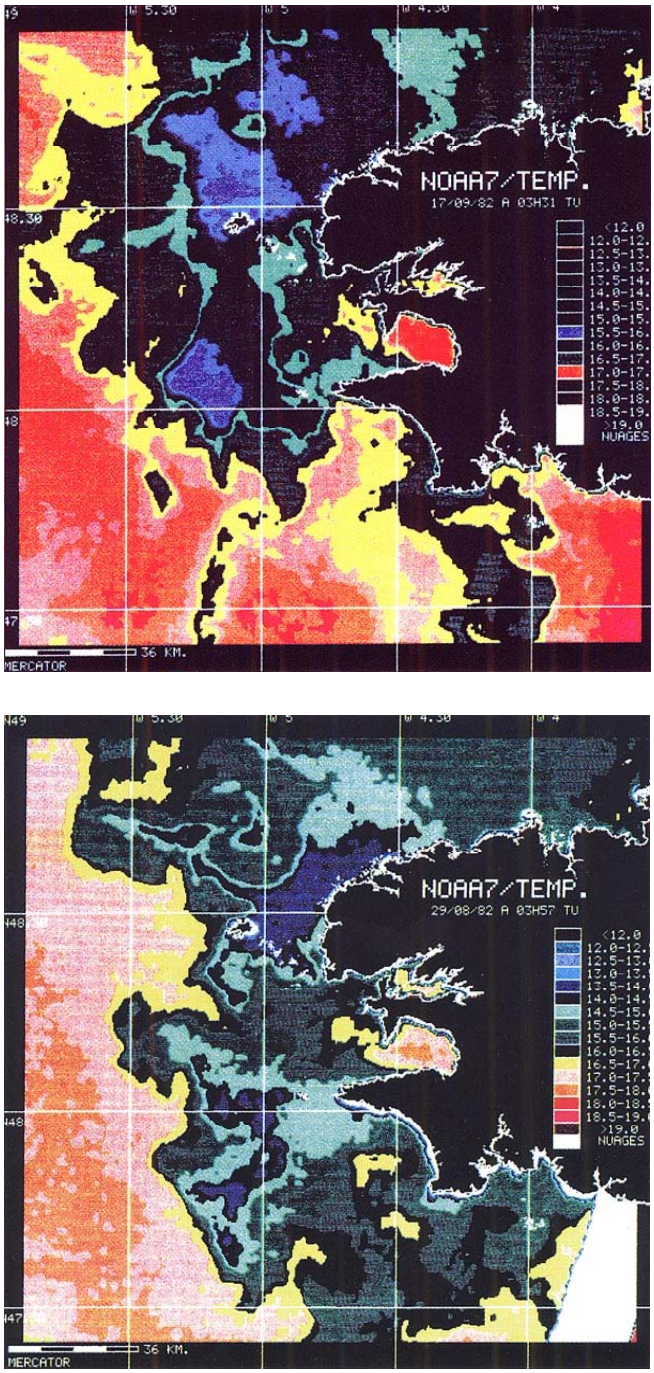


Figure I-4 : Images par satellite de la distribution des températures de surface en vive eau (a) et en morte eau (b) : situation en fin d'été. Dans Morin *et al.* (1993).

I-5-3- La circulation des masses d'eau

Ces zones de fronts correspondent à des frontières où les changements de conditions du milieu sont brutaux, limitant horizontalement des masses d'eaux juxtaposées aux caractéristiques physico-chimiques différentes. Ces discontinuités peuvent être visibles de la surface, concrétisées par une ligne d'écume, une ligne de détritus piégés par des courants opposés ou encore une ligne de changement de couleur de l'eau (Birrien, 1987).

Les fronts sont caractérisés par trois zones : une zone frontale de transition, entourée de part et d'autre d'une zone stratifiée et d'une zone homogène. Ces zones délimitent ainsi trois masses d'eau : une eau chaude de surface au-dessus de la thermocline, une eau de fond froide, située en dessous et une eau à température intermédiaire dans la zone homogène (figure I-5).

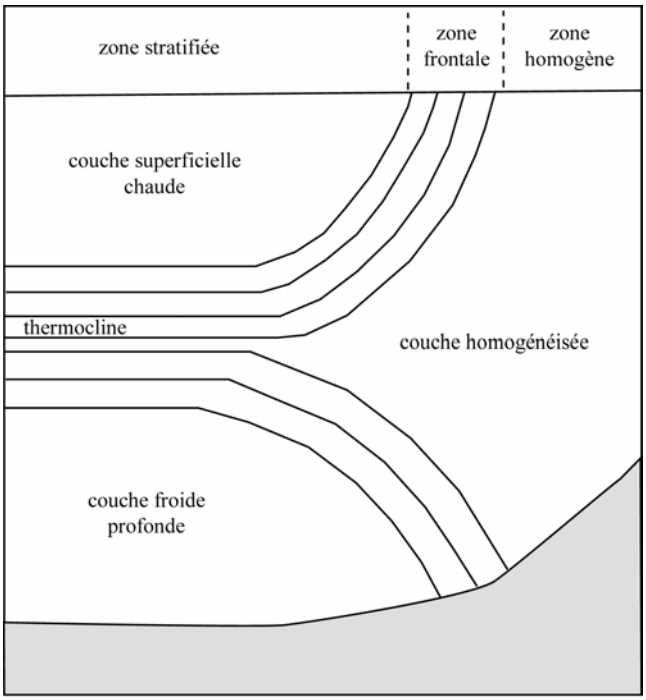


Figure I-5 : Représentation schématique d'une zone frontale. Modifié d'après Raillard (1976), dans Birrien (1987).

Les grandes différences de température entre les masses d'eau provoquent des mouvements entre celles-ci. Au niveau du front, un *downwelling* apparaît : les eaux les plus froides coulent sous la couche réchauffée, tandis qu'un *upwelling* règne du côté de la zone homogène, provoquant ainsi une circulation verticale importante. Cet équilibre est cependant instable et les cisaillements transfrontaux entraînent la formation de tourbillons.

Tous ces mouvements sont des phénomènes océanographiques majeurs, qui interviennent dans la circulation générale des masses d'eau et jouent un rôle important dans les transferts d'énergie et de matière à travers le front (Le Fèvre, 1986 ; Maguer *et al.*, 1996a ; Maguer *et al.*, 1996b ; Morin et Le Corre, 1985). Ils vont ainsi permettre à des eaux froides, donc plus profondes, de remonter en surface chargée de tous ses éléments dissous, en particulier les éléments nutritifs à la base des chaînes trophiques marines rencontrées en milieu euphotique (figure I-6).

L'ensemble de ces phénomènes explique pourquoi les frontières entre les trois compartiments, délimités par le front d'Ouessant et le front interne de l'Iroise, sont des zones où la production primaire est importante : les algues phytoplanctoniques y trouvent à la fois la lumière et les sels nutritifs nécessaires à leur développement (Morin, 1984 ; Morin *et al.*, 1991 ; Morin *et al.*, 1993). Cette situation influence ainsi la dynamique des populations pélagiques et certainement aussi le développement de la faune benthique, dans l'hypothèse où une partie de la production pélagique sédimente vers le fond.

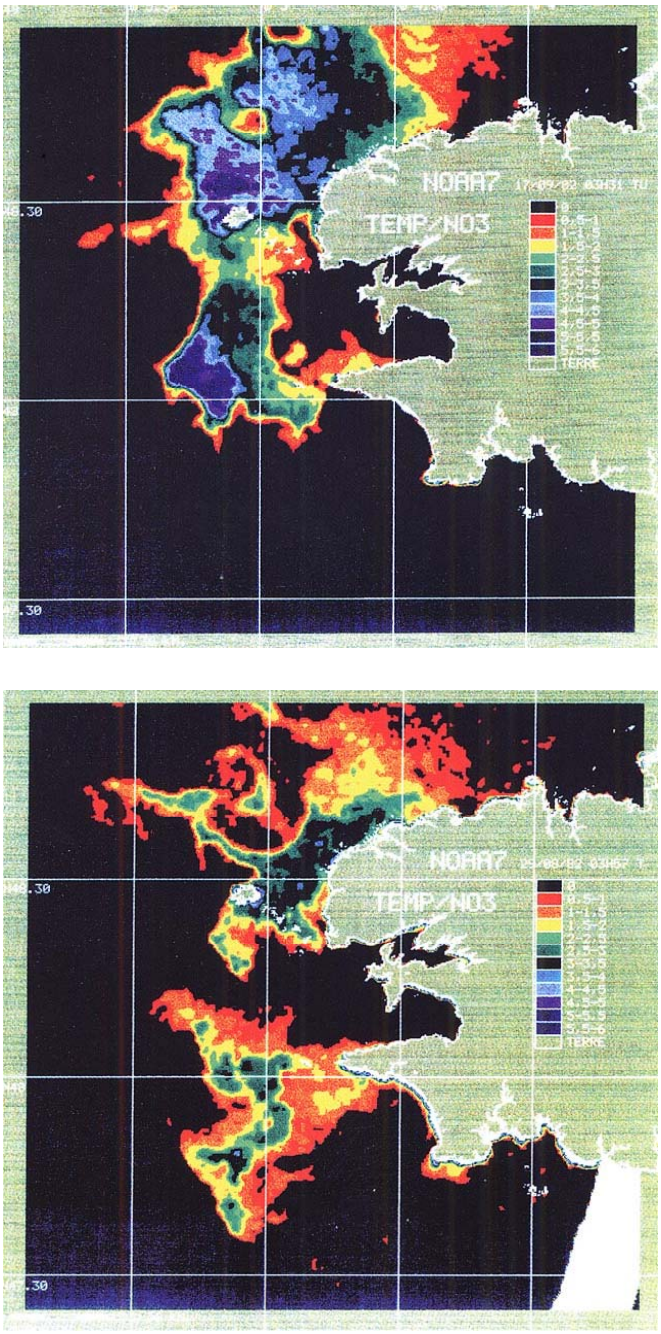


Figure I-6 : Images par satellite de la distribution des concentrations de nitrates en surface en vive eau (a) et en morte eau (b) : situation en fin d'été. Dans Morin *et al.* (1993).

I-6- SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS SOUS-MARINS

La couverture la plus complète de la sédimentologie de la mer d'Iroise est la cartographie sédimentologique sous-marine des côtes de France, élaborée sous la responsabilité de l'IGN dans les années 1960-1970 (Hinschberger *et al.*, 1968 ; Vanney, 1968 ; Saint-Requier, 1970 ; Pinot et Vanney, 1972 ; Marec et Hinschberger, 1975). Ce travail d'envergure a nécessité la définition et l'application d'une norme typologique et cartographique, afin de permettre la comparaison directe des documents produits (Guilcher, 1969). Cependant, la plupart de ces cartes concernent des aires situées hors de notre zone d'étude.

Cette zone a également été particulièrement étudiée par Hinschberger entre 1961 et 1969 : les résultats de ces études ont donné lieu à de nombreuses publications (Hinschberger et Guilcher, 1962 ; Hinschberger, 1962a, b, 1963 ; Hinschberger et Corlay, 1967 ; Hinschberger *et al.*, 1967 ; Hinschberger et Pauvret, 1968 et Hinschberger, 1970).

Des études plus récentes ont réactualisé et affiné les connaissances dans certains secteurs, comme la rade de Brest (Fichaut, 1984) ou la baie d'Audierne (SHOM, 1996), tous deux hors de notre zone d'étude. Une cartographie récente de l'anse de Morgat a également été réalisée à une échelle beaucoup plus fine (1/15 000, Augris *et al.*, 1988).

Les données concernant cette zone géographique sont donc anciennes pour la grande majorité et existent actuellement pour des zones limitées, parfois même seulement sous forme cartographique.

Le Berre a réalisé en 1999 une compilation des données relatives à la sédimentologie sous-marine, publiées à l'échelle 1/100 000 (cartographie sédimentologique sous-marine des côtes de France), après harmonisation des typologies selon la méthode de transcodage établie par Chassé et Glémarec (1976b) pour la cartographie biosédimentaire. La carte de synthèse obtenue par Le Berre (1999) est donc celle des faciès biosédimentaires de la mer d'Iroise (figure I-7).

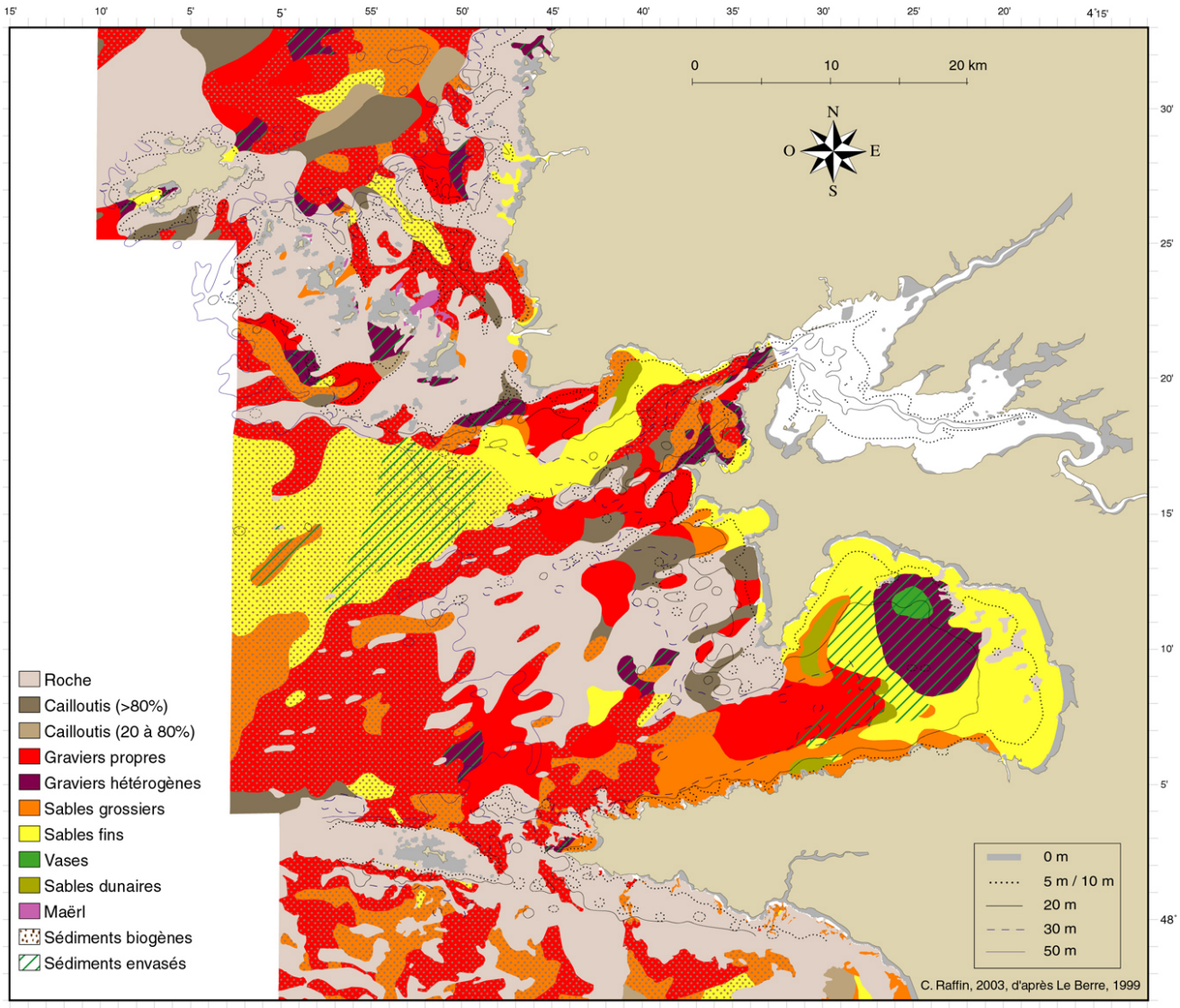


Figure I-7 : Cartographie des faciès biosédimentaires sous-marins de la mer d'Iroise. Sources : Hinschberger *et al.*, 1968 ; Marec et Hinschberger, 1975 ; Chassé et Glémarec, 1976a ; SHOM, 1996. D'après Le Berre (1999).

Il apparaît clairement que la nature des fonds de la mer d'Iroise est extrêmement variée. Toute la gamme des types sédimentaires meubles existants se trouve représentée en Iroise, depuis les vastes zones de cailloutis du chenal du Four, les graviers et les sables grossiers du nord jusqu'aux sables fins de la baie de Douarnenez. Les fonds de vases fines, apparemment absents en Iroise, sont représentés dans des zones très côtières ou intertidales, notamment le fond des abers.

La diversité des substrats durs est également extrêmement forte, avec les champs de blocs intertidaux de l'archipel de Molène, les chaos rocheux et les grands tombants des abords

des plateaux de Sein et d'Ouessant, les falaises à pic du Cap Sizun et de la presqu'île de Crozon et les grottes de Morgat.

- CHAPITRE II -

NOUVEAUX APPORTS CONCERNANT LA COUVERTURE SÉDIMENTAIRE

II-1- INTRODUCTION

Les substrats meubles sont constitués par l'association d'éléments très divers, incluant des particules sédimentaires d'origine minérale ou d'origine vivante de dimensions extrêmement variables, de la matière organique particulaire issue de la décomposition des organismes animaux et végétaux et de l'eau interstitielle. La proportion relative de ces différents éléments détermine la structure du substrat et le microhabitat dans lequel vivent les organismes benthiques. Cet habitat est ainsi largement défini par la taille des particules sédimentaires ; or la diversité des habitats tend à entraîner la diversification des peuplements biologiques associés (Mumby, 2001). C'est pourquoi la connaissance précise de la couverture sédimentaire des fonds de la mer d'Iroise est une étape essentielle pour comprendre ensuite la répartition de ses peuplements et optimiser les options de conservation et de gestion.

Les résultats des analyses menées à partir des échantillonnages de sédiments effectués sur l'ensemble de la zone d'étude permettent d'aborder cette question. Deux échelles spatiales sont considérées : une échelle globale couvrant l'ensemble de la mer d'Iroise et une échelle fine, à partir de quatre zones de taille réduite à l'intérieur de la zone globale. Une échelle temporelle est également envisagée pour appréhender l'importance des variations saisonnières dans la zone. Cette étape est nécessaire pour connaître le plus précisément possible la nature et la répartition des sédiments couvrant le fond de la mer d'Iroise ; elle permet aussi d'appréhender la variabilité de cette couverture sédimentaire.

Après avoir détaillé les méthodes utilisées pour réaliser ces analyses, ce deuxième chapitre présente les résultats concernant la granulométrie puis la matière organique, aux différentes échelles envisagées. Une synthèse globale met en évidence les éléments caractéristiques de la sédimentologie des fonds de la mer d'Iroise.

II-2- MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-2-1- Échantillonnage à l'échelle de l'Iroise

La superficie considérable de la zone (une surface à couvrir de plus de 200 000 hectares) a nécessité un plan d'échantillonnage adapté pour être réalisable dans le temps de campagne imparti de 29 jours répartis en quatre périodes, dont seulement 21 ont été exploitables pour le travail en mer.

Les stations ont été définies d'après un plan d'échantillonnage stratifié sur la base de la carte de Le Berre (1999), figure I-7 p. 27). Les stratificateurs retenus sont la granulométrie du sédiment, la bathymétrie, ainsi que des particularités connues, telles un secteur de pêche, la présence de certains écosystèmes (banc de maërl) ou de certaines populations comme des bancs de bivalves. Plusieurs stations sont ensuite choisies aléatoirement dans chacune des strates définies, l'effort d'échantillonnage étant réparti proportionnellement à leur surface relative : 136 stations réparties sur dix strates sédimentaires sont ainsi sélectionnées au total sur l'ensemble de la zone d'étude (figure II-1).

Les échantillonnages ont été menés à bord des navires océanographiques *Côtes de la Manche* et *Côte d'Aquitaine* de l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU / CIRMAT). Quatre campagnes en 1999 (campagnes DEBBIR) ont permis de mener à bien cet échantillonnage à une échelle globale.

Sur chacune des stations sont effectuées deux bennes Hamon, prélevant 0,25 m² de sédiment (figure II-2). Deux sous-échantillons de sédiment, dont la macrofaune est retirée pour ne pas perturber l'analyse des communautés animales, sont prélevés dans l'une d'elles puis conservés pour procéder aux études de teneur en matière organique et de granulométrie. Un échantillon a été prélevé sur chaque benne lorsque les sédiments des 2 bennes se sont révélés visuellement différents.

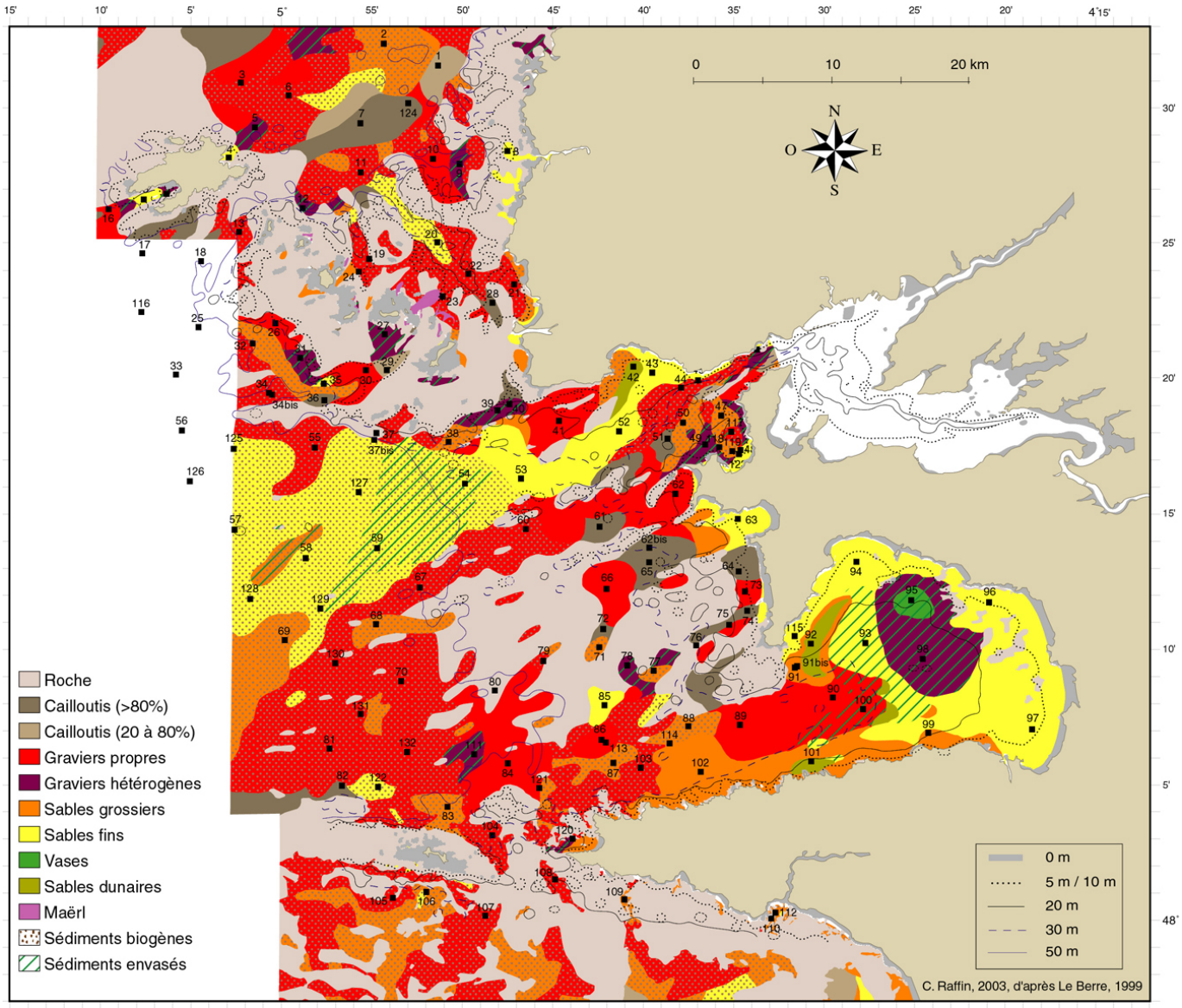


Figure II-1 : Localisation des stations échantillonnées à la benne Hamon.

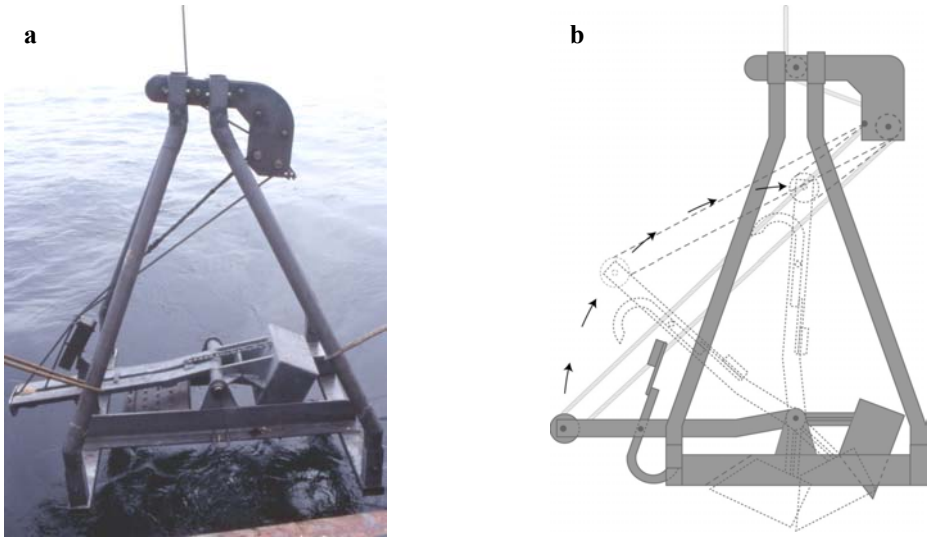


Figure II-2 : Photo de la benne Hamon (a) et représentation schématique de son fonctionnement (b).

II-2-2- Variabilités spatiale et saisonnière à échelle fine

Les premières séries de prélèvements effectués à l'échelle de la mer d'Iroise ont permis de déterminer plusieurs zones, d'aires réduites, mais couvrant l'ensemble de la diversité sédimentaire rencontrée au cours des échantillonnages. Quatre zones ont ainsi été retenues, dans le but de réaliser une étude de la variabilité spatiale des sédiments à une échelle plus fine, ainsi qu'une évaluation de l'amplitude des variations saisonnières susceptibles de s'opérer dans des zones soumises à un fort hydrodynamisme.

Ces quatre zones sont situées dans l'anse des Blancs Sablons (sables coquilliers et graviers biogènes), dans l'anse de Camaret (maërl envasé), au sud-est de l'anse de Morgat en baie de Douarnenez (cailloutis et sables grossiers à fins) et dans le sud des Pierres Noires (sables moyens à fins plus ou moins envasés).

Dans chacune de ces zones, neuf à vingt stations, disposées le long de radiales, ont été échantillonnées lors de la deuxième campagne DEBBIR de juin 1999. Une partie de ces stations a été conservée et constituent les stations définitives de ce suivi à échelle fine : neuf aux Blancs Sablons, huit à Camaret, quinze à Morgat et onze aux Pierres Noires (figure II-3).

Du fait des contraintes liées à la disponibilité des navires et de l'accessibilité de la zone (météo), ce suivi a été étalé sur les deux années 1999 et 2000 (campagnes DEBBIR et DEBBIR II), avec quatre situations saisonnières pour chacun des sites : début d'été (juin), fin d'été (septembre), automne (novembre) et printemps (avril).

Sur chaque station, trois bennes Smith-Mc Intyre (benne appelée aussi benne Smith), prélevant une surface de 0,1 m², sont réalisées coup sur coup. Deux sous-échantillons de sédiment sont prélevés pour chaque station, afin de réaliser les analyses de granulométrie et les dosages du contenu en matière organique. Lorsque les contenus de deux bennes semblaient visuellement différents, ces sous-échantillonnages ont été réalisés pour chacune ; sinon, les réplicats ont été considérés comme semblables et une seule analyse par station est effectuée.

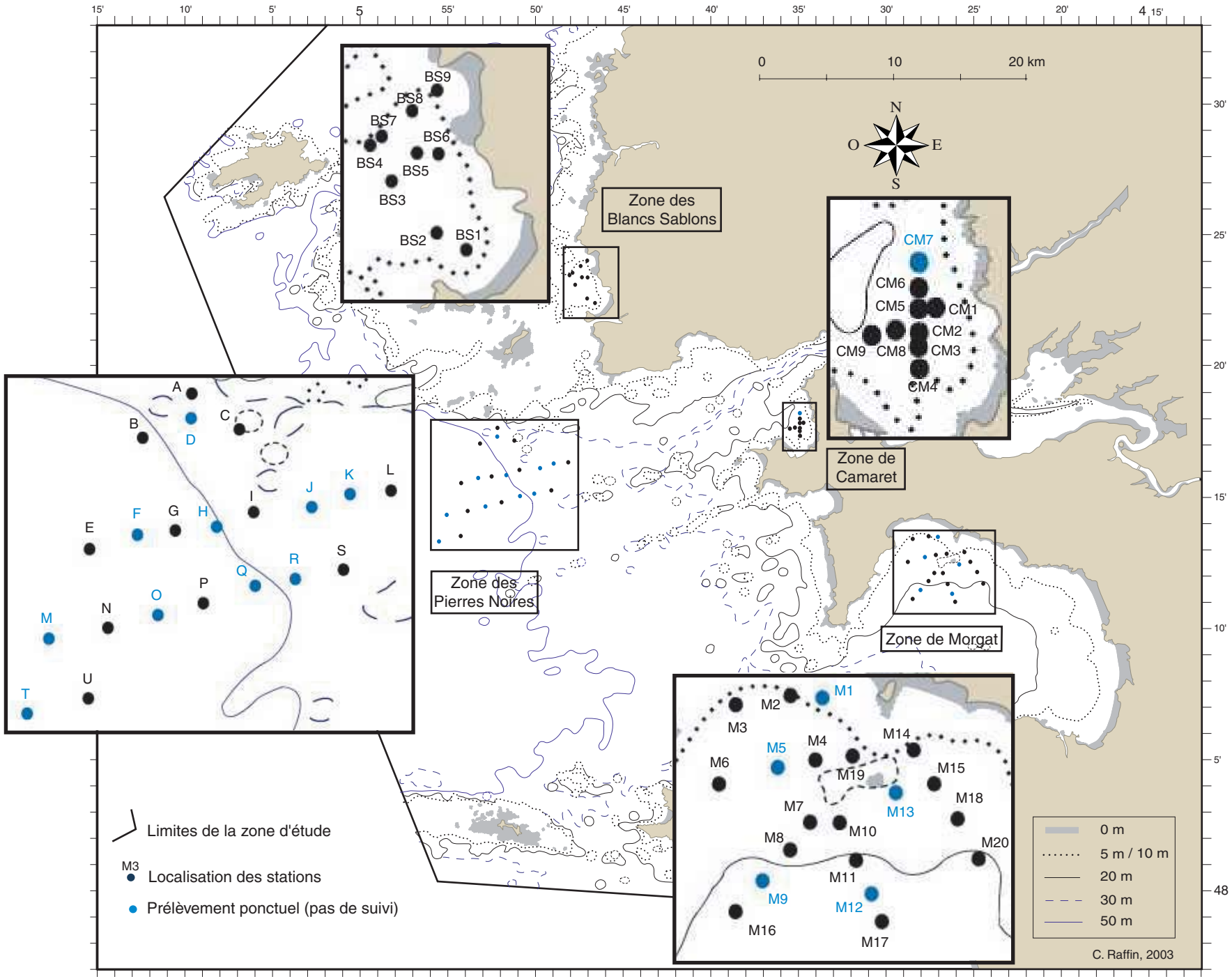


Figure II-3 : Localisation des stations échantillonnées à la benne Smith dans les zones suivies à échelle fine.

Le tableau II-1 résume les périodes échantillonnées pour chaque zone de suivi choisie, ainsi que le nombre de stations et d'analyses granulométriques effectuées pour chaque période.

Tableau II-1 : Périodes d'échantillonnage des quatre zones de suivi choisies, nombre de stations échantillonnées et nombre d'analyses granulométriques correspondant (entre parenthèses). Les stations non échantillonnées sont précisées en gris.

	Blancs Sablons	**Morgat**	**Pierres Noires**	**Camaret**
***Nombre de stations suivies* :**	***9***	***15***	***11***	***8***
Juin 1999	9 (9)	19 (24)	9 (10) A, B, C, E, G, I, L	
Septembre 1999			9 (11) B, I, N, P, S, U	7 (8) CM4
Novembre 1999	9 (10)	15 (17)	11 (12)	8 (12)
Avril 2000	9 (11)	11 (12) M7, M11, M16, M17	11 (11)	8 (8)
Juin 2000			11 (13)	7 (18) CM6
Septembre 2000	9 (11)	15 (19)		

II-2-3- Analyse des sédiments

Les caractéristiques du sédiment (nature, richesse en cavités et en éléments nutritifs) influencent directement la nature et la densité des espèces animales qui y vivent. La composition granulométrique et le contenu du sédiment en matière organique sont donc des caractères physico-chimiques et biologiques de base qu'il est essentiel de connaître pour l'étude des peuplements d'animaux benthiques.

II-2-3-1- Granulométrie et définition des types sédimentaires

Cette analyse permet de quantifier chaque classe de taille des particules composant un échantillon du sédiment. Chaque échantillon peut être caractérisé par sa médiane, définie par la taille des grains correspondant à 50 % du poids cumulé. En sédimentologie classique, les sédiments sont définis et nommés d'après la valeur de ce critère, selon une classification définissant sept catégories (tableau II-2).

Tableau II-2 : Valeurs des médianes caractérisant les principales fractions sédimentaires. D'après Pinot (1994).

Pélites	**Sablons**	**Sables fins**	**Sables moyens**	**Sables grossiers**	**Graviers**	**Galets**
< 50 µm	50 à 125 µm	125 à 315 µm	315 à 800 µm	800 à 2 000 µm	2 000 à 20 000 µm	> 20 000µm

Un indice de tri peut également être associé au sédiment : il est basé sur le rapport entre la taille du grain tel que 25 % du sédiment soit constitué de grains plus gros (premier quartile Q_1) et la taille du grain tel que 75 % du sédiment soit constitué de grains plus gros (troisième quartile Q_3). Il s'agit de l'indice de Trask, calculé selon la formule : So = $\sqrt{Q_1 / Q_3}$.

Il diminue quand la qualité du tri augmente : une valeur de 1-1,5 correspond donc à un sédiment très bien classé.

À partir de nombreuses données granulométriques récoltées dans le golfe de Gascogne, Chassé et Glémarec (1976b) ont mis au point une méthode permettant de différencier quatre séries continues en fonction de la nature siliceuse ou organogène du sédiment et de la présence éventuelle de pélites, dans le cadre de la dynamique sédimentaire. Ces séries sont elles-mêmes découpées en plusieurs sous-ensembles, dont les coupures sont placées en fonction de la composition de leur peuplement animal (figure II-4).

- La première série, appelée "série relique", correspond à des sédiments hétérogènes qui proviendraient de l'altération des roches sur place ou d'une convergence granulométrique de particules en zone d'hydrodynamisme très instable. Deux sous-ensembles sont distingués, selon la taille de la médiane : les graviers sableux hétérogènes (GH) et les sables hétérogènes envasés (SHV).

- La deuxième série "résiduelle puis de charriage" caractérise des mélanges sédimentaires qui résultent directement de l'hydrodynamisme. Deux sous-ensembles sont distingués. Les graviers propres (GP) qui peuvent être légèrement envasés (moins de 10 % de pélites : GV) sont laissés sur place par les courants, tandis que les sables grossiers (SG) sont charriés sur le fond par les courants puis déposés dans les zones où les courants s'affaiblissent. Le deuxième sous-ensemble correspond aux sables fins (SF) bien triés et peu envasés (toujours moins de 10 %).

- La troisième série "biogène" est différenciée lorsque plus de la moitié du sédiment est constitué de débris calcaires biogènes : coquilles brisées de lamellibranches, articles de bryozoaires, spicules d'ophiures, tests d'oursins, *etc*...Les sédiments de cette série sont plus hétérogènes puisque les particules ne sont pas forcément triées en fonction de l'hydrodynamisme : en effet, les fragments calcaires peuvent être formés sur place ou tomber des roches, formant des accumulations se superposant à tout type de sédiment auquel ils se mélangent ensuite. Les sous-ensembles correspondent, selon la médiane, à des graviers (GRB), des sables grossiers (SGB) ou des sables fins biogènes (SFB).

- Une catégorie hydride est représentée par les sables dunaires (DU), dont la signification est plus géomorphologique que granulométrique. Ils forment des bancs épais, très instables, très bien triés, qui peuvent correspondre à des sables grossiers ou fins.

- La dernière série "de décantation pélitique" concerne des sédiments occupant des cuvettes de décantation, localisées en position abritée (fond de baie ou d'estuaire, en arrière d'obstacles). Trois sous-ensembles sont distingués : les sables fins envasés (FV), les vases sableuses (VS) et les vases franches (VV).

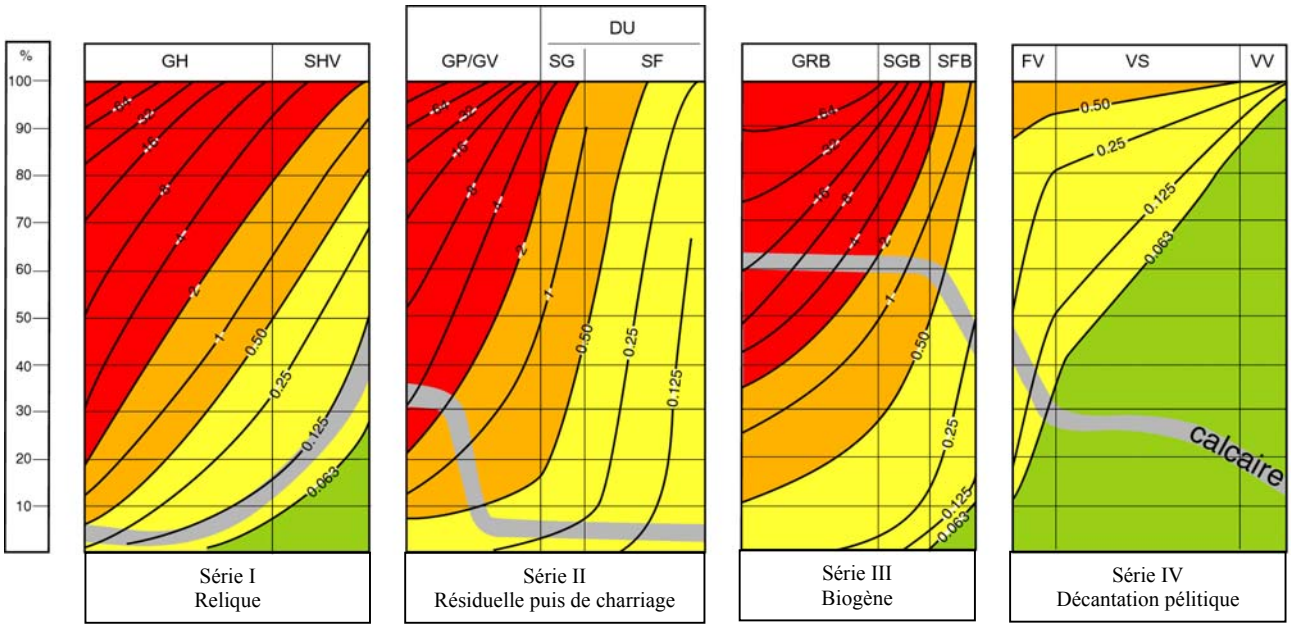


Figure II-4 : Expression synthétique de la granulométrie des divers fonds sédimentaires, en pourcentages du poids sec total de l'échantillon de sédiment (modifié d'après Chassé et Glémarec, 1976b). La part de graviers (< 2 000 µm) présents dans le mélange sédimentaire est représentée en rouge, celle des sables grossiers (2 000 à 500 µm) en orange, celle des sables fins (500 à 63 µm) en jaune et celle des pélites (< 63 µm) en vert.
GH = graviers sableux hétérogènes, SHV = sables hétérogènes envasés, GP/GV = graviers propres/graviers envasés, SG = sables grossiers, SF = sables fins, DU = sables dunaires, GRB = graviers biogènes, SGB = sables grossiers biogènes, SFB = sables fins biogènes, FV = sables fins envasés, VS = vases sableuses, VV = vases franches.

Certaines catégories sont très proches : il suffit par exemple d'un apport de sables pour transformer des graviers propres en graviers sableux hétérogènes. Les sédiments biogènes ne sont distingués de leurs homologues siliceux que par la nature des particules qui les constituent et, le plus souvent, par une plus forte hétérogénéité. Il est donc nécessaire de procéder à un dosage calcimétrique pour les différencier, ce qui n'a pu être fait lors de cette étude.

Les catégories ainsi définies diffèrent donc de celles de la sédimentologie classique puisque les coupures entre elles sont choisies en fonction d'une signification biologique réelle. Mais elles sont beaucoup plus adaptées à la description des peuplements benthiques et seront utilisées dans la suite de ces travaux. En particulier, les pélites, dont le taux est un facteur tout à fait déterminant pour la présence de l'endofaune, sont définies comme la fraction inférieure à 63 µm alors que les sédimentologues les définissent comme inférieures à 50 µm (*cf.* tableau I-2).

Les échantillons de sédiment sont séchés à l'étuve (60° C pendant au moins 48 h), pesés puis passés sur une série de 16 tamis (AFNOR, maille carrée de 10 000 µm à 63 µm). Chaque fraction est pesée. Une courbe granulométrique, représentant les pourcentages cumulés de chaque fraction sédimentaire, est construite pour chaque échantillon. Le pourcentage de pélites est représenté sur le même graphe, sous forme d'un histogramme dans lequel les réplicats figurent sur la même barre verticale.

La distribution des données de pourcentage de pélites n'étant pas normale, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis est utilisé pour déterminer si leurs variations saisonnnières sont significatives (intervalle de confiance de 95 %).

II-2-3-2- Contenu en matière organique totale (M.O.)

Cette caractéristique du sédiment est un indicateur de la quantité de matière assimilable par certains animaux. En effet, la matière organique totale est constituée par des bactéries, du microphytobenthos, de la méiofaune et des micro-détritus dégradés, ainsi que d'une partie organique constitutive du sédiment lui-même, dont l'importance va dépendre de sa nature. Le dosage de la matière organique du sédiment donne donc une indication de la richesse en M.O. sans renseigner sur la quantité directement assimilable par les animaux. Elle influence la répartition des espèces qui ont des affinités et des besoins très différents pour ce paramètre de leur environnement.

Les échantillons destinés à l'analyse du contenu en matière organique sont séchés à l'étuve (60° C pendant au moins 48 h), pesés, brûlés à 450° C pendant 4 h 30 puis à nouveau pesés : la différence de poids correspond au contenu en matière organique total, exprimé en pourcentage de poids sec de sédiment.

L'origine des variations est précisée grâce à des analyses de variance à deux facteurs (ANOVA multifacteurs) couplées à des tests à rangs multiples (Student-Newman-Keuls - *LS Mean*), réalisées sur les valeurs de M.O. de toutes les stations à toutes les dates pour chacune des zones. Les facteurs testés seront donc d'une part la station (variabilité spatiale à échelle fine), d'autre part la saison (dates différentes). Ces analyses statistiques sont réalisées sur le logiciel *Statgraphics Plus for Windows*.

II-3- RÉSULTATS DES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

II-3-1- Définition des catégories sédimentaires

Au total, 323 analyses granulométriques, correspondant à 106 échantillons de benne Hamon (95 stations) et 216 de benne Smith-Mc Intyre (159 stations), ont été réalisées. Les stations n'ayant pas permis de faire ces analyses présentent un fond de gros cailloutis ou de roche. Les valeurs extrêmes des proportions des fractions sédimentaires sont données dans le tableau II-3.

Tableau II-3 : Proportions extrêmes des fractions sédimentaires rencontrées dans les sédiments de la mer d'Iroise. P = pélites (< 63 µm) ; SF+SM = sables fins et moyens (63 à 500 µm) ; SG = sables grossiers (500 à 2 000 µm) ; GR = graviers (> 2 000 µm).

%	Minimum	Maximum
P	0	46
SF + SM	0	99
SG	0	90
GR	0	96

Les granulométries de la mer d'Iroise couvrent une très large gamme de sédiments, qui sont principalement constitués de sables fins et moyens, de sables grossiers et de graviers. La moitié des analyses ont révélé la présence d'au moins 5 % de graviers et 80,5 % des sédiments avaient moins de 5 % de pélites et ce, quelles que soient la nature du fond et la valeur de la médiane.

La comparaison de la composition des sédiments avec les entités sédimentaires de référence, définies par les travaux de Chassé et Glémarec (1976b, figure II-4), a été entreprise afin de déterminer les catégories sédimentaires représentées en Iroise.

Pour chacune de ces catégories, les valeurs extrêmes des pourcentages de chaque fraction sédimentaire sont résumées dans le tableau II-4, pour les sédiments analysés par Chassé et Glémarec (1976a) et pour ceux de la mer d'Iroise.

Toutes les catégories définies par Chassé et Glémarec ont été rencontrées, sauf les vases franches (VV), puisque l'envasement maximum constaté dans les échantillons ne dépassait nulle part 46 % de pélites. Certaines catégories semblent présenter un faciès envasé, caractérisé par un taux de pélites supérieur au maximum de la catégorie de référence : c'est le cas pour les graviers sableux hétérogènes (GH), les sables grossiers (SG) et les sables grossiers biogènes (SGB).

D'autre part, les proportions de certaines fractions sont légèrement différentes de celles observées dans Chassé et Glémarec pour certaines des catégories. Ainsi, les graviers sableux hétérogènes, les sédiments hétérogènes envasés, les sables grossiers et les sables fins biogènes sont plus riches en graviers. Ceux-ci peuvent même être observés dans des catégories où ils étaient considérés comme absents (sables fins, sables fins vaseux et vases sableuses). Cette représentation des particules de grande taille dans toutes les catégories sédimentaires, y compris les plus fines, est due à la présence de débris coquilliers plus ou moins dégradés. De même, les graviers propres sont plus riches en fractions sableuses, tandis que les sables fins biogènes et fins envasés sont plus riches en sables fins à moyens et moins riches en pélites.

Tableau II-4 : Valeurs extrêmes de chaque fraction constituant les catégories sédimentaires des échantillons de Chassé et Glémarec (1976) (cases blanches) et de la mer d'Iroise (cases bleues). Les faciès envasés sont notés en italiques ; les cases grises représentent des types sédimentaires qui n'ont pas été rencontrés au cours des échantillonnages en Iroise.

	Catégories sédimentaires									
Fractions	**GH**	***GHV***	**SHV**	**GP / GV**	**SG**	***SGV***	**SF**	**GRB**	**SGB**	***SGBV***	**SFB**	**FV**	**VS**	**VV**
P	0-8		8-28	0 / <10	0		0	0	0-2		2-11	10-37	37-85	85-96
	0-9	*15-16*	1-19	0-4 / 8-10	0-3	*11*	0-5	0-3	0-4	*12*	0-6	5-28	45-46	
SF+SM	8-42		42-53	7-18	18-47		47-100	11-28	28-48		48-75	56-78	15-56	4-15
	0-54		44-60	0-24	0-44		60-99	16-25	26-43		52-83	56-97	49	
SG	12-28		18-28	15-62	53-62		0-53	24-35	35-40		15-40	7-12	1-7	1-0
	3-37		11-27	30-77	48-90		0-40	18-41	34-44		6-45	0-13	2-3	
GR	20-80		0-20	20-78	0-20		0	37-65	10-37		0-10	0	0	0
	30-96		8-26	19-66	0-27		0-5	37-60	13-35		2-17	0-6	2-3	

Les catégories sédimentaires définissant finalement les échantillons de l'Iroise sont donc légèrement différentes de celles de référence. Les catégories sédimentaires évoquées pour la suite de ces travaux seront donc celles définies dans le tableau II-4. La classification finalement appliquée est homogène pour l'ensemble des échantillons analysés et constitue une nouvelle référence pour la mer d'Iroise.

II-3-2- Couverture sédimentaire à l'échelle de l'Iroise

Dans cette partie sont prises en compte les analyses correspondant aux 95 stations de sédiments meubles échantillonnées à l'échelle de l'Iroise.

Les résultats de la classification des sédiments dans les catégories sédimentaires sont résumés dans le tableau II-5, qui peuvent alors être comparées aux catégories annoncées dans les travaux antérieurs disponibles, synthétisées dans la carte sédimentaire de Le Berre (1999).

Globalement, à peine 40 % des types sédimentaires ont confirmé les informations connues. Plus de 55 % des types sédimentaires observés étaient différents de ceux attendus (indiqués dans des cartes ou dans la bibliographie) et environ 5 % des échantillons concernaient des stations situées dans des zones où aucune donnée sédimentaire n'était disponible.

Cependant, la définition des sédiments biogènes donnée par Le Berre (1999), d'après Chassé et Glémarec (1976b), ne correspond pas exactement à celle retenue pour cette étude. Pour ces auteurs, une catégorie sédimentaire donnée (sables fins, grossiers ou graviers propres) est biogène dès lors que les sédiments considérés contiennent plus de 50 % d'éléments calcaires ($CaCO_3$). Or, le pourcentage de $CaCO_3$ n'ayant pas pu être dosé au cours de cette étude, seules les proportions des quatre fractions sédimentaires (pélites, sables fins et moyens, sables grossiers et graviers) ont été prises en compte pour la définition des types sédimentaires (*cf.* § II-2-3-1). En conséquence, certains sédiments sont considérés comme semblables bien qu'ils soient qualifiés de biogènes dans les références disponibles et non dans les échantillons réalisés au cours de ces travaux. La catégorie des sables dunaires (DU) a été considérée comme équivalente à des sables grossiers ou des sables fins, conformément à la définition de cette catégorie hybride. L'observation de graviers d'un type différent de celui attendu (GP, GH) n'a pas non plus été prise en compte, étant donné le peu de différence existant entre ces deux catégories. Enfin, l'observation de cailloutis au lieu de roche -ou l'inverse- n'est pas non plus considérée comme une différence, ceci à cause de l'inadaptation de l'engin de prélèvement.

Tableau II-5 : Types sédimentaires observés et comparaison avec les données de référence. Les types sédimentaires donnés dans la colonne "attendu" correspondent à ce qu'on peut lire sur la figure I-7.

		Type sédimentaire	
Station	**Prof (m)**	attendu	observé
1	85	C (20-80%)	C
2	70	SGB	SG
3	95	GRB	R
4	36	SF	SFB
5	73	GHV	R
6	90	GRB	SG
7	71	C (>80%)	GH
8	23	SF	R
9	52	GHV	GP
10	54	GP	GH
11	74	GRB	SG/SGB/GH
12	52	GHV	GP
13	45	GRB	SG
14	20	GHV	SF
15	38	SF	SF
16	74	GP	GP
17	85	?	R
18	62	?	R
19	25	GRB	GRB (maerl)
20	46	SFB	SFB
21	15-20	GRB	GRB
22	35-40	GRB	GRB (maerl)
23	20	GRB	GRB (maerl)
24	21	GRB	SGB
25	63	?	SG
26	30	GP	R
27	10	GHV	SF
28	15	C (>80%)	GP
29	16	C (20-80%)	C
30	18	GP	R
31	32	GHV	R
32	51	SGB	GH
33	71,5	?	R
34	58	GRB	R
34bis	55	GRB	GP
35	36,8	SFB	SG
36	45,8	C (>80%)	SG
37	49	R	R
37bis	54,4	SFB	SF
38	34	SGB	SG
39	22	GHV	C
40	15	GHV	GP
41	25	GP	R
42	12	DU	SG
43	13	SF	SFB/SF
44	32	GRB	SFB/GH
45	38	GRB/SF	SF
46	13	GHV	GH
47	15	SGB	R
48	16	SF	FV
49	22	SHV	SF
50	25	SGB	SF
51	25	C (>80%)	C
52	25	SF	SF
53	35	SF	SF
54	44	FVB	SF
55	65	GRB	GP
56	77	?	SFB
57	72	SFB	SFB
58	65	SFB	SFB
59	70	FVB	SF
60	43	GRB	GH/SF
61	34	C (>80%)	C
62	19	GP	GH
62bis	28	C (>80%)	R
63	11,6	SF	SG
64	12	C (>80%)	R
65	33	C (>80%)	R
66	43,5	GP	R
67	66	GRB	C
68	75	SGB	C
69	80	SGB	SF
70	64	GRB	GH
71	46	SGB	C
72	43	C (>80%)	R
73	16	GP	C
74	25	C (>80%)	R
75	27	GP	GH
76	30	R	C
77	40	SGB	R
78	48	GHV	GH
79	50	GRB	R

		Type sédimentaire	
Station	**Prof (m)**	attendu	observé
80	56	R	R
81	80	GRB	GP
82	68	C (>80%)	SG
83	49	SGB	GP
84	55	GP	C
85	48	SF	SF
86	43	GP	GH
87	44	SGB	GRB
88	37	SGB	GP
89	37,5	GP	FV
90	35	GP	SHV
91	26	SG	C
91bis	28	SG	SGB/SF
92	17	DU	SG
93	25,8	FV	FV
94	13	SF	FV
95	20,8	VV	FV
96	11,1	SF	FV
97	14	SF	SF
98	23	GHV	SHV
99	22	SG	SF
100	34	GRV	GP
101	21,5	DU	SF
102	34	SG	R
103	38	GRB	GP
104	40	GRB	GP
105	44	R/GRB	GH
106	35	SGB	GP
107	30	GRB	R
108	25	GRB	SG
109	19	SGB	R
110	10	SGB	SG
111	52	GHV	GP
112	9	SGB	SG
113	37	GP	SG
114	35	SGB	SF
115	18	SF	SF
116	90	?	GP
117	19	GRBV	GP
118	19	GHV/SGB	SFB
119	19	SGB	FV
120	30	GHV	SG/GH
121	40	GP	R
122	68	SFB	SF
123	17	SF	FV
124	77	C (>80%)	GH
125	78	SFB	SFB
126	73	?	SF
127	66	SFB	SF
128	77	SFB	SG
129	82	SFB	SF
130	86	GRB	GP
131	82	GRB	GH/GP
132	78	GRB	GP/SF

Abréviations :

R	roche
C	cailloutis
GP	graviers propres
GRV	graviers envasés
GH	graviers sableux hétérogènes
GHV	graviers hétérogènes envasés
GRB	graviers biogènes
GRBV	graviers biogènes envasés
SG	sables grossiers
SGB	sables grossiers biogènes
SHV	sables hétérogènes envasés
SM	sables moyens
DU	sables dunaires
SF	sables fins
FV	sables fins envasés
SFB	sables fins biogènes
FVB	sables fins biogènes envasés
VS	vases sableuses
VV	vases
	sédiments semblables
	sédiments différents
?	pas de donnée antérieure

À cette échelle globale de l'Iroise, toutes les catégories sédimentaires ont été rencontrées à l'exception des fonds de vases et de vases sableuses (figure II-5). Plus d'un quart des stations étaient finalement situées sur des zones de roche et de cailloutis. Les catégories envasées (sables fins et hétérogènes envasés) représentent à peine 7 % de l'ensemble des échantillons.

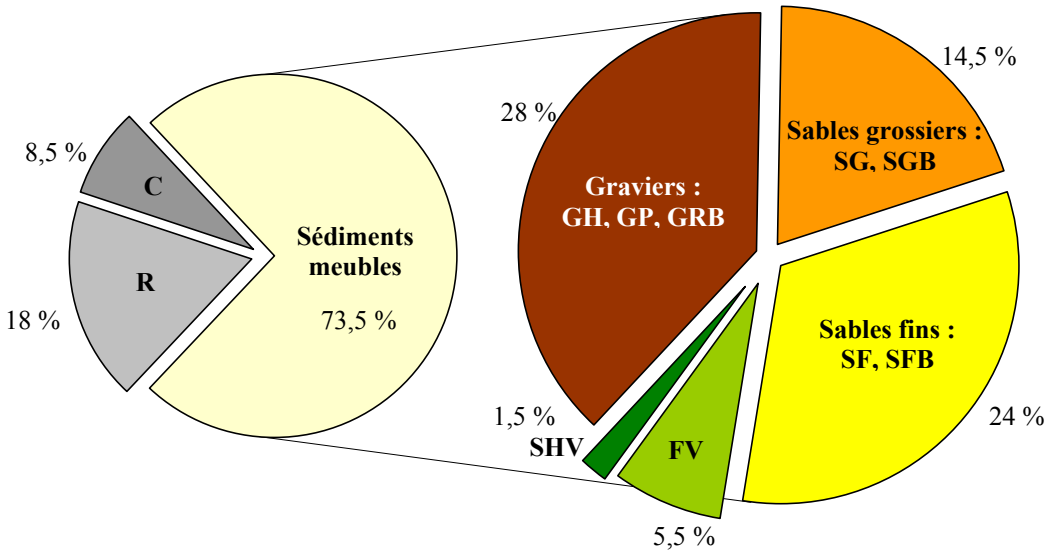


Figure II-5 : Pourcentages des grands types sédimentaires rencontrés (R = roche ; C = cailloutis ; GP = graviers propres ; GH = graviers sableux hétérogènes ; GRB = graviers biogènes ; SG = sables grossiers ; SGB = sables grossiers biogènes ; SF = sables fins ; SFB = sables fins biogènes ; FV = sables fins envasés ; SHV = sables hétérogènes envasés).

Les stations sont placées sur un diagramme triangulaire basé sur le modèle de Shepard (1954) dont les axes ont été choisis de façon à disperser au maximum le nuage de points (figure II-6) : ces trois axes correspondent à ceux utilisés par Toulemont (1972) pour les sédiments des baies de Douarnenez et d'Audierne. Elles se répartissent en deux grands groupes. Les graviers (GH, GP et GRB) sont tous dans une zone située à gauche de la limite des 25 % de graviers ; les sables fins et grossiers sont presque tous regroupés à droite de cette ligne.

À l'intérieur de chacun de ces groupes, les stations sont dispersées selon les deux autres axes : les sables fins envasés sont rassemblés dans l'angle inférieur droit du triangle, les stations de sables fins s'étirent en deçà des 40 % de sables grossiers, et les sables fins biogènes entre les 15 et les 50 % de ce même axe.

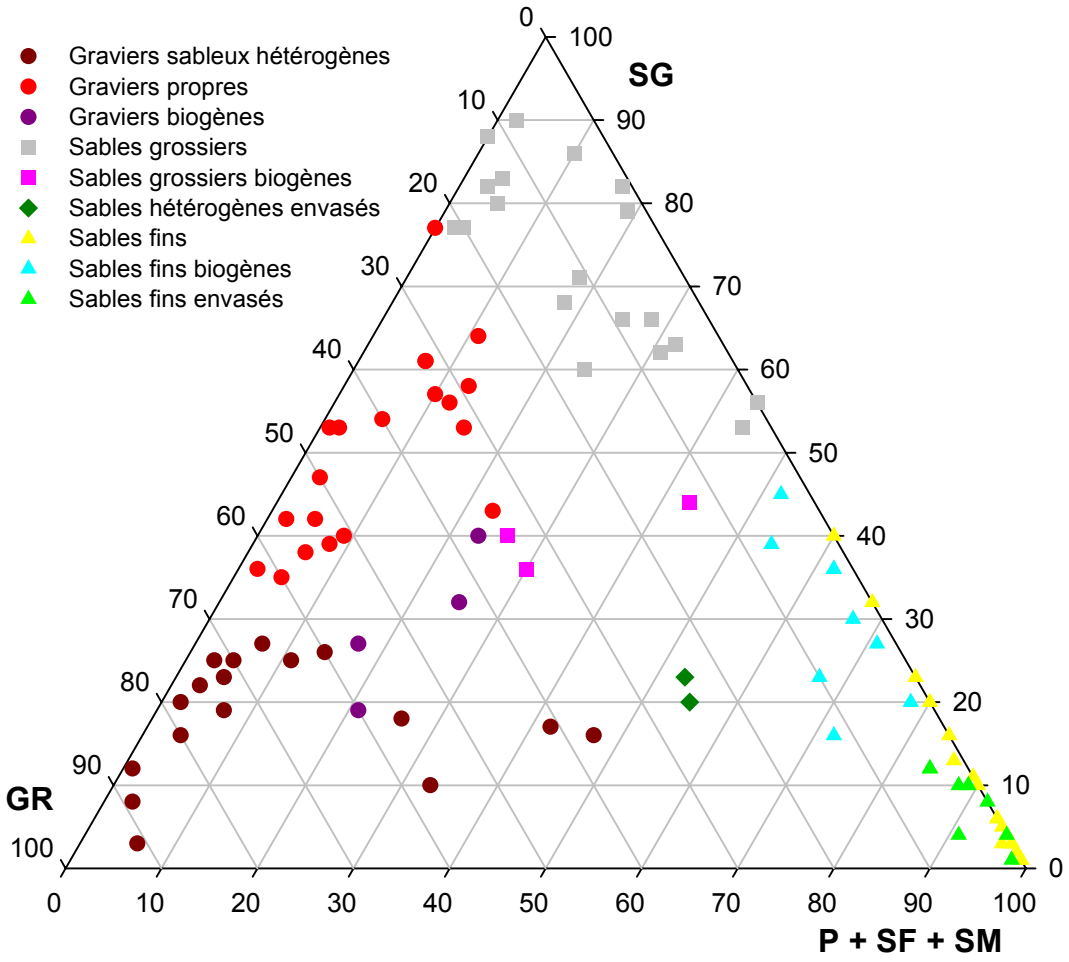


Figure II-6 : Répartition des stations sur un diagramme triangulaire de Shepard, les trois fractions représentées sur les axes sont les pélites, sables fins et sables moyens (P+SF+SM, axes obliques vers la droite), les sables grossiers (SG, axes horizontaux) et les graviers (GR, axes obliques vers la gauche).

Les sables grossiers occupent la deuxième moitié de l'axe, de 50 à 100 %.

Les sables hétérogènes envasés, les sables grossiers biogènes et les graviers biogènes sont situés dans des zones proches du centre du triangle, témoignant de la grande hétérogénéité des particules sédimentaires qui les constituent.

Les graviers sableux hétérogènes comportent jusqu'à 50 % de particules fines, et la majorité des échantillons est composée d'au moins 60 % et même jusqu'à 91 % de graviers. Les graviers propres ne comportent que 0 à 25 % de sédiments fins et 25 à 65 % de graviers, mais beaucoup plus de sables grossiers (35 à 75 %) ; les deux groupes se succèdent le long de l'axe de gauche (axe des graviers). Le nuage de graviers sableux hétérogènes est cependant très étendu en bas à gauche du triangle, à cause de cette fraction fine de proportion très variable.

Une carte de synthèse de la répartition des fonds sédimentaires en mer d'Iroise a été réalisée à partir des résultats obtenus à cette échelle d'étude (figure II-7). La carte réalisée par Le Berre en 1999 a été utilisée comme fond sur lequel ont été effectuées les nombreuses modifications induites par les résultats de notre étude.

Les plus faibles profondeurs sont occupées principalement par des fonds rocheux. Ils correspondent pour le nord au secteur immergé de la plate-forme de l'archipel de Molène et constituent au sud la chaussée de Sein. D'autres fonds rocheux sont aussi présents à de plus grandes profondeurs : un vaste plateau prolonge la presqu'île de Crozon au centre de la zone d'étude dans une direction ouest-sud-ouest, et un autre est situé au nord d'Ouessant, il s'étend au large jusqu'à des profondeurs de 100 mètres. De plus, la mer d'Iroise présente de nombreuses têtes de roches plus ou moins isolées et éparpillées sur toute la zone.

Les zones de cailloutis et les fonds de graviers se trouvent au milieu des fonds rocheux ou les prolongent. Une immense nappe de graviers propres s'étend entre le plateau rocheux central et la chaussée de Sein, jusqu'à une profondeur de plus de quatre-vingt-dix mètres, tandis qu'une zone de graviers sableux hétérogènes s'étire le long de la bordure nord de ce plateau central, jusqu'à l'entrée du goulet de la rade de Brest.

Deux autres nappes de graviers sont situées le long de la bordure sud-ouest du plateau de Molène (graviers propres) et au nord de cette zone, entre les chenaux du Four et de la Helle (graviers sableux hétérogènes), au milieu de sables grossiers. Au sud de Sein, les dépressions

entre les roches sont également couvertes de graviers sableux hétérogènes et de graviers propres.

Quelques fonds de graviers biogènes et de sables grossiers biogènes s'observent par endroit. Trois zones ont été constatées. Une petite tache de sables grossiers biogènes entoure l'extrémité d'un banc de sables grossiers au sud du Cap de la Chèvre (baie de Douarnenez) : des graviers biogènes constitués essentiellement de morceaux de coquilles vides d'amandes de mer (*Glycymeris glycymeris*) s'accumulent au pied d'une autre dune au nord de la pointe du Raz, sa forme digitée étant sans doute due aux courants circulant à cet endroit ; enfin, au sein d'une zone de chenaux étroits entre les roches à l'ouest des Blancs Sablons, alternent les trois types de sédiments biogènes, composés en grande partie de maërl vivant et mort plus ou moins érodé.

Les fonds de sables grossiers occupent de vastes surfaces dans le nord de la mer d'Iroise, sous forme de hauts fonds et de champs de rides, qui peuvent être considérés comme des dunes hydrauliques générées par les courants de marée (Hinschberger, 1962, 1970) et sont donc liés à des conditions hydrauliques particulières. Plusieurs zones bordent le plateau de Molène et une autre prolonge la plage de sables fins de l'anse de Dinan, entre le plateau rocheux central et la pointe de Pen-Hir.

En dehors de ces deux ensembles, il existe en Iroise d'autres bancs de sable de taille plus modeste, notamment une dune en forme de croissant le long de la côte interne du Cap de la Chèvre, une deuxième au large, de forme allongée, au milieu d'une zone de sables fins biogènes, et enfin quelques taches au nord et au sud du Raz de Sein. Le plus souvent, ces sables sont extrêmement calcaires : ils sont constitués d'éléments biogènes, débris d'organismes végétaux (algues calcaires) et animaux (coquilles, squelettes de bryozoaires, spicules d'ophiures, tests d'oursins, tubes de serpulidés, *etc*...) formés sur place ou amenés des zones de roche, où se développe la faune épigée (Boillot, 1960). Ce sont des sables dunaires (planche 1).

Les sables fins constituent le revêtement de la plupart des plages du nord de la mer d'Iroise (anses des Blancs Sablons, de Berthaume, de Camaret, de Dinan, etc…). Mais les plus grandes étendues de sables fins de l'Iroise sont celles de la baie de Douarnenez, puisqu'elles en occupent tout le sud et l'est ainsi qu'une bande au nord-ouest, le long de la côte est du Cap de la Chèvre. Ces sables sont plutôt siliceux (Hinschberger, 1970).

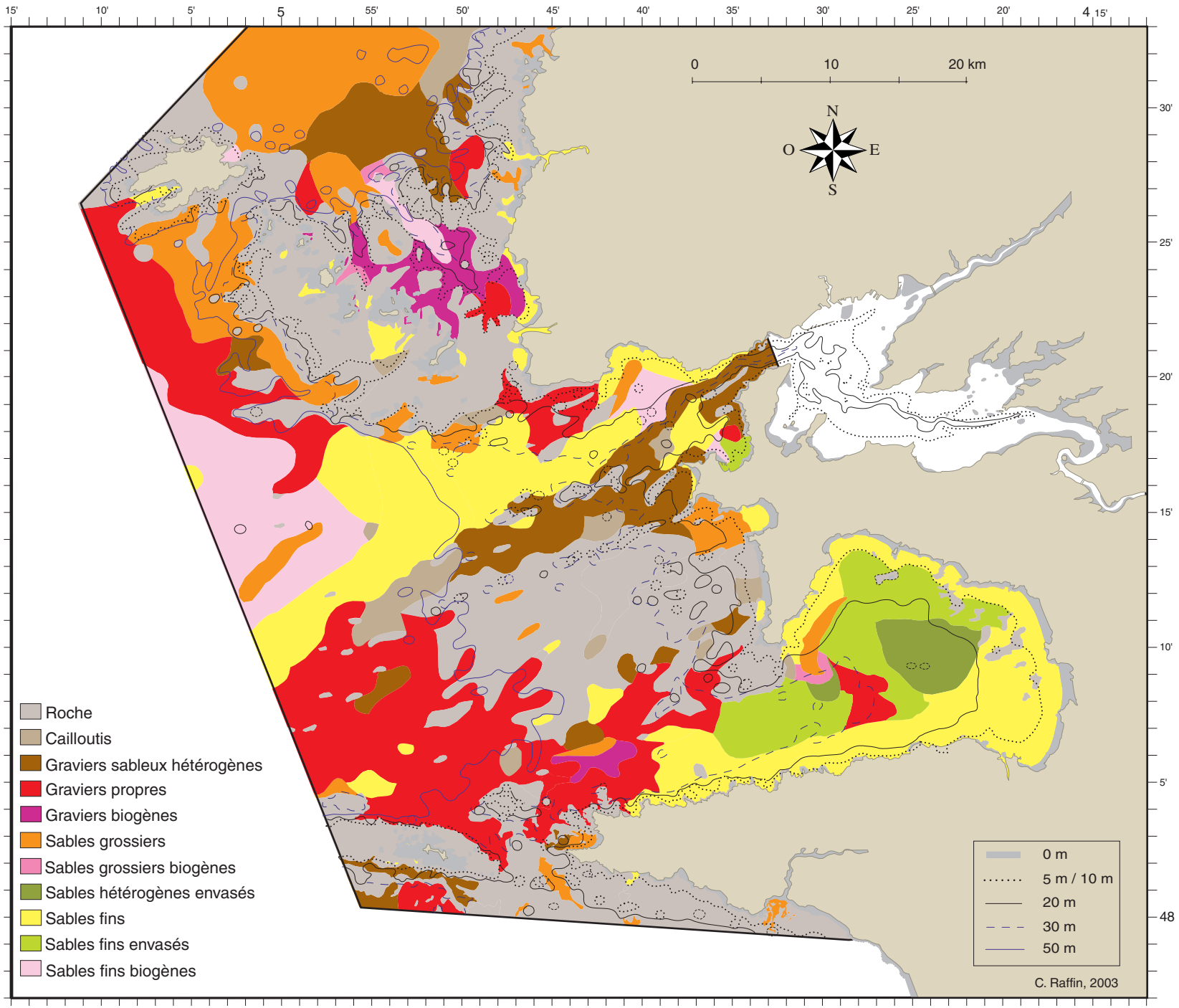


Figure II-7: Cartographie des types sédimentaires pour les fonds de la mer d'Iroise.

Une autre langue de sables fins s'étire transversalement du prolongement du goulet de Brest jusqu'aux points les plus à l'ouest de la zone, englobant le secteur du sud des Pierres Noires. D'autres petites zones se situent au nord-ouest de la Chaussée de Sein, dans le plateau rocheux profond central et autour des îles de l'archipel de Molène, ainsi que dans la baie de Lampaul à Ouessant (planche 2).

Les fonds de sables fins biogènes coquilliers occupent le large, entre les zones de graviers et les sables fins, ainsi que le sud de l'anse de Berthaume. Une langue prolonge également la zone de maërl au nord-est des îles de l'archipel de Molène, constituée cette fois-ci de très fins débris de maërl.

Les fonds de sables fins envasés, très représentés en rade de Brest (Hily, 1984), ont été assez peu rencontrés en mer d'Iroise lors des échantillonnages à cette échelle d'étude. En effet, ils occupent presque exclusivement le nord de la baie de Douarnenez, secteur le plus abrité, ainsi que l'ouest et l'entrée de la baie. L'anse de Camaret est également largement envasée (2 à 6 % de pélites observés). La zone de sables fins envasés décrite par Hinschberger (1970) dans le sud des Pierres Noires n'a pas été détectée à cette échelle : d'après les analyses sédimentaires réalisées, les sédiments de cette vaste zone en forme de triangle sont en réalité des sables fins.

Enfin, seules deux zones de sables hétérogènes envasés ont été observées, au centre et à l'ouest de la baie de Douarnenez.

Ces résultats, notamment pour les catégories sédimentaires envasées, doivent être complétés par les analyses réalisées sur les échantillons prélevés à la benne Smith. La prise en compte des résultats obtenus à une échelle plus fine est en effet indispensable pour compléter la connaissance de la couverture sédimentaire de la mer d'Iroise.

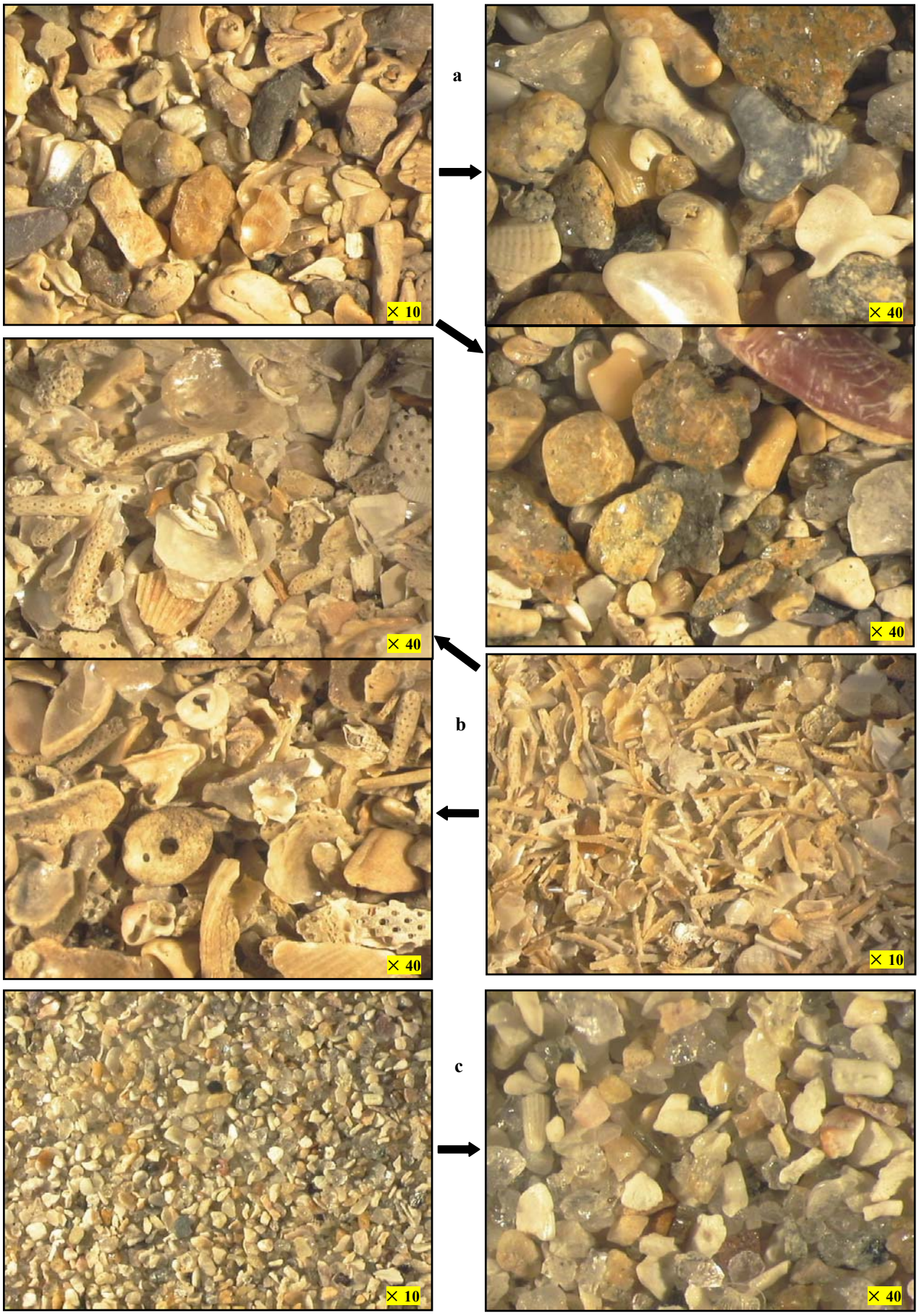


Planche 1 : Vues d'ensemble (× 10) et détails (× 40) de sédiments grossiers coquilliers : graviers (a), sables grossiers (b) et moyens (c). Les éléments biogènes sont bien visibles sur les forts grossissements : coquilles de gastéropodes et de bivalves, maërl, tests d'oursins, articles de *Cellaria* (bryozoaire) et spicules érodés ; quelques particules d'origine minérale sont également reconnaissables dans les mélanges. Photos C. Raffin.

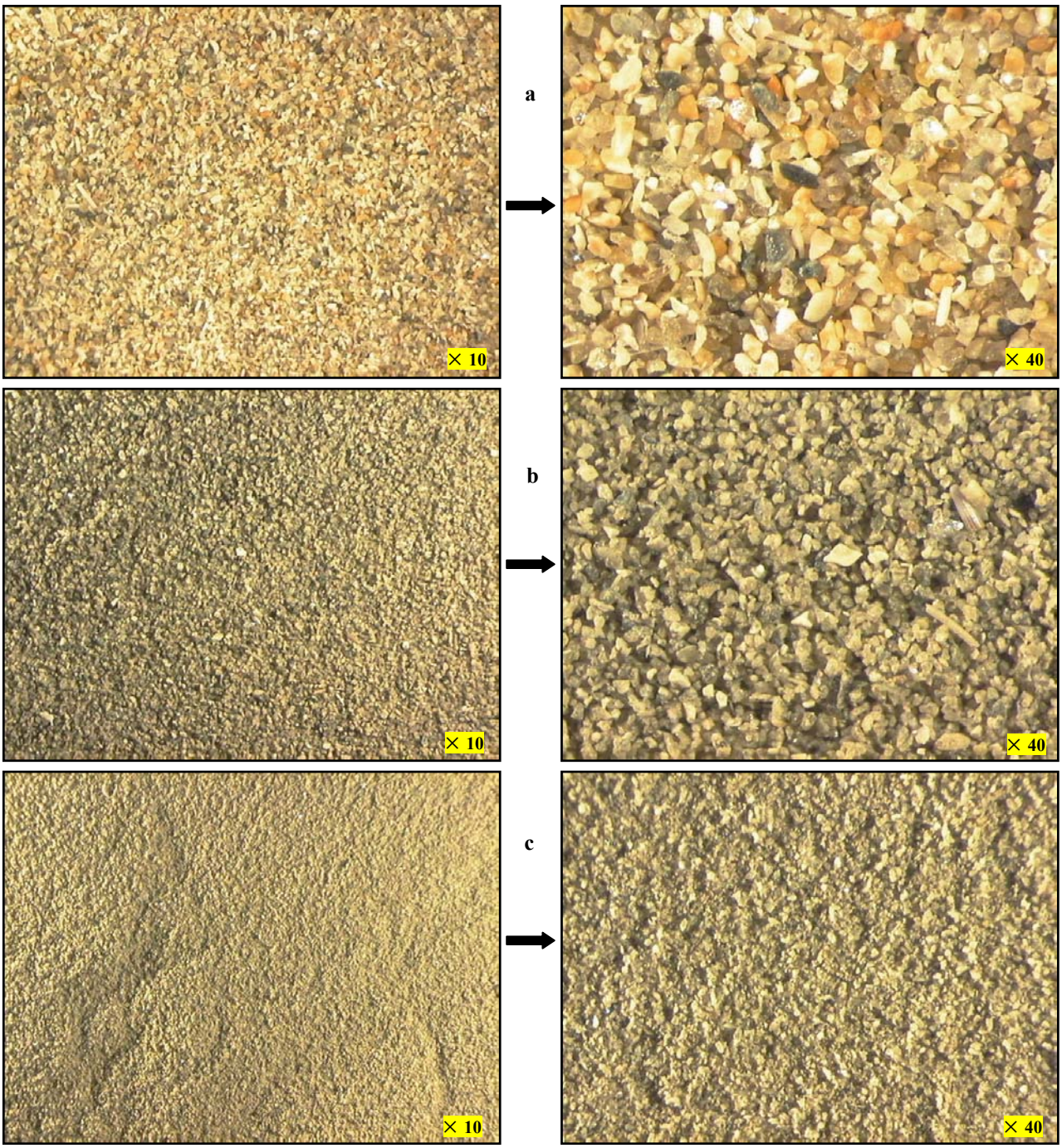


Planche 2 : Vues d'ensemble (× 10) et détails (× 40) de sables fins à très fins. Plus les éléments sont réduits en particules de très petite taille, plus il devient difficile de distinguer leur origine, coquillière ou minérale. Lorsque la taille des grains est suffisante (a) ou l'échelle d'observation plus fine (b et c, × 40), l'hétérogénéité de certains mélanges peut cependant être constatée. Photos C. Raffin.

II-3-3- Variabilité spatiale à échelle fine

La variabilité spatiale des sédiments est évaluée grâce aux différences relevées entre les caractéristiques sédimentaires des stations d'une zone, échantillonnée sur plusieurs saisons ; dans ce contexte, des différences entre les réplicats d'une même station indiquent une fluctuation à une échelle encore plus fine.

Cette approche se base sur le fait que trois causes peuvent être à l'origine de modifications sédimentaires. La première serait l'existence d'une hétérogénéité du sédiment à une échelle très fine, ce qui causerait des différences entre les réplicats d'une station, même faits coup sur coup ; la deuxième serait une variabilité dans le temps, avec des profils granulométriques homogènes pour une même station mais variant selon les périodes d'échantillonnage ; enfin, la troisième consisterait en une action simultanée de ces deux phénomènes. Les courbes granulométriques et les types sédimentaires de tous les échantillons d'une station sont donc détaillés, par réplicat et par saison, avec les pourcentages de pélites correspondant.

II-3-3-1- L'anse des Blancs Sablons

Variabilité spatiale

La forme des courbes granulométriques montre que les sédiments sont constitués d'un mélange de sables grossiers et de graviers en proportions variables, ainsi que de sables fins dans les stations BS1 et BS7 (figure II-18. Les types sédimentaires représentés sont majoritairement des graviers sableux hétérogènes et des graviers propres, avec un réplicat nettement envasé (GV) en BS3 (avril 1999) et un de graviers biogènes en BS9 (septembre 2000). Des sables sont aussi présents, biogènes en BS7 et fins et grossiers en BS1. Cette station se différencie nettement, avec une majorité de réplicats de sables fins : BS1 est en fait située en limite de la zone de graviers, avec des sables fins constituant le début de la plage, au sud de la zone.

Seule la station BS6 a le même type sédimentaire à chaque saison. Les sédiments échantillonnés en BS2, BS3, BS5, BS8 et BS9 sont toujours des graviers, mais évoluent entre les graviers propres et les graviers sableux hétérogènes selon les périodes. Ces deux types sédimentaires sont très proches, ils ne sont différenciés que par une plus grande proportion de

sables dans les GH. Cette augmentation des sables se produit en été pour BS3 et BS5, en été et en automne pour BS2 et BS4, au printemps et en été pour BS7 et BS8 et en automne pour BS9.

Les graviers prélevés en BS3 étaient envasés en avril 2000, contrairement à ceux des autres périodes. En BS7, des sables fins biogènes ont été prélevés en novembre 1999, alors que les échantillons des autres périodes étaient des graviers hétérogènes.

Dans la station BS1, huit réplicats ont été analysés pour quatre périodes : cinq correspondent à des sables fins, un à des sables grossiers (novembre 1999) et deux à des graviers propres (avril 2000). Dans ces deux cas, un échantillon de sables fins a été prélevé à la même période.

Une telle variation de type sédimentaire entre les réplicats de BS1 ou les périodes de BS7 semble due davantage à une hétérogénéité du fond à petite échelle qu'à une modification réelle de la couverture sédimentaire, d'autant plus que ces changements ne sont pas confirmés par les prélèvements réalisés lors des campagnes précédente et suivante

Évolution du taux de pélites

Les sédiments de cette zone sont très peu envasés, avec des taux de pélites rarement supérieurs à 3 %. Les valeurs maximales sont observées dans les graviers envasés de BS3, avec 10 % en avril 2000.

L'évolution du taux de pélites dans les sédiments semble indiquer un léger envasement au cours des campagnes, avec des valeurs souvent supérieures en avril et septembre 2000. Le test de Kruskal-Wallis rejette l'hypothèse d'homogénéité des moyennes, les valeurs de 1999 (juin et novembre) étant significativement plus faibles que celles de 2000 (avril et septembre). Ces valeurs restent cependant très faibles (souvent inférieures à 2 %), la station BS3 étant, en une occasion, la seule exception.

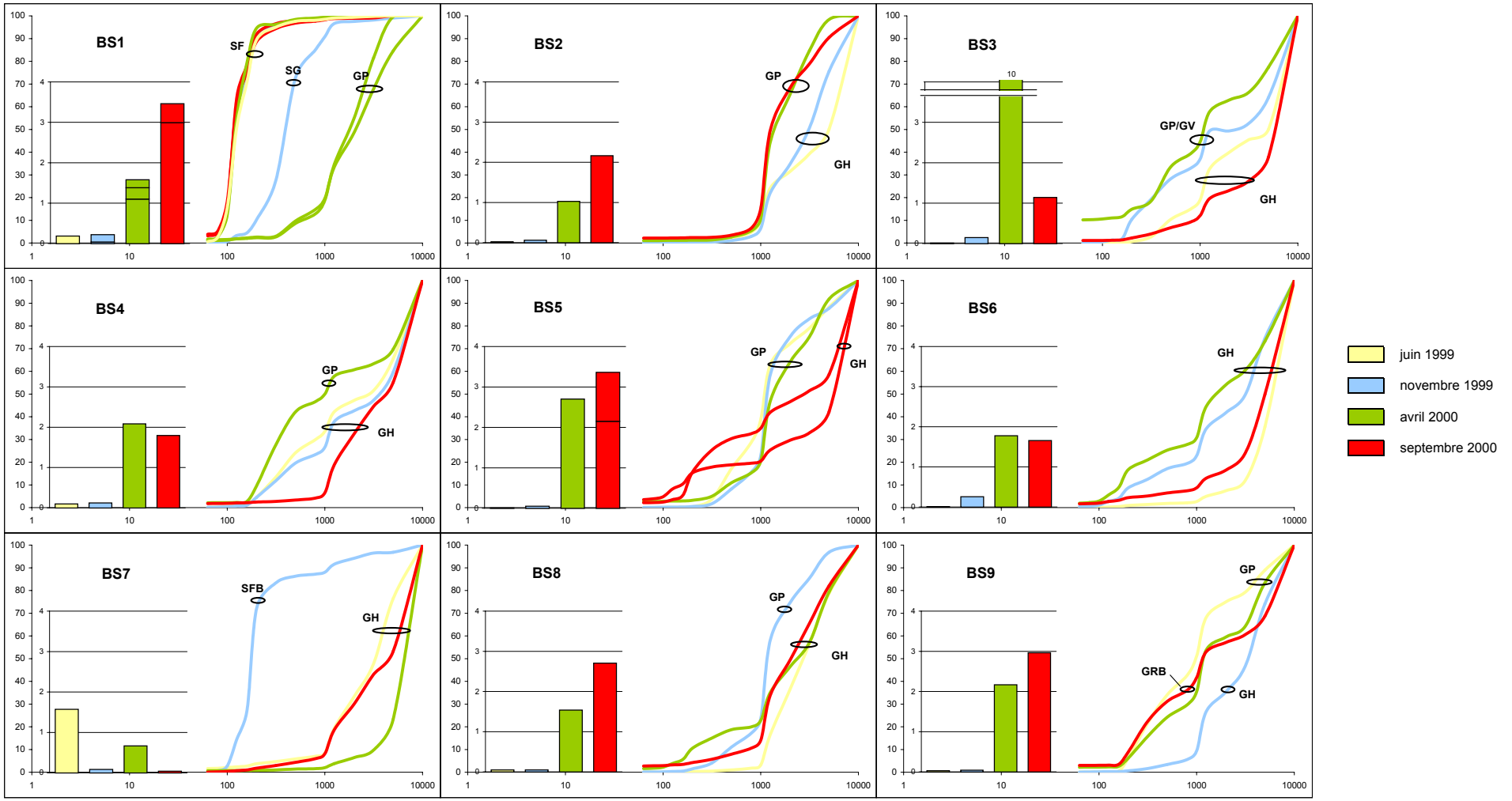


Figure II-8 : Courbes granulométriques, histogrammes des
d'échantillonnage ; les réplicats d'une saison sont indiqués sur la même barre de l'histogramme des taux de pélites.

II-3-3-2- Morgat

Variabilité spatiale

Des sables fins bien triés, parfois envasés, sont présents dans toutes les stations (figure II-9). Mais d'autres types sédimentaires ont également été échantillonnés dans une partie d'entre elles : sables fins biogènes, graviers (propres, sableux hétérogènes ou biogènes), sédiments hétérogènes envasés ou encore sables grossiers et grossiers biogènes envasés. Les sédiments de la station M19 sont les plus hétérogènes : des réplicats différents y ont été prélevés à chaque saison et tous les types sédimentaires cités y sont représentés.

Les stations M2 et M3 sont situées sur des sables fins envasés, M6 et M8 sur des sables fins, tandis que M11, M16 et M17 sont sur des sables fins en juin 1999, qui deviennent envasés lors des échantillonnages suivants.

Dans les huit autres stations, les types sédimentaires varient au cours des échantillonnages. Dans les stations M4 et M15, des sables fins plus ou moins envasés sont observés à chaque saison. Les types sédimentaires plus grossiers observés à l'une des dates sont donc dus à la variabilité spatiale des sédiments. Les sédiments des stations M7 et M10 sont des graviers hétérogènes, sauf pour une date où des sables fins et fins biogènes ont été prélevés. Les sédiments des trois autres stations (M14, M19 et M20) sont plutôt des sables fins ou fins envasés, avec des types sédimentaires plus grossiers à une date au moins.

Évolution du taux de pélites

Les pourcentages de pélites varient, sur l'ensemble de la zone, entre 0 et près de 25 %. Les taux moyens maximaux sont observés aux stations M18 (14 %) et M20 (17 %).

Les valeurs de pourcentages de pélites de juin 1999 sont significativement plus faibles que celles de novembre 1999, avril et septembre 2000 (test de Kruskal-Wallis, IC = 95 %) : un envasement de l'ensemble de la zone s'est donc produit après le premier échantillonnage.

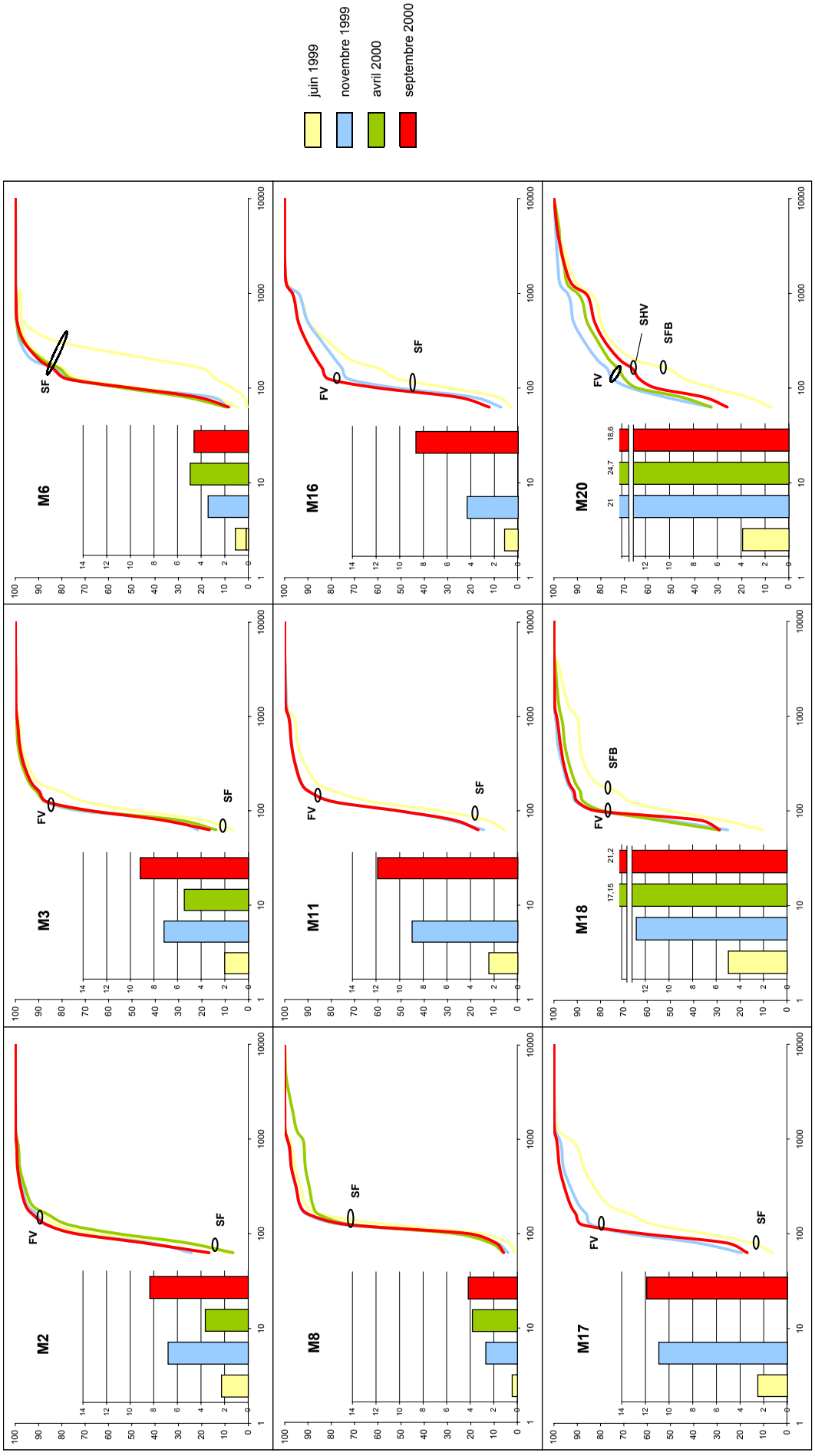
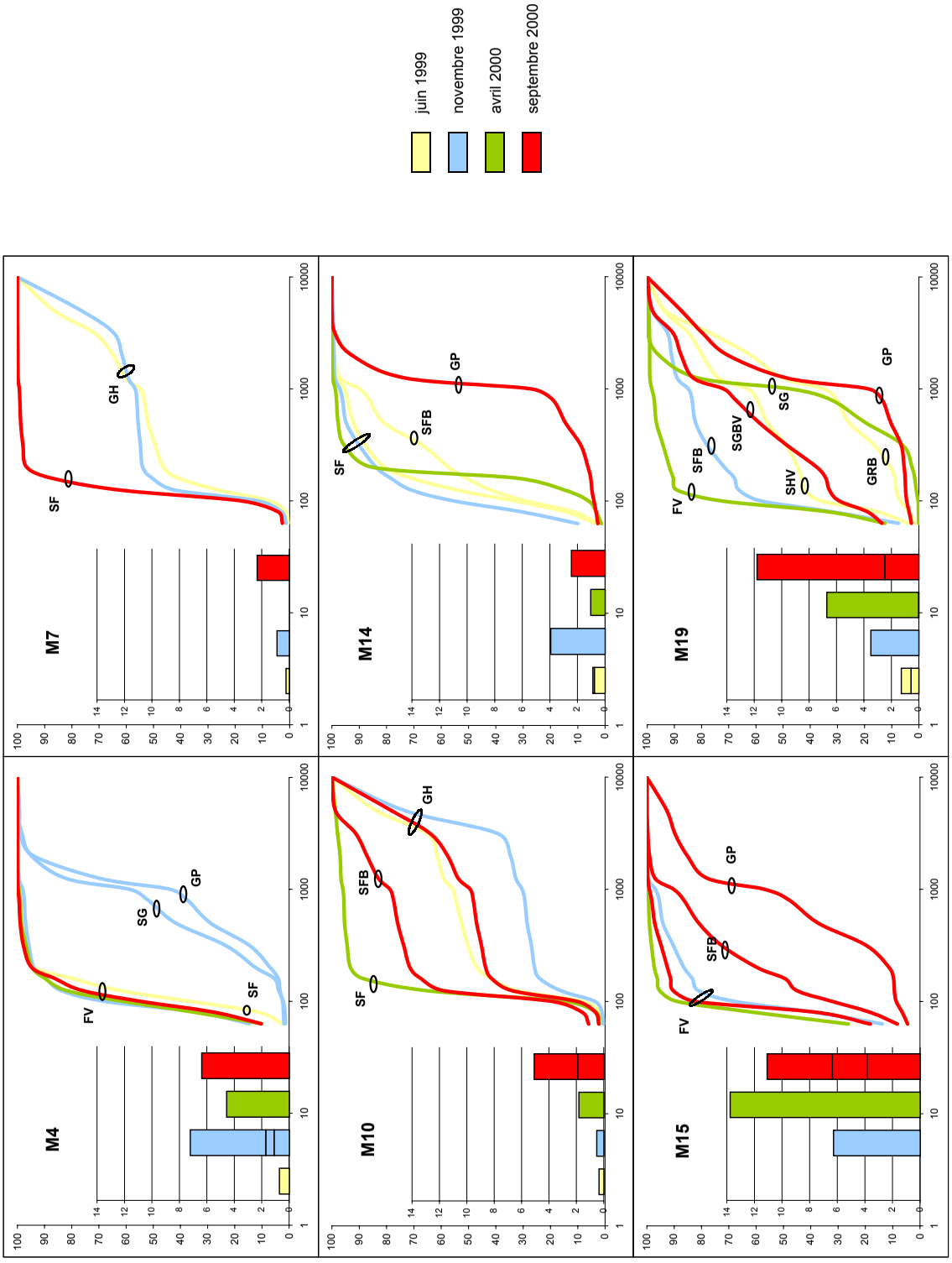


Figure II-9 : Courbes granulométriques, histogrammes des pourcentages de pélites et types sédimentaires dans les stations de la z
les réplicats d'une saison sont indiqués sur la même barre de l'histogramme des taux de pélites.



Suite de la figure II-9.

II-3-3-3- Les Pierres Noires

Variabilité spatiale

Les stations de la zone des Pierres Noires sont situées sur des sables fins très bien triés plus ou moins envasés (figure II-10). Des types sédimentaires plus grossiers ont été observés dans trois stations : ce sont des sables grossiers en A, des sables fins biogènes et des sables grossiers envasés en L et des graviers propres en S.

Les types sédimentaires restent constants dans huit des onze stations, avec des sables fins très bien triés dont le pourcentage de pélites est variable, caractérisant des sédiments tour à tour envasés ou propres ; les stations E, P et U sont situées sur les sables les plus régulièrement envasés. Les sédiments des stations A et S sont également des sables fins ou fins envasés, avec en plus un réplicat de sables grossiers (A) ou de graviers propres (S) échantillonné respectivement en juin et septembre 1999. Les sédiments de la stations L se sont révélés être des sables fins biogènes en juin 1999, des sables grossiers envasés ayant également été prélevés en novembre de la même année, en même temps que des sables fins.

Évolution du taux de pélites

Le taux de pélites des sédiments varie entre 0 et plus de 22 %. Son évolution diffère selon les stations : il existe une hétérogénéité spatiale à l'échelle de la zone pour ce paramètre, mais pas au niveau des saisons (pas de différences significatives détectées par le test de Kruskal-Wallis). Si les stations sont testées après avoir été séparées en deux groupes, avec d'un côté les plus envasées (B, N et surtout E, P, U) et de l'autre les moins envasées (A, C, G, I, L, S), aucune évolution significative n'est détectée parmi les stations les plus envasées, tandis que des pourcentages de pélites plus faibles sont observés en avril 2000 pour les stations les moins envasées.

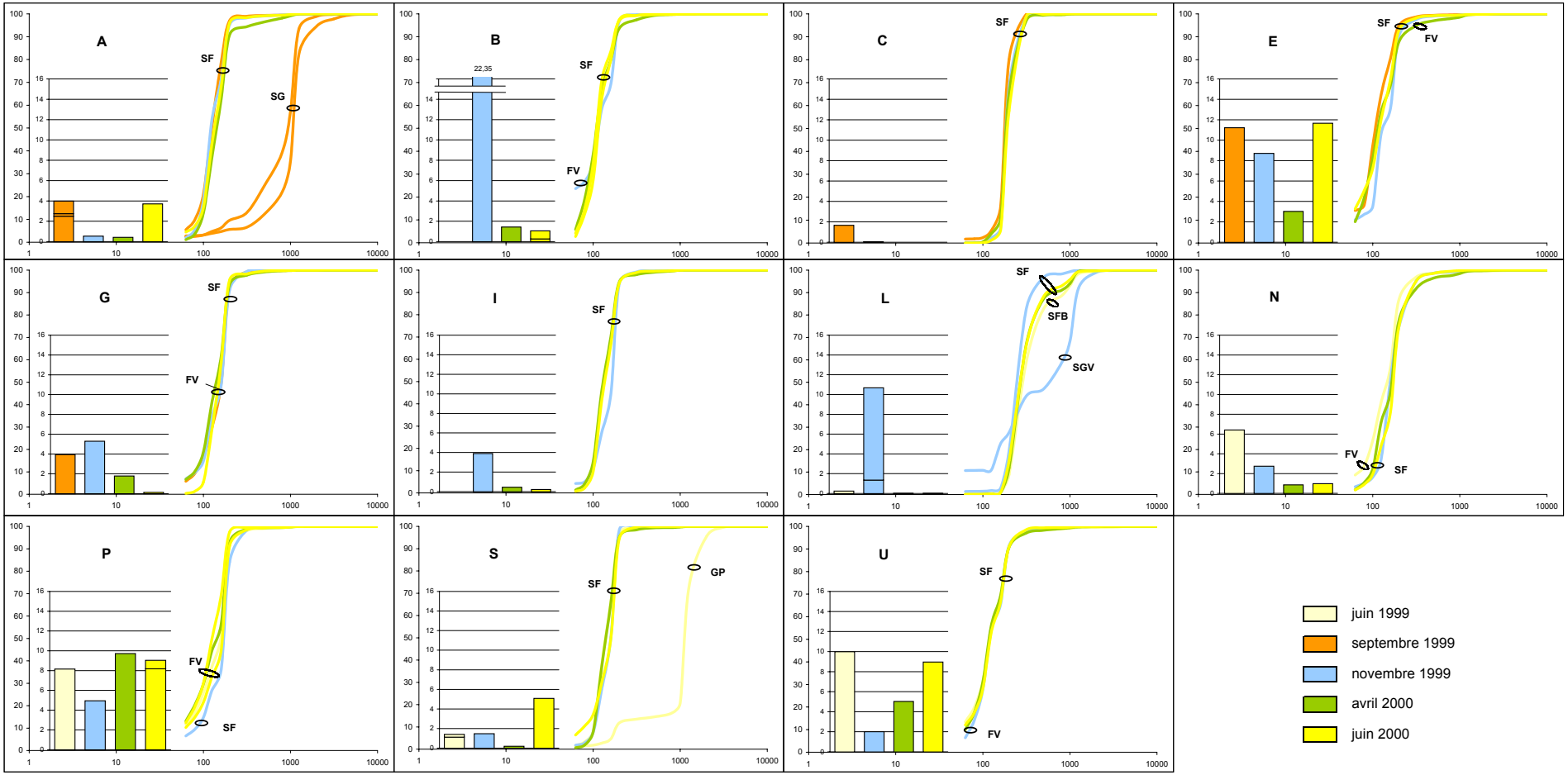


Figure II-10 : Courbes granulométriques, histogrammes des pourcentages de pélites et types sédi
les réplicats d'une saison sont indiqués sur la même barre de l'histogramme des taux de pélites.

II-3-3-4- L'anse de Camaret

Variabilité spatiale

Tous les types sédimentaires sont observés sur l'ensemble des fonds de l'anse de Camaret. Ces sédiments sont le plus souvent hétérogènes et mal triés et plusieurs types sédimentaires sont observés au niveau de chaque station (figure II-11). Ceux de la station CM4 sont nettement plus fins et envasés, avec des vases sableuses observés en plusieurs occasions.

La variabilité des sédiments est très marquée entre les différentes saisons. En fait, ce sont les sédiments de la station CM5 qui varient le moins, avec des graviers propres dans tous les échantillons sauf un en juin 2000, qui comportait plus de sables puisqu'il était constitué de graviers sableux hétérogènes particulièrement envasés (plus de 15% de pélites). Ceux de CM4 alternent entre vases sableuses et sables fins vaseux. Dans les autres stations, les types sédimentaires observés varient des sables fins ou grossiers aux sédiments hétérogènes envasés et aux graviers propres ou aux graviers sableux hétérogènes. La variabilité spatiale des fonds est donc détectée à l'échelle intrastation. Il faut signaler également que parmi les fractions grossières se trouve une proportion importante de maërl plus ou moins érodé.

Évolution du taux de pélites

Le taux de pélites des sédiments n'est jamais inférieur à 1 % et monte jusqu'à plus de 45 % dans les sédiments de la station CM4. Son évolution indique une diminution significative de l'envasement de septembre à novembre (test de Kruskal-Wallis, IC = 95 %), puis une augmentation jusqu'en avril, et souvent même jusqu'en juin.

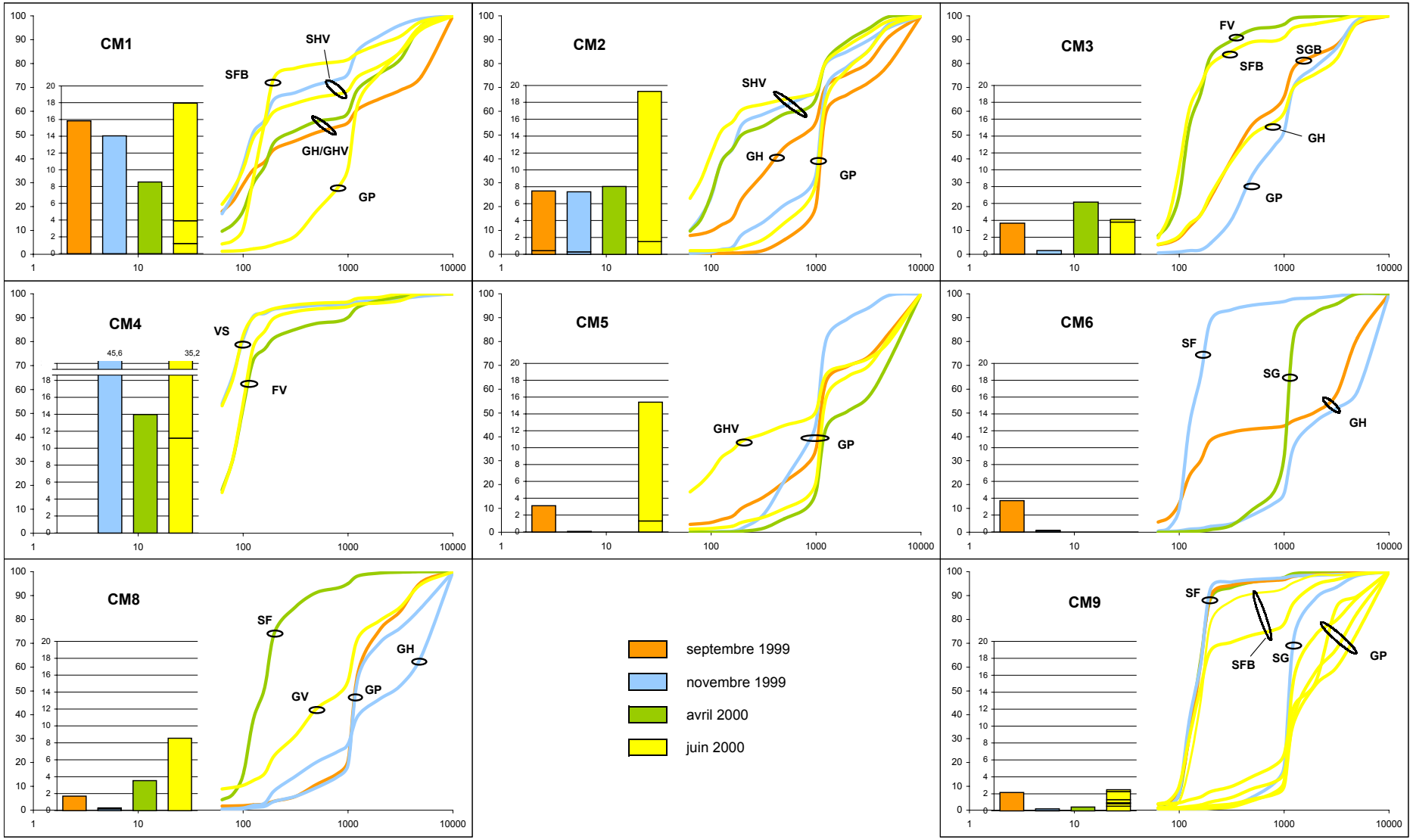


Figure II-11 : Courbes granulométriques, histogrammes des pourcentages de pélites et types s
périodes d'échantillonnage ; les réplicats d'une saison sont indiqués sur la même barre de l'histogramme des taux de pélites.

II-3-4- Discussion

II-3-4-1- Fiabilité des résultats granulométriques

Les engins idéaux pour une étude sédimentaire sont les carottiers d'interface qui sont parfaitement étanches pendant la remontée de l'échantillon et permettent donc la conservation des particules les plus fines. Leur utilisation est optimale dans les sédiments fins. Dans cette étude, l'utilisation de bennes était cependant un bon compromis entre l'efficacité du prélèvement et la diversité des fonds à échantillonner, qui comportaient très souvent beaucoup d'éléments très grossiers (cailloutis et graviers), qui compromettent fréquemment la réussite des carottes de sédiment.

La proportion de sédiments échantillonnés qui se sont révélés d'un type différent de celui attendu est apparemment élevée. Cependant, cette différence peut avoir plusieurs origines. Les informations données par les cartes étant anciennes pour la plupart, certaines ont été acquises par des moyens aujourd'hui abandonnés du fait de leur manque de fiabilité.

C'est le cas de l'utilisation d'un plomb suifé, qui ne prélève que des grains sédimentaires disposés en surface. Cette méthode surestime naturellement la présence de sable par rapport à des sédiments plus grossiers, mais aussi beaucoup plus lourds et moins nombreux à l'échelle de la surface suifée du plomb (Hinschberger, 1970).

L'utilisation d'une drague Rallier pour prélever des échantillons dans un but de cartographie sédimentaire était également une méthode très courante dans les années soixante et soixante-dix. Sa fiabilité a été largement discutée par Hinschberger (1970), compte tenu du risque de mélange de plusieurs fonds dans un même échantillon. Cependant, le fait d'avoir des échantillons mélangés sur quelques dizaines de mètres peut constituer un avantage dans le cas d'une cartographie à petite échelle, puisque ce processus initie la généralisation qui suit inévitablement les observations ponctuelles réalisées. L'utilisation simultanée des indications fournies par un sondeur permet également de se faire une idée de la nature du fond (rocheux, caillouteux ou sableux, ridins, *ripple marks*, *etc…*), ce qui limite tout de même les grosses erreurs d'interprétation des échantillons dragués.

Une autre source d'erreur provient justement de cette généralisation des données ponctuelles nécessaires à la réalisation des cartes. Ces extrapolations peuvent être plus ou

moins réalistes selon les informations complémentaires utiles dont disposent les cartographes. Cette source d'erreur reste cependant très difficile à évaluer.

Enfin il est très probable que la dynamique marine des houles et des courants de marée soit suffisamment active pour permettre le déplacement de sables dans certaines parties de l'Iroise, ce qui modifierait l'aspect des fonds à court terme (accumulations sableuses, mise à nu de roches…). Des mouvements de sédiments saisonniers ont été mis en évidence par Pinot (1974) sur la Grande Vasière (golfe de Gascogne), zone où les courants sont pourtant relativement faibles. L'existence de ces fonds instables était signalée comme tout à fait exceptionnelle en Iroise par Hinschberger (1970) et limitée à des fonds balayés par de forts courants. Son étude montrait au contraire la permanence de la répartition des ensembles sédimentaires, en équilibre avec les conditions de la dynamique marine de l'époque. Rien ne permet cependant d'affirmer que cet équilibre est toujours vérifié à l'heure actuelle. C'est d'ailleurs pour cette raison que les échantillonnages ont été répétés aux mêmes stations sur plusieurs saisons. La variabilité spatiale sédimentaire, particulièrement forte dans les zones choisies, aurait pu finalement masquer d'éventuels mouvements sédimentaires.

II-3-4-2- Analyse de la cartographie sédimentaire fine

L'exploitation de l'ensemble des résultats granulométriques nous a permis de réaliser de nouvelles cartographies des fonds sédimentaires de la mer d'Iroise, en différenciant quatre périodes pour prendre en compte les différences significatives relatives à l'envasement des sédiments. La première période regroupe les mois de juin et septembre 1999, la deuxième correspond à novembre 1999, la troisième à avril 2000 et la quatrième aux mois de juin et septembre 2000. Des détails précisant la diversité des fonds dans les zones des Blancs Sablons, de Morgat, des Pierres Noires et de Camaret ont été reportés sur la carte de répartition des unités sédimentaires obtenue à l'échelle globale de l'Iroise (figures II-12 à II-15).

Les zones de Morgat et des Blancs Sablons connaissent un envasement significatif à partir de novembre 1999 et avril 2000 respectivement. Les zones de Camaret et des Pierres Noires évoluent différemment, avec un dévasement apparemment ponctuel en cours de période, en novembre 1999 et en avril 2000 respectivement.

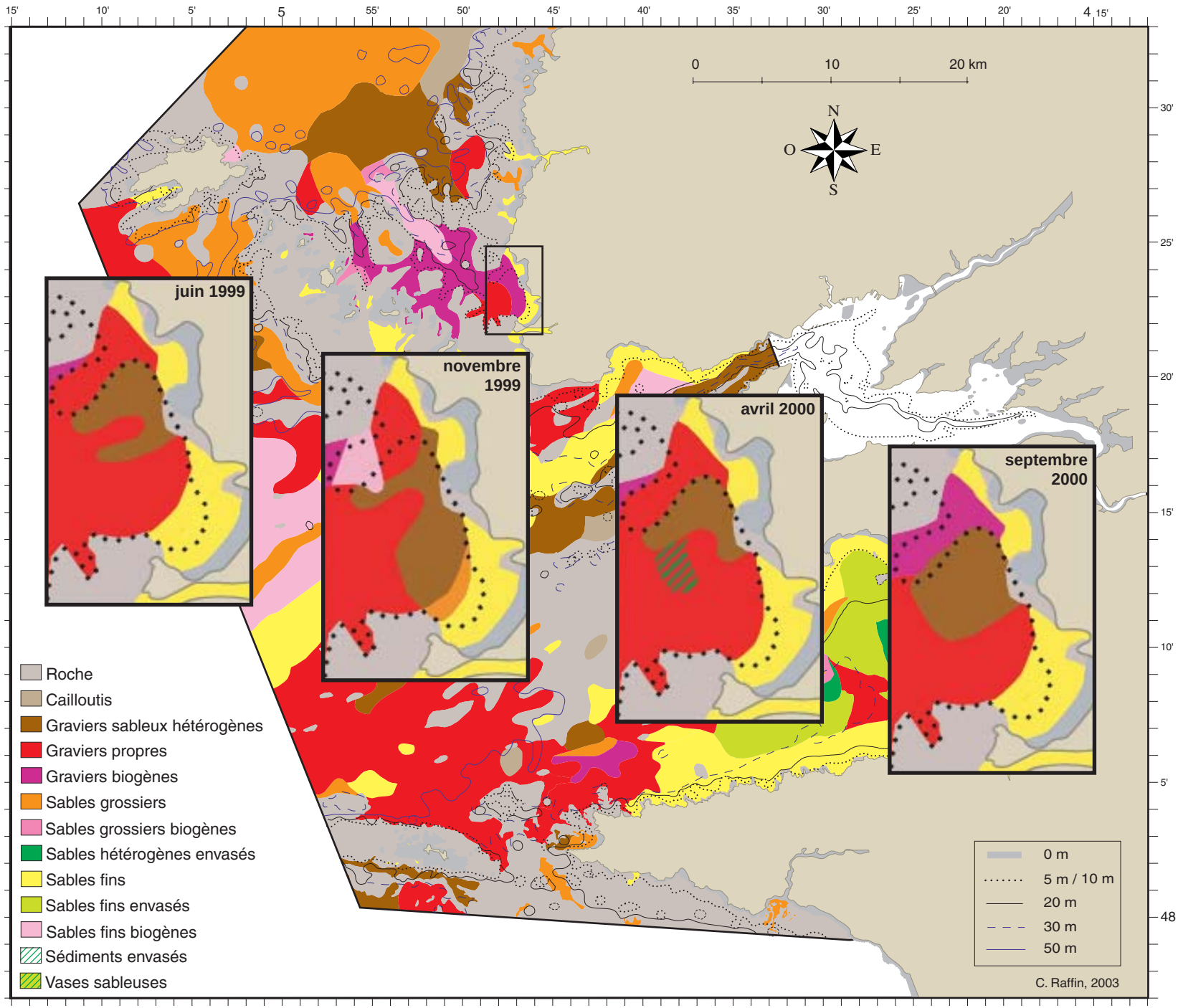


Figure II-12 : Cartographie à échelle fine des types sédimentaires dans l'anse des Blancs Sablons pour juin 1999, novembre 1999, avril 2000 et septembre 2000.

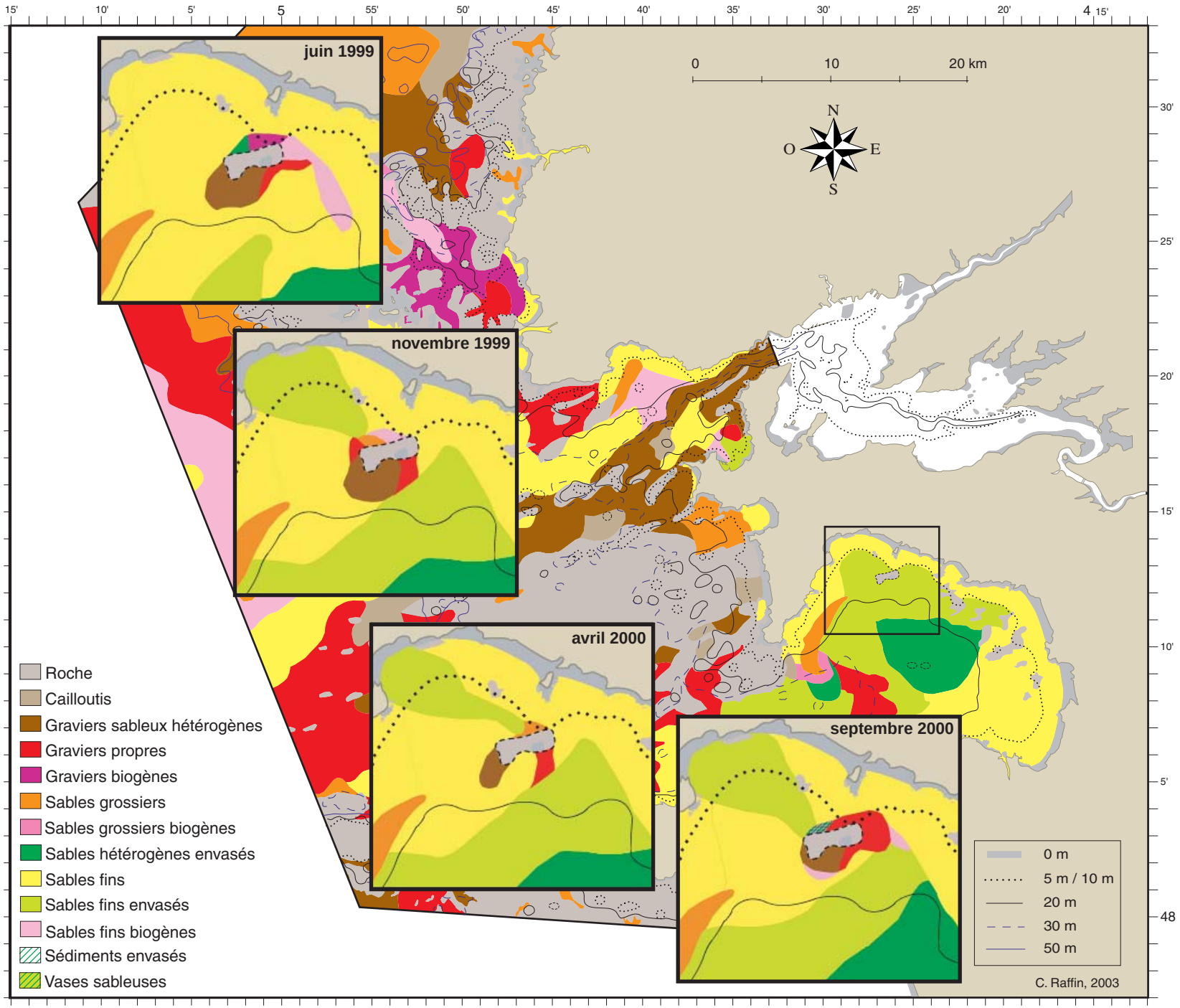


Figure II-13 : Cartographie à échelle fine des types sédimentaires dans la zone de Morgat pour juin 1999, novembre 1999, avril 2000 et septembre 2000.

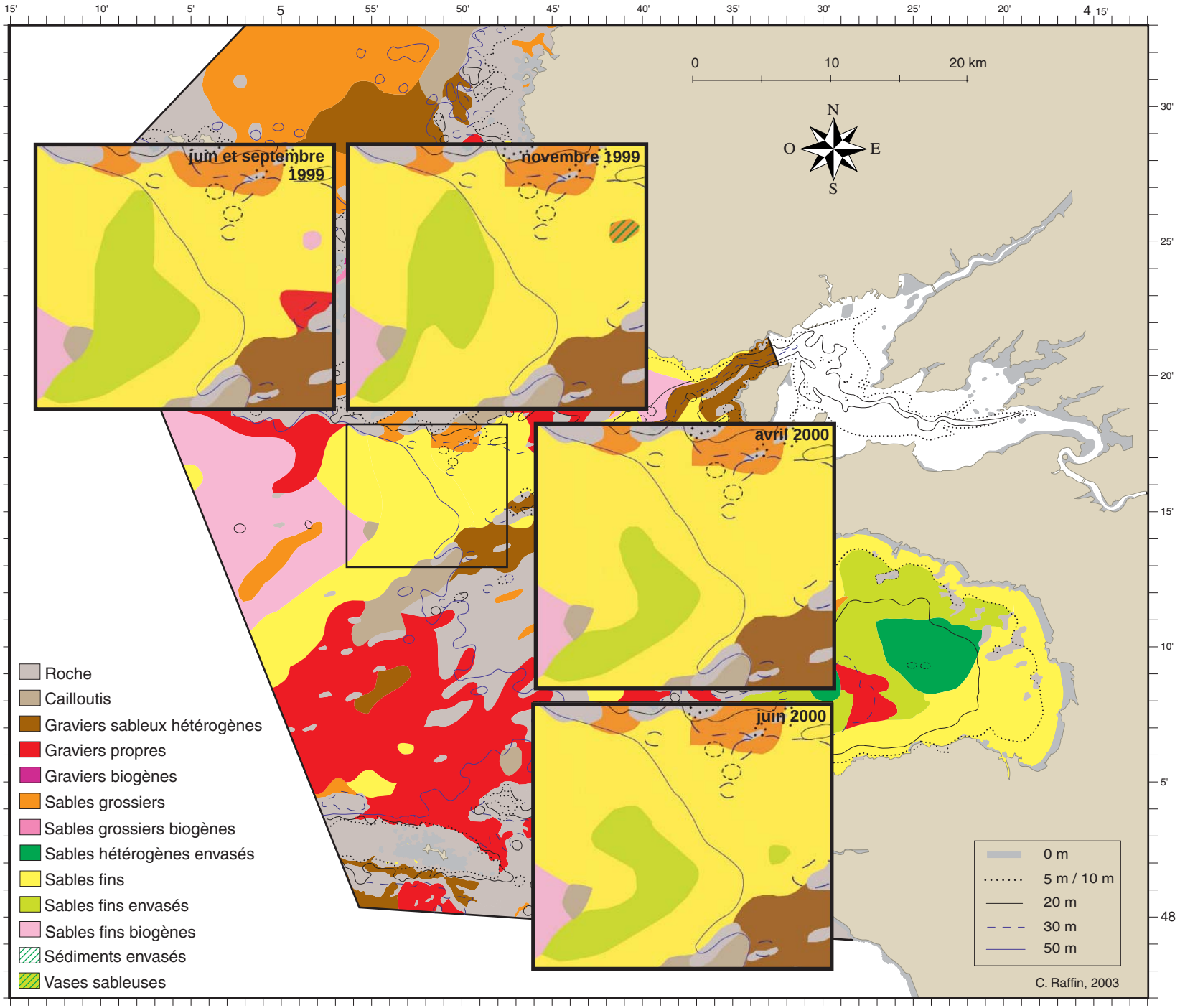


Figure II-14 : Cartographie à échelle fine des types sédimentaires dans la zone des Pierres Noires pour juin et septembre 1999, novembre 1999, avril 2000 et juin 2000.

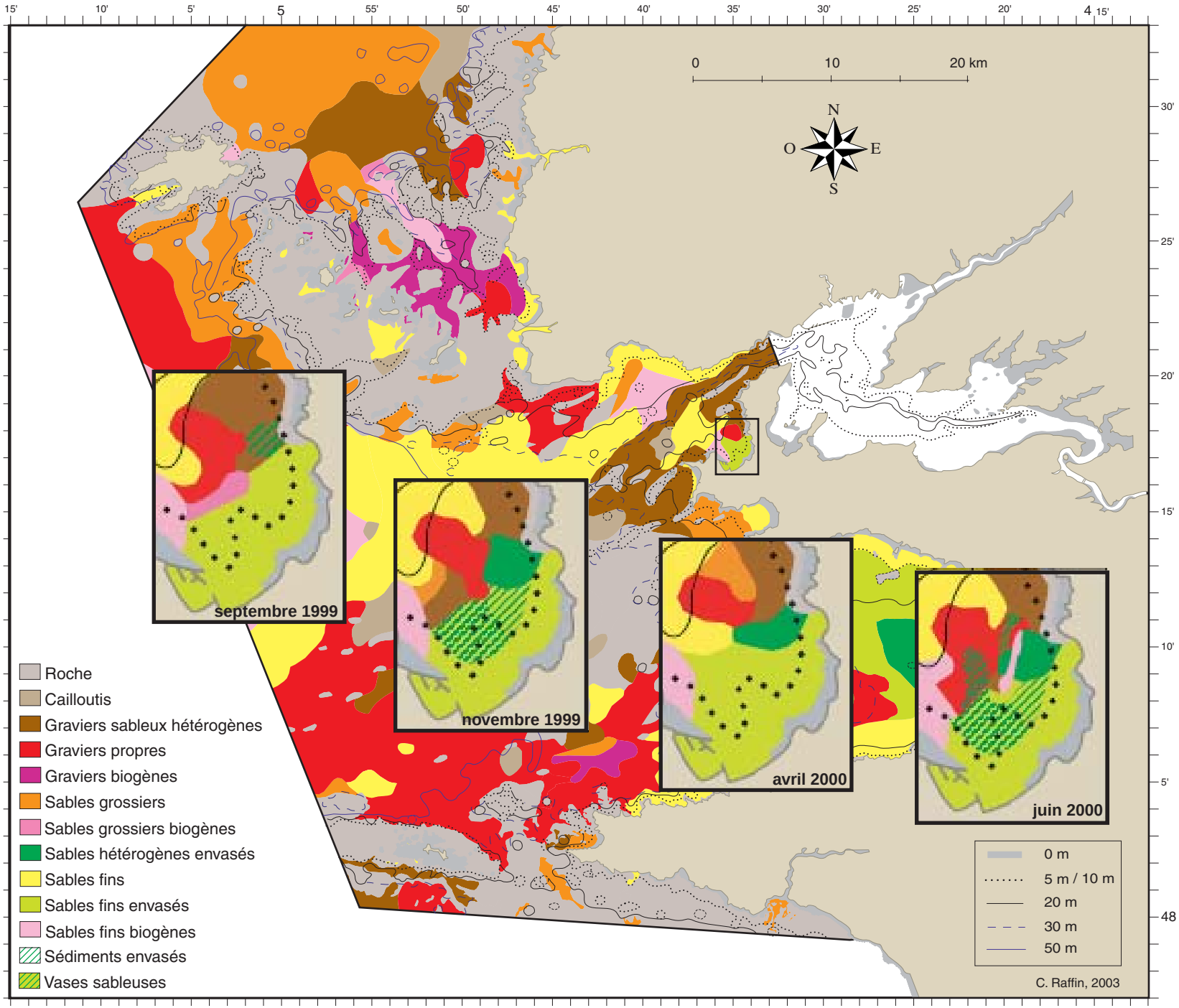


Figure II-15 : Cartographie à échelle fine des types sédimentaires dans l'anse de Camaret pour septembre 1999, novembre 1999, avril 2000 et juin 2000.

L'anse des Blancs Sablons est occupée par une nappe de graviers dont les interstices sont plus ou moins comblés de sable, ce qui explique l'alternance de graviers propres et sableux hétérogènes observée. La présence à l'ouest d'une zone de graviers biogènes constituée en grande partie de maërl, vivant ou mort, explique que ces sédiments puissent également y être observés. Cette nappe de graviers prolonge une plage de sables fins, bordant la côte. La variabilité sédimentaire du fond à échelle fine est due à l'hétérogénéité de ces types sédimentaires ; les taches de sables grossiers et de sables fins biogènes observés correspondraient alors à une zone de transition entre ces deux types sédimentaires dominants. Le taux d'envasement est également plutôt homogène à l'échelle de l'anse, avec des valeurs très faibles.

À l'échelle de l'ensemble de la zone de Morgat, les sédiments sont constitués d'une couche de sables très fins plus ou moins envasés selon la période. Le nord de la baie de Douarnenez est le prolongement des plages de Morgat et de l'Aber (Guillou, 1981), avec des sables fins très bien triés. C'est une des seules zones de l'Iroise où les sables fins sont envasés. Cette particularité s'explique notamment par le rôle d'abri joué par le Cap de la Chèvre, qui s'avance à l'entrée de la baie jusqu'à la moitié de sa hauteur, coupant ainsi les houles et les courants de l'ouest.

Autour des Verrès et de la Pierre-Profonde, les fonds sont couverts de sédiments grossiers : graviers propres, sableux hétérogènes et biogènes, sables grossiers, sables fins biogènes et sédiments hétérogènes envasés. Les bancs de maërl et de sables grossiers bioclastiques décrits par Augris *et al.* (1988), superposés à des cailloutis envasés ou des sables fins, n'ont pas été observés au cours de nos campagnes. Cependant, ceux-ci avaient été décelés et cartographiés grâce à un sondeur multifaisceaux, beaucoup plus précis que des prélèvements ponctuels à la benne. Le banc de maërl envasé, déjà décrit par Hinschberger en 1970 sous la forme d'une grande nappe dans le nord de la baie, n'a pas été détecté à cette échelle pourtant assez fine, puisque quelques brins seulement ont été récoltés lors de la première campagne, au sud de la Pierre-Profonde.

Hinschberger (1970) et Toulemont (1972) ont observé que la baie de Douarnenez est couverte d'une couche de sables fins siliceux du bas des plages jusqu'à sa partie centrale, où ces sables sont recouverts par les apports organogènes. Les sables grossiers coquilliers localisés au nord sont formés en grande partie sur place, tandis qu'au sud, ils sont apportés d'Iroise par les courants de flot.

La zone des Pierres Noires présente une homogénéité sédimentaire remarquable : elle est occupée par des sables très fins à fins, très bien triés, envasés dans l'ouest de la zone. Ces sédiments, qui constituent au-delà de cinquante mètres une des rares zones de sables envasés de l'Iroise, sont beaucoup plus fins et moins calcaires que tous ceux qui les entourent. Ils seraient en fait d'anciens dépôts en provenance de l'Elorn, tapissant l'ancien delta depuis le Minou jusqu'au bout de la longue langue sableuse représentée sur la carte sédimentaire (Hinschberger, 1970). L'indice calcimétrique, mesuré par Hinschberger (1970), révèle quant à lui un enrichissement progressif en calcaire depuis la côte vers le large, ce qui traduit une contamination progressive des sables terrigènes siliceux qui bordent le littoral par des sables coquilliers du large. Les sédiments de l'Iroise ont en effet un taux de calcaire très élevé, qui s'accroît très rapidement de la côte vers le large où tous les sédiments contiennent 70 à 100 % de calcaire, ce qui est également la calcimétrie de la mer Celtique.

Une tache de sables plus grossiers a été localisée au nord, en bordure du plateau de Molène, tandis qu'une petite nappe de graviers propres occupe le sud-ouest de la zone, en bordure nord du plateau rocheux central. Une tache de sables grossiers envasés et de sables fins biogènes a également été observée à l'est de la zone.

Les sédiments couvrant l'anse de Camaret sont constitués dans la moitié nord-ouest de sables grossiers et de graviers propres et sableux hétérogènes, dont une fraction importante est formée de brins de maërl plus ou moins érodés (observation directe). Tout le sud est envasé, avec au sud-est des sables fins envasés et des vases sableuses, dans le secteur le plus abrité de la baie, puisque les courants sont quasi nuls. Une tache de sédiments hétérogènes envasés au nord-est et une tache de graviers envasés à l'ouest de l'anse ont également été observées. La station la plus au sud est située à proximité d'une exploitation piscicole, dont les déchets organiques des poissons peuvent provoquer un envasement par accumulation de particules fines (Judas, 1998).

II-3-4-3- Analyse de la couverture sédimentaire globale

Les rivières pouvant jouer un rôle dans la couverture sédimentaire de la mer d'Iroise sont peu nombreuses. Les deux plus importantes de la zone, l'Aulne et l'Elorn, rejoignent la mer à l'intérieur de la rade de Brest et n'ont donc pas d'influence directe en mer d'Iroise, la rade jouant un rôle de tampon. L'étude de la sédimentologie en est grandement simplifiée dans la région, les débits faibles à l'échelle de l'Iroise ne perturbant pas ou peu les phénomènes marins (Boillot, 1960).

Globalement, les cailloutis plus ou moins mélangés à des graviers sont toujours situés à proximité immédiate des affleurements rocheux. Les sables tapissent les profondeurs du large ainsi que les baies abritées et les plus grossiers s'amassent par endroits en dunes sous-marines. L'explication de la présence des éléments de grande taille qui constituent les cailloutis et les graviers fait appel aux connaissances du passé géologique et en particulier des régressions quaternaires : ce sont des formations fossiles (Hinschberger, 1970). C'est pourquoi la nature des cailloutis est semblable à celle des fonds rocheux qu'ils bordent : au nord, ils sont donc constitués de granite à biotite et cristaux de feldspath porphyroïdes, puis s'y mêlent des granites à deux micas et quelques gneiss. Ces deux dernières catégories deviennent prépondérantes au sud-ouest du plateau de Molène : toutes ces roches affleurent au voisinage immédiat, dans les îles du plateau de Molène (Hinschberger, 1970). Dans le prolongement du goulet de Brest, en baie de Douarnenez et autour de la presqu'île de Crozon, les schistes dominent : ils sont débités en morceaux de petite taille, ce qui influence directement les proportions de graviers et de cailloutis représentés dans cette zone. Les grès quartzites sont également abondants parmi les cailloutis et graviers, ils proviennent des nombreux affleurements sous-marins de grès armoricain présents aux alentours. Des éléments constitués de grès grossiers rouges s'y mêlent près du Cap de la Chèvre. Aux limites nord et sud de la chaussée de Sein, les galets de granite sont à nouveau présents mais disparaissent au profit d'autres encore, constitués de schistes gris ou bleutés peu résistants dès qu'on s'en éloigne (Hinschberger, 1970).

Au contraire, la disposition et les conditions de transport des éléments les plus fins, notamment tous les amas sableux, dépendent des conditions hydrodynamiques, représentées en Iroise par la houle et les courants de marée. La répartition des sédiments meubles dépend donc étroitement des courants. C'est pourquoi les hauts-fonds de roche (plateau de Molène et Chaussée de Sein), balayés par la houle et par de violents courants de marée, en sont

dépourvus, de même que le fond des passes (Fromveur, Four, Raz de Sein) où l'on trouve de la roche en place ou des cailloutis grossiers.

Les plus grandes zones de sables fins sont situées dans la baie de Douarnenez pour la zone côtière et dans le sud des Pierres Noires, en zone plus profonde. Cependant, la longue nappe de sables fins s'étirant de la sortie du goulet de Brest jusqu'au large, ne répond pas à la même dynamique sédimentaire. En effet, les travaux de Hinschberger ont montré que ce couloir de sable représente en fait l'ancien delta de l'Elorn, submergé par la mer depuis des milliers d'années (Hinschberger et Corlay, 1967 ; Hinschberger et Pauvret, 1968). Il n'est cependant pas si étonnant que ces tonnes de sédiments fins, facilement reconnaissables par leur origine minérale qui tranche sur l'aspect coquillier de la grande majorité des sables de l'Iroise, résistent aux courants de marée pourtant très influents sur les sédiments fins et restent établis dans la même zone depuis tout ce temps. Cette partie centrale de l'Iroise est effectivement épargnée par les courants (ceux de surface tout du moins), dont la résultante est quasiment nulle dans cette zone enserrée entre les deux grands secteurs agités que sont les alentours d'Ouessant et de la chaussée de Sein.

D'autre part, les sédiments prolongeant cette nappe à l'ouest, au moins pour une partie de la largeur du couloir sableux, sont des sables fins biogènes, riches en débris coquilliers. Cette zone plus au large subit à nouveau l'influence de forts courants de marée, qui induisent le recouvrement progressif des sables terrigènes côtiers par des sédiments calcaires du large, comme le remarquait Hinschberger (1970) pour l'ensemble de l'Iroise. Ainsi, la zone de transition entre les sables fins minéraux et les sables fins coquilliers des Pierres Noires pourrait être une expression de la limite d'influence des courants de marée dans cette zone de l'Iroise.

Nous avons remarqué également que les taux de pélites sont toujours peu élevés, 98 % des échantillons ayant des taux de pélites inférieurs à 20 % du poids de sédiment total (dont 80,5 % sont inférieurs à 5 %). Dans les années soixante, Hinschberger avait déjà observé des valeurs relativement faibles, puisque la quasi-totalité des sédiments prélevés ne contenait que 5 à 20 % de pélites et atteignaient 20 à 50 % en trois points seulement, au centre-nord de la baie de Douarnenez. Les dragages effectués par Hinschberger *et al.* (1967) autour de la chaussée de Sein avaient également révélé une quasi-absence de fraction pélitique, tout comme ceux réalisés quelques années plus tard par Toulemont (1972).

La situation de l'Iroise, à l'extrémité d'un océan, face aux grandes tempêtes de l'ouest, en fait une zone très exposée. Hinschberger (1970) a déduit de l'analyse des courants marins

que son bilan sédimentaire est négatif : les sables terrigènes arrachés par l'érosion littorale ne lui profitent pas mais sont entraînés soit vers le sud, par le Raz de Sein dans la baie d'Audierne, soit au nord vers l'entrée de la Manche. Les rares zones d'abri, comme la baie de Douarnenez, quelques anses protégées et peut-être la zone des Pierres Noires, au centre de l'Iroise, où les courants résultants sont très faibles du moins en surface, sont les seules zones à présenter un bilan sédimentaire positif. C'est également dans ces secteurs qu'ont été observées les seules traces vaseuses de toute la zone, ce qui prouve une fois de plus l'importance du rôle des courants de marée en Iroise.

II-4- TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE

II-4-1- Échelle globale

Les valeurs du contenu en matière organique totale de 97 stations échantillonnées à la benne Hamon ont été mesurées avec, pour neuf d'entre elles, deux réplicats analysés : 106 mesures de matière organique ont donc été effectuées en tout (tableau II-6). Évaluées à cette échelle globale, les deux tiers des mesures des teneurs en M.O. dans les sédiments sont inférieures à 2 % et le tiers restant ne dépasse pas les 3 %, même dans les zones où ceux-ci sont les plus envasés (figure II-16).

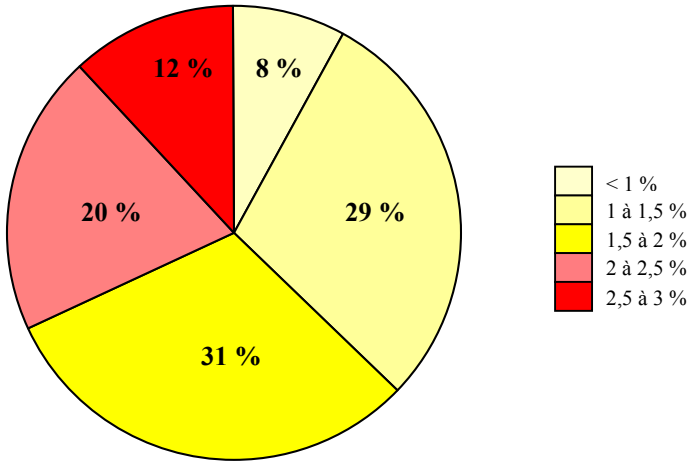


Figure II-16 : Taux de matière organique dans les sédiments de la mer d'Iroise échantillonnés à la benne Hamon (en pourcentage de poids sec de sédiment).

Tableau II-6 : Contenu des sédiments en matière organique (en pourcentage de poids sec) ; les tirets correspondent à une absence de mesure.

	M.O. (%)	
Station	benne 1	benne 2
1	1,04	
2	1,60	
3	-	
4	2,99	
5	-	
6	2,76	
7	0,96	
8	-	
9	1,37	
10	0,82	
11	1,67	2,40
12	1,73	
13	1,47	
14	0,73	
15	1,58	
16	1,77	
17	-	
18	-	
19	2,05	
20	1,19	
21	1,56	
22	1,17	
23	2,45	
24	1,15	
25	1,77	
26	-	
27	1,19	
28	2,02	
29	-	
30	-	
31	-	
32	1,39	
33	1,65	
34	-	
34bis	1,69	
35	1,28	
36	1,47	
37	-	
37bis	2,17	
38	1,40	
39	1,51	
40	-	
41	-	
42	1,54	
43	1,32	0,90
44	1,68	2,76
45	1,43	
46	0,76	1,71
47	-	
48	1,23	
49	1,49	
50	-	
51	-	
52	0,95	
53	1,16	
54	1,02	
55	1,86	
56	2,64	
57	2,21	
58	2,33	
59	2,98	
60	1,77	0,53
61	-	
62	1,61	
62bis	-	
63	1,48	
64	-	
65	-	

	M.O. (%)	
Station	benne 1	benne 2
66	-	
67	-	
68	-	
69	2,13	
70	1,74	
71	-	
72	-	
73	-	
74	-	
75	0,84	
76	-	
77	-	
78	1,43	
79	-	
80	-	
81	2,11	
82	1,92	
83	1,35	
84	-	
85	0,94	
86	1,31	
87	1,46	
88	1,92	
89	1,25	
90	2,55	
91	-	
91bis	1,75	1,82
92	1,47	
93	1,25	
94	1,52	
95	2,26	
96	1,64	
97	1,70	
98	1,77	
99	1,23	
100	1,12	
101	1,02	
102	-	
103	1,30	
104	1,81	
105	1,76	
106	2,01	
107	-	
108	-	
109	-	
110	1,47	
111	1,96	
112	2,13	
113	1,52	
114	-	
115	1,65	
116	2,30	
117	1,80	
118	1,99	
119	2,01	
120	1,57	1,14
121	-	
122	2,84	
123	2,03	
124	1,03	
125	3,00	
126	1,73	
127	2,71	
128	2,17	
129	2,27	
130	2,80	
131	2,14	2,98
132	2,34	2,38

La répartition de la matière organique sur les fonds de la mer d'Iroise a été cartographiée (figure II-17), en tenant compte de la carte sédimentaire réalisée : les limites des zones de matière organique correspondent à celle des types sédimentaires.

Les zones de concentrations maximales de matière organique dans les sédiments sont localisées principalement dans la zone du large, en limite ouest de notre zone d'étude, ainsi que sur les fonds peu profonds au nord des îles de l'archipel de Molène, dans l'anse de Camaret, à l'embouchure du Goyen près d'Audierne et en certains points de la baie de Douarnenez. Deux petites zones ont enfin été observées, dans la baie du Stiff à Ouessant et à une plus grande profondeur, au nord-est de l'île.

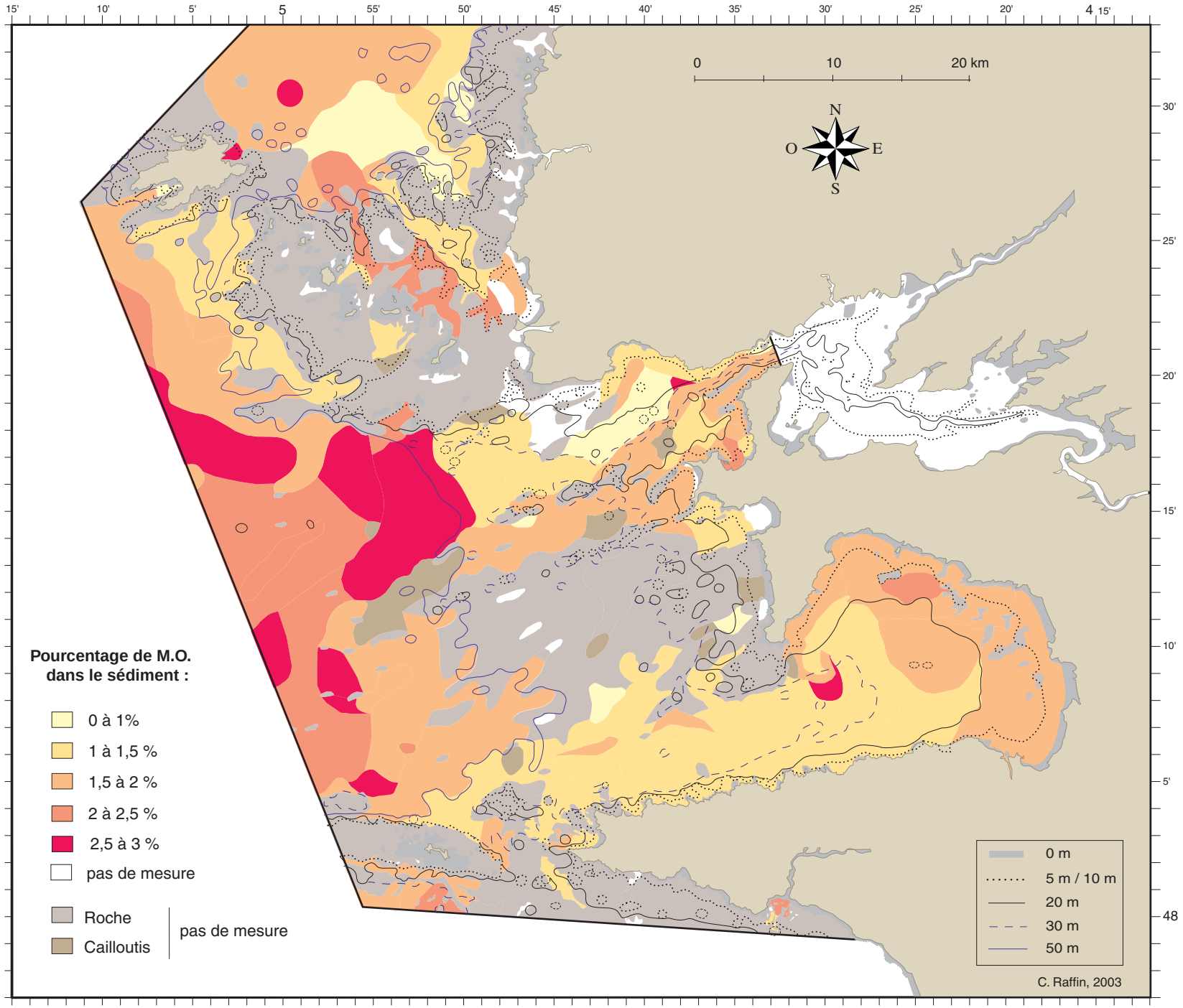


Figure II-17 : Carte de répartition du taux de matière organique dans les sédiments de la mer d'Iroise.

II-4-2- Échelle fine

Les résultats des dosages du pourcentage de matière organique contenu dans les sédiments, prélevés aux différentes périodes à la benne Smith-Mc Intyre, sont présentés sous forme de tableaux (tableaux II-7).

Les données respectant les conditions de normalité et d'homogénéité des variances nécessaires à leur application, une ANOVA à deux facteurs a été réalisée sur chacun des quatre lots de données, afin de tester l'influence des facteurs "saison" et "station" sur les taux de M.O. au sein d'une même zone (intervalle de confiance de 95 %). Le facteur saison n'est significatif pour aucune des zones, tandis que le facteur station l'est pour les zones des Blancs Sablons, des Pierres Noires et de Morgat (tableau II-8).

Les sites des Blancs Sablons et de Morgat présentent des taux de M.O. globalement inférieurs à ceux des deux autres sites (tableaux II-7).

Ceux des Blancs Sablons ne dépassent jamais 2,5 %, c'est très nettement la zone la moins riche en matière organique. Les valeurs sont également les plus homogènes sur l'ensemble de la zone. L'ANOVA détecte des différences significatives dans les moyennes des valeurs aux stations BS1 et BS2, plus faibles que celles des autres stations tandis que BS7 et BS8 ont des valeurs plus élevées (tableau II-9a).

Tableau II-8 : Résultats des ANOVA multifacteurs réalisées sur les données de pourcentages de M.O. des sédiments dans chaque zone ; les deux facteurs testés sont la variabilité entre saisons ("saison") et la variabilité entre stations ("station"). Les valeurs significatives pour le facteur testé sont marquées d'un astérisque (*).

Zone	Facteur	*F-ratio*	*P-value*
Blancs Sablons	Saison	2,19	0,1106
	Station	4,05	0,0025*
Morgat	Saison	1,26	0,3009
	Station	3,41	0,0009*
Pierres Noires	Saison	0,002	0,9988
	Station	33,37	0.0000*
Camaret	Saison	0,53	0,6655
	Station	0,82	0,5757

Tableaux II-7 : Pourcentages de matière organique dans les sédiments aux différentes périodes d'échantillonnage ; les valeurs des réplicats sont données dans une même case, les valeurs maximales sont en gras. a = Blancs Sablons ; b = Morgat ; c = Pierres Noires ; d = Camaret.

Pas de valeur
< 1 %
1-1,5 %
1,5-2 %
2-2,5 %
2,5-3 %
3-3,5 %
> 3,5 %

a

BS	juin-99	nov-99	avr-00	sept-00
BS1	1,20	0,95 1,21	0,78 1,17	**1,63**
BS2	0,99	0,83	1,13	**1,74**
BS3	1,63	1,60	1,31	**2,13**
BS4	**1,76**	1,35	1,30	1,67
BS5	1,75	**1,99**	1,69	1,76
BS6	1,09	1,48	1,36	**1,75**
BS7	1,57	1,52	**2,19**	2,05
BS8	1,68	1,67	**2,21**	2,06
BS9	1,85	1,13 **2,45**	1,71	1,52

b

M	juin-99	nov-99	avr-00	sept-00
M10	1,11	1,00	0,94	0,80 **1,55**
M7	1,01	**1,05**		1,00
M8	1,34	1,18	**1,64**	1,13
M2	1,70	1,45	1,74	**1,91**
M3	1,79	1,78	**1,82**	1,54
M4	1,63	1,70 2,30 **3,17**	1,31	1,32
M6	1,49	1,41	**1,88**	1,81
M11	1,41	1,66		**1,79**
M14	1,48	1,63	1,38	**2,54**
M15	2,27	1,77	2,10	1,88 2,01 **2,61**
M16	1,68	1,64		**2,29**
M17	1,85	2,15		**2,20**
M18	2,26	2,43	2,03	**2,51**
M19	1,85 2,89	1,14	1,74 2,35	3,42 **4,13**
M20	2,27		**3,27**	2,03

c

PN	juin-99	sept-99	nov-99	avr-00	juin-00
A		1,89 **2,11**	1,93	1,66	1,92
C		1,01	0,94	**1,19**	1,06
G		1,89	**2,45**	1,42	1,27
I		0,93	0,96	**1,17**	0,88
L	1,51		1,48	1,42	**1,61**
S	1,00		1,00	1,13	**2,38**
B		2,68	2,34	**2,99**	2,76
E		3,22	**3,95**	3,64	3,88
N	3,43		3,26	**3,60**	3,19
P	3,50		3,11	**3,62**	3,14 2,64
U	3,35		**3,55**	2,99	3,44

d

CM	sept-99	nov-99	avr-00	juin-00
CM1	**3,04**	1,51 2,79	2,78	2,62 1,76
CM2	2,45 2,92	2,99 **3,44**	2,96	2,67 2,93 3,32
CM3	2,60	**3,29**	1,83	1,66 2,36
CM4		2,58	2,24	1,30 **2,67**
CM5	2,76	1,84	2,82	**2,90**
CM6	2,35	2,26 1,51	**2,48**	**2,42**
CM8	2,50	2,87	1,60	**3,36**
CM9	1,51	1,25 2,62	1,47	1,89 2,77 3,08 3,98 **4,02**

Tableaux II-9 : Groupes homogènes formés par le test à rangs multiples (*LS Mean* - S-N-K), pour les stations des Blancs Sablons (a), de Morgat (b) et des Pierres Noires (c).

a

BS1	X	
BS2	X	
BS6	X	X
BS4	X	X
BS3	X	X
BS5	X	X
BS9	X	X
BS7		X
BS8		X

b

M7	X	
M10	X	
M8	X	X
M11	X	X
M6	X	X
M2	X	X
M3	X	X
M14	X	X
M16	X	X
M4	X	X
M15	X	X
M17	X	X
M18		X
M19		X
M20		X

c

I	X	
C	X	
S	X	X
L	X	X
G		X
A		X
B		X
P		X
U		X
N		X
E		X

Les stations de Morgat sont plus hétérogènes par rapport à ce paramètre : M2, M3, M6, M7, M8, M10 et M11 (les sables fins) ont des valeurs de M.O. toujours inférieures à 2 %, tandis qu'elles dépassent 2 % aux stations M4, M14, M15, M16, M17, M18, M19 et M20 (graviers et sables fins envasés) et sont même supérieures à 3 % pour les deux dernières (tableau II-7b). Trois groupes de stations sont isolés grâce aux tests statistiques : un lot global, dont se différencient d'une part M7 et M10 avec des valeurs plus faibles et d'autre part M18, M19 et M20 avec des valeurs plus fortes (tableau II-9b).

Les valeurs de M.O. aux stations des Pierres Noires couvrent la gamme complète observée. Les stations A, C, G, I, L et S ont des taux assez faibles (< 2,5 %) et inférieurs à 3 % pour la station B, tandis que les valeurs des autres stations dépassent 3 % (tableau II-7c). Les taux de matière organique restent relativement stables à toutes les saisons échantillonnées. Par contre, ces différences de richesse en M.O. suivent un gradient géographique : les valeurs sont en effet supérieures à toutes les saisons dans les stations du sud ouest : ils représentent 3 à 4 % pour E, N, P et U (les sables fins envasés) contre 0,5 à 2,5 voire 3 % pour les autres. Cette variabilité spatiale est confirmée par les analyses statistiques, qui séparent cinq groupes de stations : E, N, P et U avec les valeurs de M.O. les plus fortes (également les stations les plus envasées), la station B, isolée des autres avec des valeurs intermédiaires, puis les trois groupes A et G, L et S, C et I, avec des valeurs de plus en plus faibles (tableau II-9c).

La représentation cartographique de la répartition du taux de M.O. dans les sédiments de ces zones (figures II-18 à II-21) met en évidence la partition des Pierres Noires en deux zones distinctes, situées de part et d'autre de l'isobathe des cinquante mètres, avec des valeurs supérieures à l'ouest de cette limite.

Les stations de Camaret ont, quant à elles, des valeurs toutes supérieures à 2,5 % pour une saison au moins, sauf CM6 qui s'en approche avec 2,5 % en avril et 2,4 % en juin 2000. Cette zone est globalement la plus riche en matière organique, ce paramètre étant assez homogène sur l'ensemble de l'anse.

Les zones de Morgat et des Blancs Sablons semblent donc assez proches, avec des valeurs de M.O. inférieures à 3 % et une tendance à l'augmentation de ces valeurs en 2000 par rapport à celles de 1999. La zone de Camaret est la plus riche en M.O., avec des valeurs qui semblent cependant plus faibles en avril 2000. La zone des Pierres Noires présente la gamme de valeurs de M.O. la plus étendue, sans qu'une tendance évolutive puisse être observée.

Ces observations recoupent celles concernant l'évolution des taux de pélites dans ces quatre zones : l'envasement constaté entre 1999 et 2000 dans les zones des Blancs Sablons et de Morgat est donc accompagné par une légère augmentation de la richesse en matière organique des sédiments. Le dévasement observé à Camaret en novembre 1999 semble suivi d'une légère diminution de la richesse en M.O., ce qui n'est pas le cas aux Pierres Noires malgré une diminution de l'envasement en avril 2000.

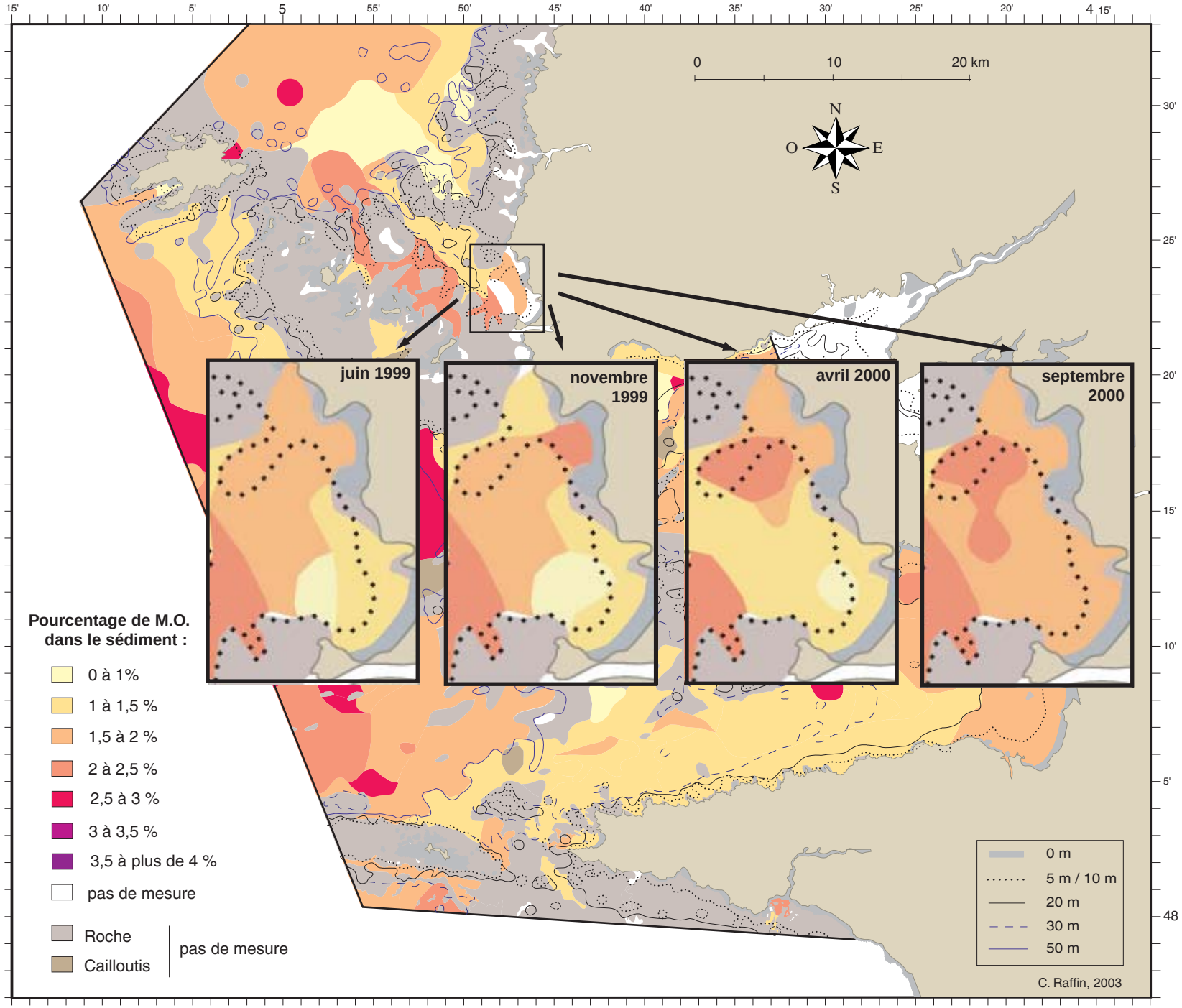


Figure II-18 : Carte de répartition à échelle fine du taux de matière organique dans l'anse des Blancs Sablons pour juin 1999, novembre 1999, avril 2000 et septembre 2000 .

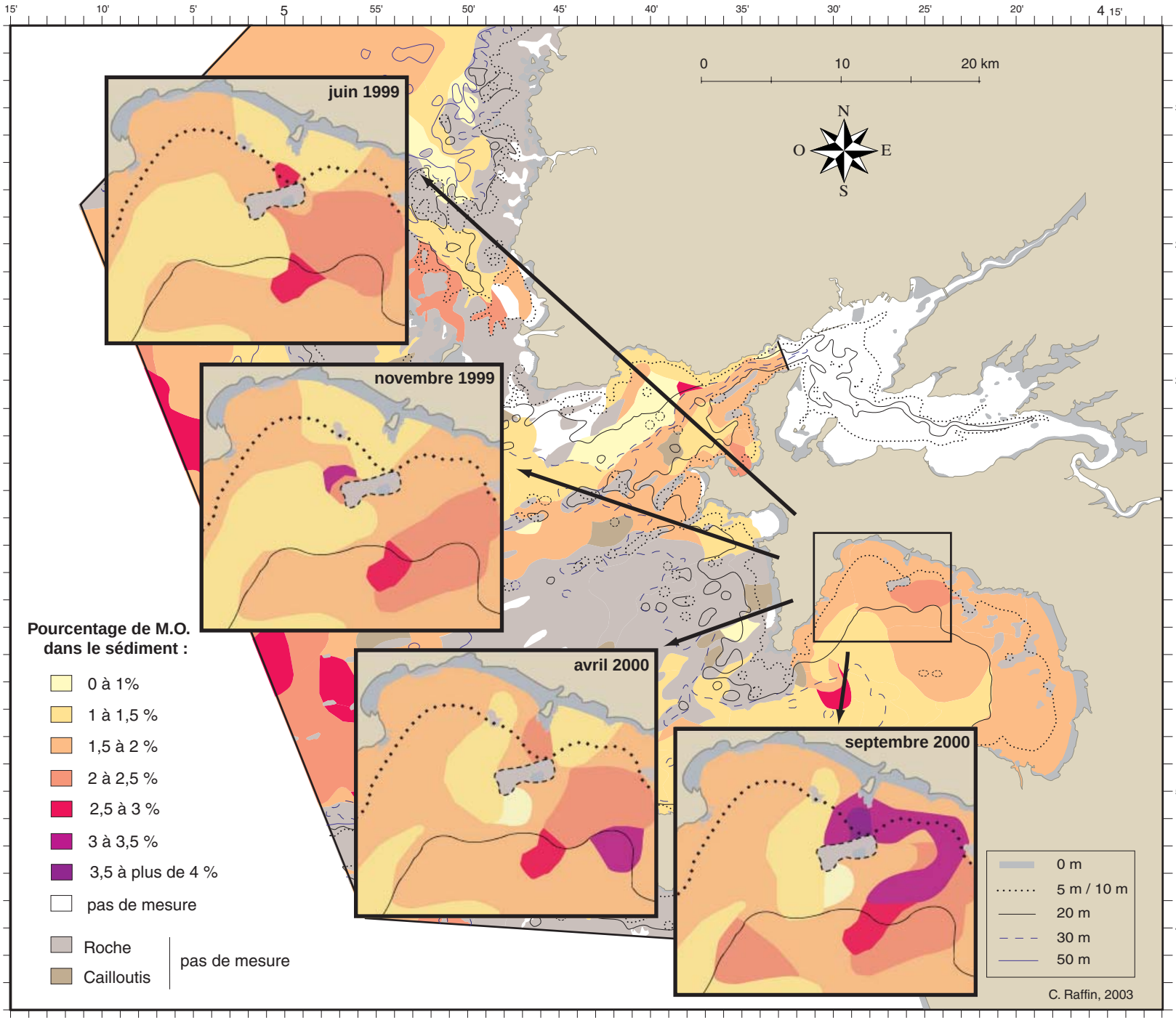


Figure II-19 : Carte de répartition à échelle fine du taux de matière organique dans la zone de Morgat pour juin 1999, novembre 1999, avril 2000 et septembre 2000.

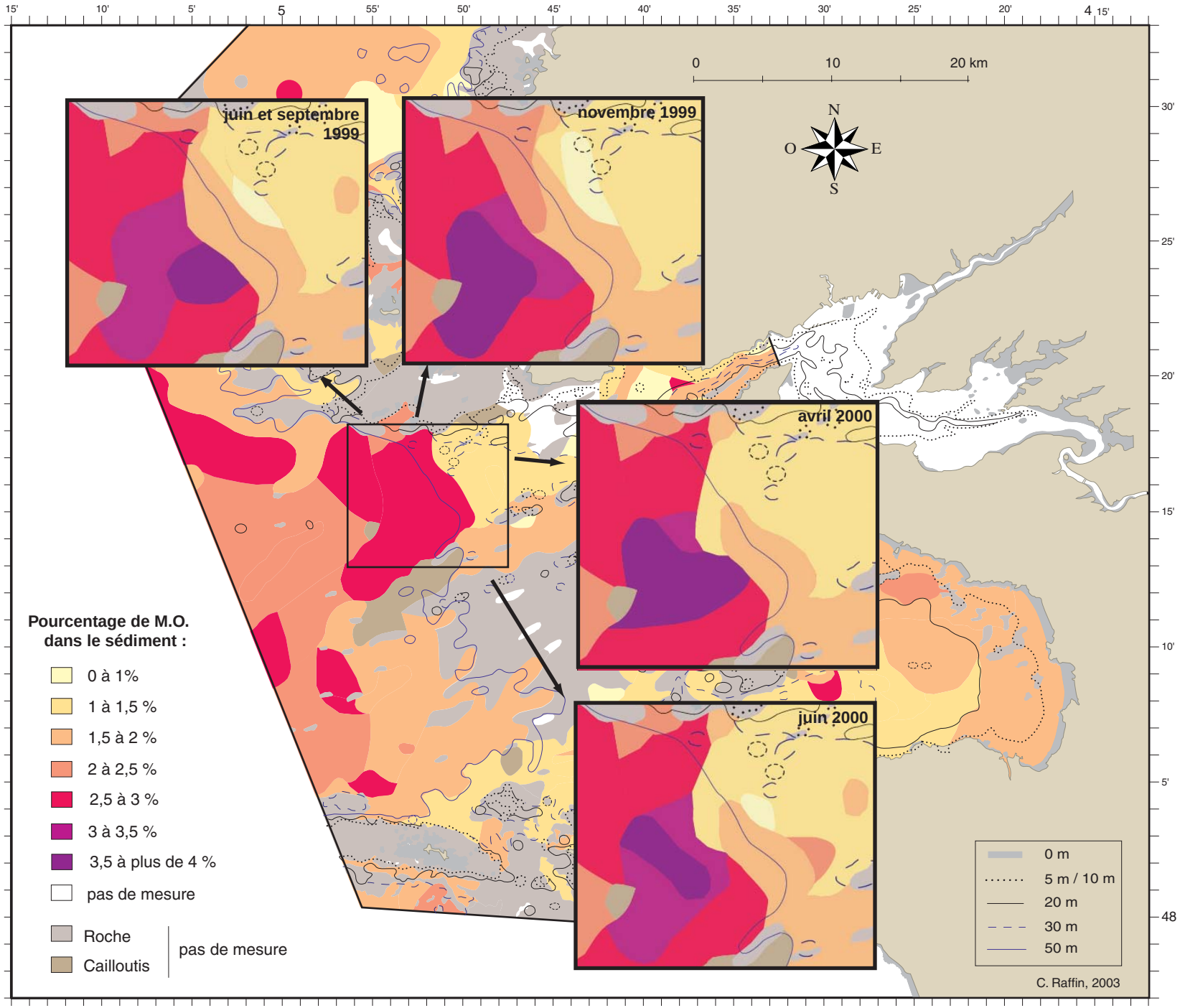


Figure II-20 : Carte de répartition à échelle fine du taux de matière organique dans la zone des Pierres Noires pour juin et septembre 1999, novembre 1999, avril 2000 et juin 2000.

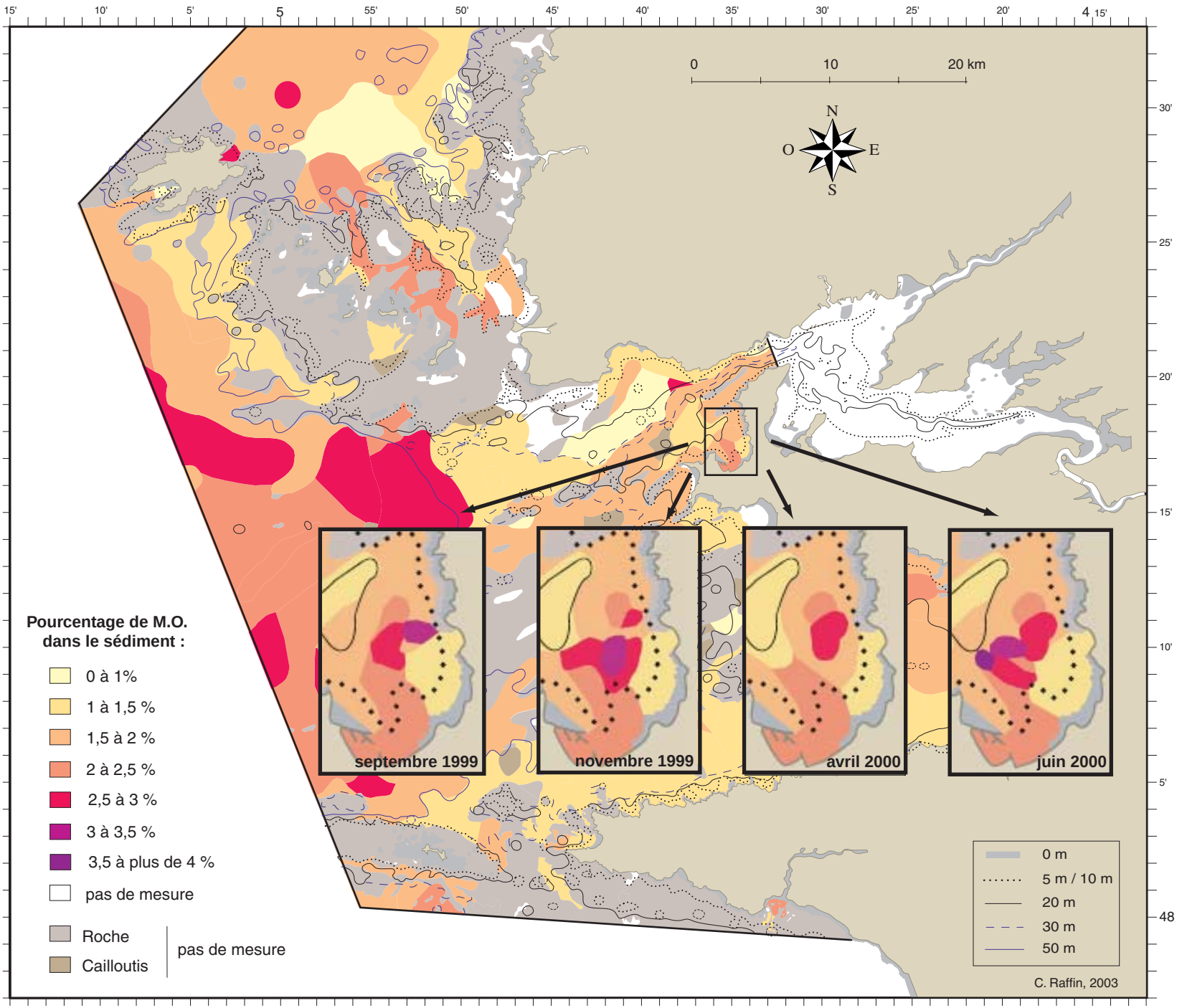


Figure II-21 : Carte de répartition à échelle fine du taux de matière organique dans l'anse de Camaret pour septembre 1999, novembre 1999, avril 2000 et juin 2000.

II-4-3- Discussion

La gamme de pourcentages de matière organique dans le sédiment s'étend donc de 0 à 4 % sur l'ensemble de la zone. Ce résultat, entièrement inédit pour la mer d'Iroise, est comparable aux valeurs obtenues en rade de Brest par Guérin (comm. pers.) en 2000 par la même méthode de dosage dans la rade de Brest, avec des taux de 2-3 % à Roscanvel (sables hétérogènes envasés à 25-30 mètres) et de 3-4 % dans le maërl de Keraliou (quelques mètres de profondeur). Cependant, le taux de matière organique peut être très supérieur dans certaines parties de la rade, comme dans le chenal sous Rozegat où les sédiments, fortement colonisés par les populations de crépidules, sont très envasés et enrichis en M.O. (jusqu'à 12 %). Dans le golfe de Gascogne, les valeurs mesurées par Le Loc'h en 2002 atteignent 2 % dans la majeure partie de la Grande Vasière, sur le plateau continental (sables vaseux avec des taux de pélites de 10 à 20 %). La partie la plus envasée (75 à 90 % de pélites), au sud des Glénan, présente une gamme de valeurs de M.O. s'échelonnant entre 5 et 7 %, à des profondeurs de 80 à 100 mètres (Le Loc'h, comm. pers.).

La matière organique est constituée en grande partie de détritus produits par la dégradation du phytoplancton non consommé, auxquels s'ajoutent d'autres détritus d'origine zooplantonique ou zoobenthique (fécès et pseudofécès), des bactéries, de la méiofaune et du microphytobenthos. Les apports des rivières étant négligeables dans notre zone d'étude -mis à part quelques émissaires très localisés-, les zones les plus riches en matière organique devraient donc être situées près des zones qui sont le siège d'une forte production primaire ou dans les zones de sédimentation de cette matière organique si elle est formée en surface. Les conditions réunies en zones côtières, avec de faibles profondeurs permettant une pénétration maximale de la lumière et une augmentation rapide de la température dans toute la colonne d'eau, avec aussi des apports côtiers de nutriments (lessivage des sols, rejets dans les rivières…), semblent en effet toutes indiquées pour faciliter le développement des blooms de phytoplancton.

À l'échelle de la mer d'Iroise, les plus fortes valeurs mesurées ne sont pourtant pas localisées dans les zones les plus côtières mais se trouvent plutôt au large de notre zone d'étude. À une échelle d'analyse plus fine, la même tendance se retrouve dans la zone des Pierres Noires puisque les concentrations maximales sont toutes situées dans la partie ouest. Les zones de Camaret et de Morgat sont protégées dans les secteurs abrités des courants, sous

influence anthropique côtière : les points de concentrations qui y sont observés, d'étendues beaucoup plus réduites, trouvent sans doute une explication liée à cette caractéristique côtière. Les Blancs Sablons présentent encore une autre situation, dans une anse côtière très exposée aux courants marins et à la houle. La concentration en M.O. qui y a été observée était d'ailleurs toujours faible.

II-4-3-1- Origines des plus fortes concentrations en M.O.

Les concentrations plus élevées observées à la sortie du port d'Audierne sont à mettre en relation directe avec les apports de la rivière, le Goyen, qui débouche à ce niveau. Son influence reste cependant très limitée puisqu'il n'y a pas de panache d'eau chargée en M.O. dans le prolongement de son débouché.

Les taches de plus fortes M.O. localisées dans les sédiments tapissant toute la partie nord et est de la baie de Douarnenez pourraient s'expliquer par les caractéristiques hydrodynamiques de ce secteur abrité. La baie, dissymétrique, est moins profonde au nord qu'au sud mais elle y est également mieux abritée des vents d'ouest, grâce à l'avancée du Cap de la Chèvre. Les courants de marée y sont très faibles, puisqu'ils ne dépassent nulle part un demi-nœud, même en vive-eau. Les différences entre le flot et le jusant indiquent qu'à chaque marée, le remplissage se fait par le sud et la vidange par le nord (Hinschberger, 1970). Ces différences d'exposition entre le nord et le sud peuvent expliquer les contrastes observés au niveau sédimentaire : les particules les plus fines (M.O. mais aussi pélites) se déposeraient donc plus facilement dans le nord, où elles sont également moins sujettes à l'action de la houle, qui pénètre dans la baie par l'ouest - sud-ouest. La baie de Douarnenez apparaît donc comme un milieu abrité par rapport à la mer d'Iroise : cette caractéristique ressort très nettement au vu des résultantes des courants dans la zone (figure I-2, p.18). Ceci explique la dominance de sédiments fins, l'envasement et la richesse en matière organique observés sur ses fonds.

La nature des sédiments joue également un rôle important. En effet, les fonds de sédiments grossiers, comme les sédiments hétérogènes envasés observés au niveau de la station n° 90, les graviers propres et sableux hétérogènes autour des Verrès, ou encore les graviers biogènes au nord des îles de l'archipel de Molène, jouent un rôle protecteur pour les

particules fines. Ainsi, la matière organique qui se dépose directement sous la couche de sédiments grossiers (provenant par exemple de la faune locale) serait ensuite mieux protégée des courants puisque déjà située en profondeur et pourrait ainsi s'accumuler sur place, sans remise en suspension.

Ainsi, le sud de l'anse des Blancs Sablons est plus pauvre en M.O. que le nord, ce qui s'explique peut-être par la présence de graviers propres et de sables fins au sud, alors que le nord est couvert de graviers sableux hétérogènes et biogènes. De même, la partie ouest de la zone de Morgat semble plus pauvre en M.O., les sédiments y sont également plus homogènes, avec des sables fins plus ou moins envasés, tandis que la couverture sédimentaire à l'est est beaucoup plus variable. La bande plus riche en M.O. semble correspondre à la langue de sables fins biogènes observée à l'est.

La présence de maërl dans les sédiments peut également expliquer des taux plus élevés de matière organique. En effet, les arbuscules constituant ce type de substrat sont eux-mêmes utilisés comme autant de petits supports par de nombreuses espèces épiphytes : à leur mort, elles enrichissent la zone en matière organique (Grall, 2002). Cette cause peut intervenir dans le cas de la zone au nord des îles de l'archipel de Molène, où est localisé un banc de maërl, ainsi que dans l'anse de Camaret. Dans cette zone cependant, aucune tendance de répartition différenciée de la M.O. n'est apparue, malgré une couverture sédimentaire très contrastée entre le nord et le sud.

Toutefois, à petite échelle, des concentrations plus fortes ont été localisées au sud de la baie de Camaret. Celles-ci peuvent aussi être expliquées par la localisation toute proche d'un élevage piscicole. Plusieurs études ont démontré l'impact de la présence des cages à truites de mer immergées dans la concession sur les sédiments et les peuplements associés (Judas, 1998 ; MICROMER, 1994). En particulier, un enrichissement en matière organique a été suivi et confirmé entre les années 1990, 1994 et 1998 au niveau des cages présentes depuis 1990. Or, de nouvelles cages avaient été mises en place en 1998, plus au nord de la zone d'élevage, sur des profondeurs d'une quinzaine de mètres. Ce sont ces cages qui sont les plus proches de nos stations. L'enrichissement en matière organique dans le sud de notre zone pourrait donc être lié aux rejets de l'élevage piscicole tout proche.

Enfin, une zone très localisée d'enrichissement en M.O. a été détectée dans la baie du Stiff, à Ouessant. Cette zone correspond en fait à une accumulation de déchets de grandes algues piégées dans la baie par des courants tourbillonnants et se décomposent sur place (Thouzeau et Glémarec, 1984).

Dans la zone du large, une sédimentation des grandes algues, qui constituent de véritables champs sur les plateaux rocheux de Molène et de Sein, pourrait également expliquer en partie les concentrations de M.O. plus fortes dans la zone sédimentaire du large, entre ces deux plateaux. Une deuxième hypothèse est celle de la décantation partielle des eaux issues de la rade de Brest, chargées (particulièrement en hiver et au printemps) de matières en suspension issues des crues des rivières et des blooms phytoplanctoniques.

Cependant, une origine totalement différente peut être évoquée pour expliquer l'enrichissement en M.O. constaté dans la zone du large. En effet, cette zone est localisée entre les deux systèmes frontaux décrits dans le chapitre I (§ I-5-2), elle est située juste à l'est de la zone frontale du front d'Ouessant (Morin *et al.*, 1993). Or, le fonctionnement de ce système frontal répondant principalement au cycle de marée morte-eau - vive-eau, cette zone est fertilisée selon une périodicité de 14,7 jours (Morin *et al.*, 1994), grâce à des remontées d'eaux froides riches en éléments nutritifs qui favorisent la production primaire. Ainsi, en période de morte-eau, les fortes concentrations en nitrates (3-4 $\mu mol.l^{-1}$) sont localisées autour des îles d'Ouessant et de Sein, tandis qu'en vive-eau, elles sont supérieures (5-6 $\mu mol.l^{-1}$) et réparties sur une zone plus étendue (figure I-6 p. 25). La production primaire engendrée dans la couche d'eau supérieure peut être consommée par différents organismes du zooplancton, qui induisent alors une production de matière organique détritique par le biais de fécès. Ces productions de surface ainsi que le phytoplancton non brouté et dégradé sont peut-être à l'origine de la concentration de M.O. observée au large de l'Iroise, si leur sédimentation vers le fond se fait avec une dérive vers l'est constante et stable dans le temps. Ce phénomène pourrait également expliquer pourquoi la partie ouest des Pierres Noires est toujours plus riche en M.O. que la partie est.

Les concentrations en particules fines (pélites et M.O.), plus importantes de cette zone au-delà de cinquante mètres, peuvent également indiquer que les profondeurs atteintes sont suffisantes pour limiter l'influence des courants marins : les particules organiques se déposant sur le fond seraient donc peu remises en suspension et s'accumuleraient sur place. Cette hypothèse est également possible si la production de matière organique accompagnant la production primaire et celle de détritus organiques, qui ont lieu dans la couche d'eau de subsurface, sédimente vers le fond sans être dispersée par les courants de surface. Or, cette zone connaît justement des courants inférieurs à un nœud.

D'autre part, il est intéressant de constater que la partie la plus riche en matière organique semble délimitée par la ligne bathymétrique des cinquante mètres. Ce niveau de -50

à -55 mètres est en effet signalé par plusieurs auteurs comme un pallier marin historique, sur lequel la mer se serait arrêtée momentanément, à la descente comme à la remontée, au cours de ses variations de niveau (Hinschberger, 1970). Une plate-forme d'abrasion limitée vers l'amont par une petite falaise a donc été sculptée par la mer à l'échelle des temps géologiques, puis ensevelie sous des mètres de sables que constituent le remblaiement de l'ancien delta de l'Elorn. Ce replat rocheux semble doté de la forme adéquate pour retenir les dépôts sableux les plus fins depuis sa submersion.

II-4-3-2- Relation entre pélites et matière organique

Nous avons testé la relation existant entre la teneur en matière organique et la proportion de pélites du sédiment dans les stations de l'Iroise. Ces deux caractéristiques du sédiment sont en effet étroitement liées, puisque la surface offerte aux processus d'adsorption de la matière organique sur les particules minérales est d'autant plus élevée que la proportion en éléments fins est importante. De plus, la matière organique d'origine détritique est en partie constituée de débris végétaux dont les caractéristiques de faible poids et de forme sont proches de celles des particules fines du sédiment, ce qui leur confère des comportements proches vis-à-vis des processus de transport et de sédimentation (Le Bris, 1988).

Une droite de régression peut être construite dans le cas des sédiments de l'Iroise (303 échantillons disponibles, figure II-22). La corrélation trouvée entre les taux de pélites et de M.O. des sédiments de l'Iroise est significative (test de corrélation de Pearson, IC = 95 %). Les points sont cependant très éloignés de la droite de régression.

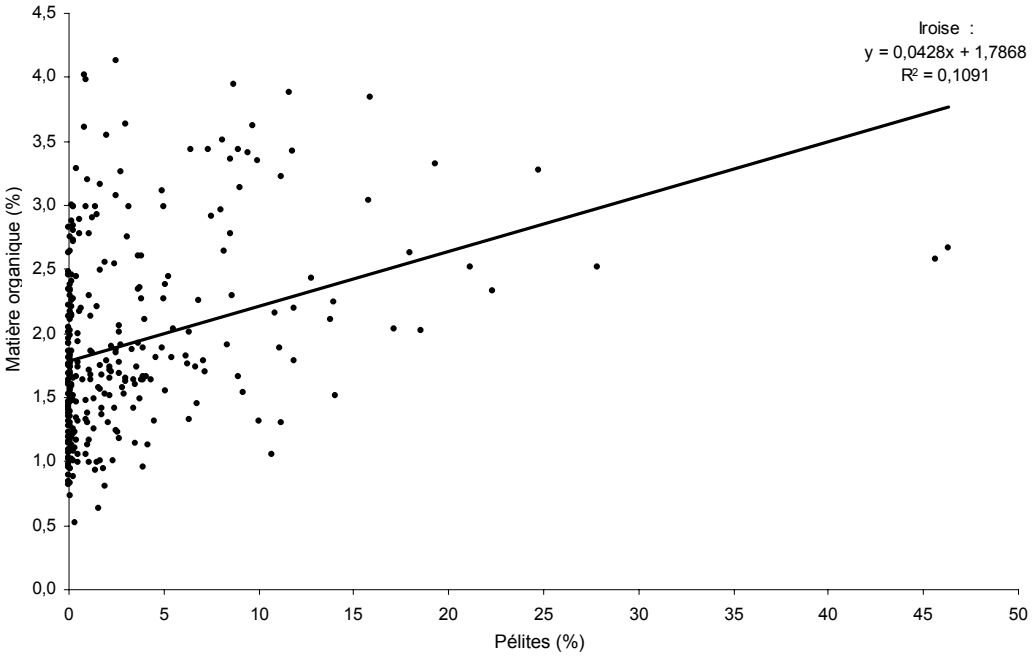


Figure II-22 : Corrélation entre taux de pélites et pourcentage en M.O. pour les sédiments de l'Iroise (303 échantillons), équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

Étudiées séparément, les mesures issues des échantillons prélevés à la benne Hamon (98) et celles obtenues à partir des bennes Smith (205) permettent le calcul de deux nouvelles relations (figure II-23), mais seule la corrélation obtenue à partir des données de bennes Smith est significative (test de Pearson, IC = 95 %).

Les points correspondant aux sédiments de bennes Hamon sont beaucoup plus regroupés dans les valeurs de faibles taux de pélites, ce qui explique la faible significativité d'une droite de régression passant dans un nuage aussi resserré. Le nuage de points des bennes Smith est beaucoup plus étendu, même si la majorité des valeurs de pélites reste confinée dans la première moitié de l'axe étant donné la prédominance des sédiments à faibles pourcentages de pélites en Iroise. Ce résultat indique peut-être une mauvaise efficacité de la benne Hamon pour prélever la fraction pélitique, qui pourrait être due à un lavage partiel des sédiments pendant la remontée de la benne.

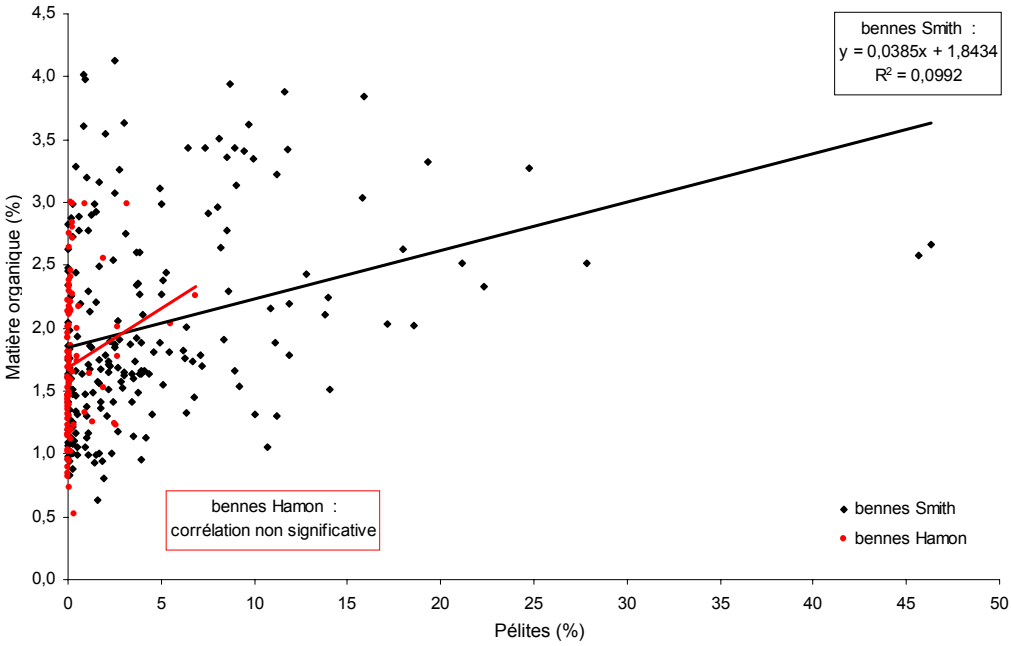


Figure II-23 : Corrélation entre taux de pélites et pourcentage en M.O pour les sédiments de l'Iroise prélevés à la benne Hamon (98 échantillons) ou à la benne Smith (205 échantillons), équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

Si l'on étudie maintenant la corrélation entre pélites et M.O. par site, seules les corrélations calculées pour les Pierres Noires et Morgat sont significatives (figure II-24). Les points en deçà de la droite de régression indiqueraient des sédiments pauvres en M.O. tandis que ceux situés au-dessus représenteraient les stations enrichies en M.O. Les points qui apparaissent comme relativement pauvres en M.O. correspondent pour les Pierres Noires aux stations A, C, G, H, I, K, L et S, c'est-à-dire les stations de la zone est. Inversement, les stations de la zone ouest apparaissent comme enrichies en M.O. par rapport à la corrélation globale (figure II-24a). Une telle différenciation géographique des zones enrichie ou pauvre en M.O. n'est pas perceptible pour les stations de Morgat (figure II-24b).

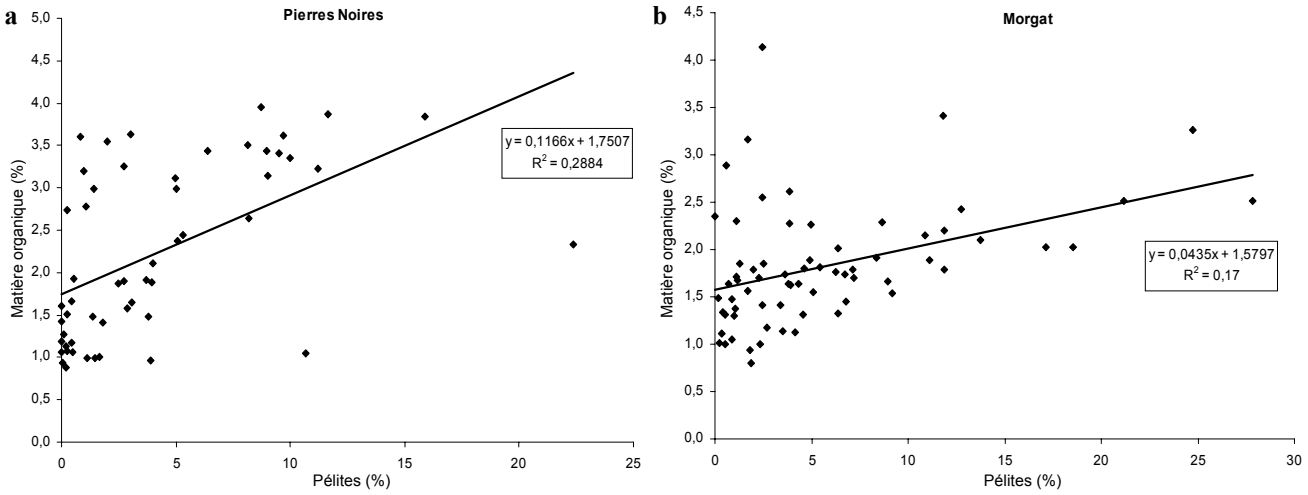


Figure II-24 : Corrélation entre taux de pélites et pourcentage en M.O. pour les sédiments des Pierres Noires (a) et de Morgat (b) prélevés à la benne Smith, droite de régression et coefficient de corrélation.

Le Bris avait établi une telle relation pélites-M.O. à partir des mesures réalisées sur des échantillons de vases et sables envasés prélevés en rade de Lorient et dans la baie de Vilaine (Le Bris, 1988), deux milieux semi-fermés. Cette relation peut être comparée avec celle trouvée dans les sédiments fins et envasés des Pierres Noires, suffisamment proches au niveau granulométrique mais néanmoins situés en milieu dispersif.

La droite de régression calculée pour les sédiments des Pierres Noires est quasiment parallèle à celle calculée par Le Bris, mais elle est située nettement au-dessus : la valeur de la droite à l'origine est presque deux fois supérieure (figure II-25). La relation entre le taux de pélites et le pourcentage de matière organique dans les sédiments de catégories sédimentaires comparables serait donc très proche entre plusieurs zones géographiquement distinctes, et ce malgré la différence très marquée d'hydrodynamisme entre ces zones. Par contre, la relation existant entre ces deux paramètres dans les sédiments grossiers et les graviers, majoritaires en Iroise, ne peut se décrire à l'aide d'une simple corrélation de ce type.

Ce résultat met en évidence la particularité du plateau sédimentaire du large -dont les Pierres Noires- au sein de l'Iroise : les courants y sont faibles comparés aux zones brassées qui l'entourent, tandis que la profondeur devient suffisante pour que le fond ne soit plus remanié par les houles, sauf sans doute lors de quelques évènements ponctuels plus violents. C'est donc précisément à ce niveau que les particules fines commencent à pouvoir sédimenter et à s'accumuler sans être remises en suspension. Les zones enrichies en pélites et celles enrichies en matière organique concordent donc.

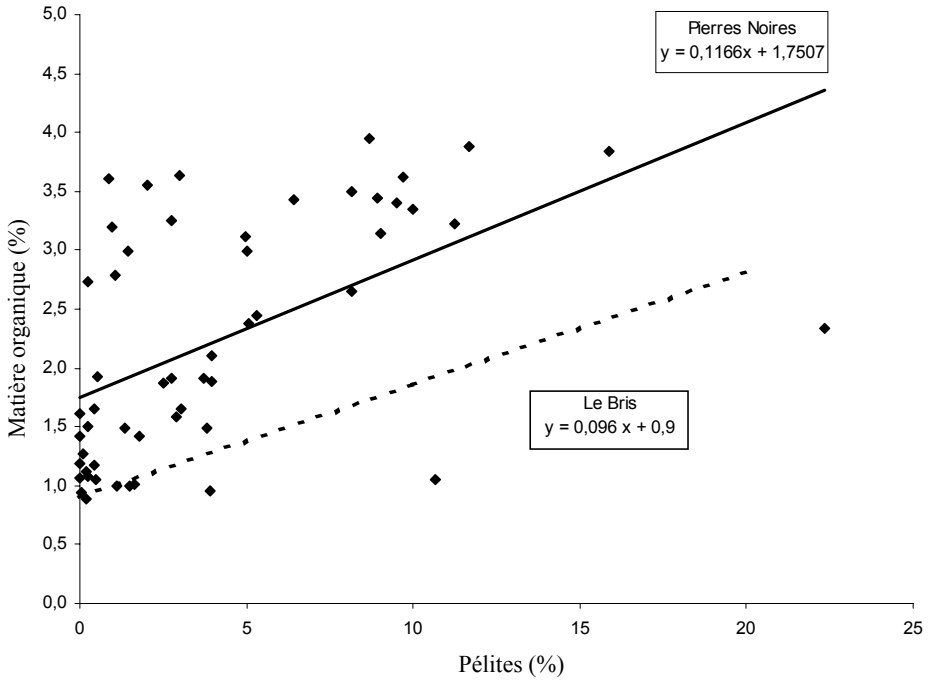


Figure II-25 : Corrélation entre pélites et matière organique dans les sédiments des Pierres Noires et dans ceux de la rade de Lorient et de la baie de Vilaine : équation des droites de régression (Le Bris, 1988).

La différence entre les valeurs à l'origine pourrait provenir d'une surestimation des valeurs mesurées en Iroise, due à la méthode de dosage par perte au feu à 450 °C. En effet, celle-ci ne distingue pas la perte de poids entre la matière organique elle-même et la perte d'autres composantes, comme les composés inorganiques et notamment les carbonates, particulièrement abondants dans les sédiments riches en débris coquilliers (Le Bris, 1988) et constituants essentiels du maërl (Grall, 2002). Dans le cas de notre étude, la grande abondance de sédiments coquilliers et la présence de maërl ou d'autres algues calcaires encroûtantes a pu entraîner la surestimation systématique des valeurs de pourcentage en matière organique, bien que la température utilisée ne permette normalement pas de brûler les carbonates.

Ce biais éventuel ne remet de toutes façons pas en cause l'information obtenue en termes de comparabilité des caractéristiques sédimentaires pour des sédiments de même type à l'intérieur de l'ensemble de la zone.

II-5- CONCLUSION

En Iroise, la profondeur joue un rôle important dans la physionomie des fonds. Les fonds de moins de dix mètres subissent de plein fouet la violence de la houle et des courants de marée parmi les plus forts d'Europe. Dans les zones qui correspondent à de la roche en place, les formes sont très chaotiques et la roche est dénudée. Au-dessous de quelques dizaines de mètres, la houle devient épisodique et n'intervient plus qu'à l'occasion de tempêtes exceptionnelles : les formes rocheuses se simplifient, soumises seulement aux variations très régulières des courants de marée, tandis que la couche sédimentaire prend les formes les plus variées dans les zones où les particules peuvent s'accumuler.

La nature et la répartition de ces sédiments est la résultante de l'interaction complexe d'un grand nombre de facteurs. En premier lieu, leur composition géochimique est déterminée par la structure géologique du bassin versant et des rivages voisins, qui sont la source du matériel minéral. Puis, durant leur transport, les particules subissent des altérations et des érosions si bien qu'en général, plus un sédiment est éloigné du rivage et plus les particules qui le composent sont fines. Le régime hydrodynamique détermine fondamentalement la taille des particules en place et les conditions de leur dépôt. Celui-ci dépend très étroitement de l'exposition aux courants marins, ce qui, en Iroise, distingue de fait deux grandes catégories de fonds.

Les hauts-fonds de roche (plateau de Molène et chaussée de Sein), sont des zones à forte énergie (ressac, courants de fond ou de marée), balayés par la houle et par de violents courants de marée. Ils sont dépourvus de sédiments, de même que le fond des passes (Fromveur, Four, Raz de Sein), où ne se trouvent que de la roche en place et parfois quelques cailloutis et graviers.

Les zones abritées (baies, estuaires) ou à faible hydrodynamisme (zones traversées de courants faibles à moyens ou suffisamment profondes pour échapper à l'action de la houle, comme le plateau sédimentaire du centre de l'Iroise) autorisent une sédimentation plus fine et permettent le maintien d'étendues sédimentaires de nature variée, allant jusqu'aux sédiments les plus fins qui peuvent même s'envaser.

L'approche de la zone en deux temps, prenant en compte les informations acquises à deux échelles complémentaires, a permis de réaliser une cartographie de la couverture sédimentaire et de la répartition du contenu en matière organique des sédiments pour la globalité de la zone. Par suite, l'utilisation d'informations concernant les quatre zones explorées à échelle fine nous a permis d'accéder à un niveau supplémentaire de diversité de la couverture sédimentaire, tout en mettant en évidence sa complexité, encore plus marquée à cette échelle.

L'exploitation d'échantillonnages répartis sur différentes saisons a révélé des modifications de l'envasement et de la richesse en matière organique de certains des sites suivis à échelle fine. Ces données saisonnières n'ont par contre pas permis d'observer de réelle évolution dans la répartition des multiples entités sédimentaires en présence dans ces zones. Cette variabilité saisonnière potentielle est en effet masquée par la très forte hétérogénéité spatiale observée à l'échelle intra-station (*i.e.* entre les réplicats d'une même station), la plus fine abordée lors de cette étude.

Cette étude sédimentaire de la mer d'Iroise a ainsi posé le problème de l'échelle de représentation des données, en plus de la difficulté plus classique qui consiste en l'extrapolation de résultats ponctuels en des surfaces continues. Ces deux problèmes sont intimement liés puisque le passage à une échelle plus fine implique une précision supérieure dans la représentation cartographique, ce qui nécessite la prise en compte de davantage de résultats ponctuels pour garder une fiabilité équivalente. Les surfaces extrapolées sont minimisées à chaque fois qu'un niveau supplémentaire est franchi dans la finesse de l'échelle ; cependant l'"idéal absolu" consistant à connaître les caractéristiques sédimentaires en chaque endroit de la zone ne sera jamais atteint. Leur exploitation nécessiterait de toutes façons la réalisation d'une carte de grande dimension, sans quoi la précision atteinte serait perdue et reviendrait à celle obtenue grâce à un nombre plus réduit de points.

Les cartes réalisées lors de cette étude par des méthodes manuelles sont finalement satisfaisantes dans la mesure où l'aire représentée est très grande. Les zones plus détaillées apportent des informations complémentaires très intéressantes, mais n'auraient pu être envisagées à l'échelle de toute la zone.

L'utilisation de moyens plus modernes de cartographie sédimentaire, comme les sonars et les sondeurs multifaisceaux, peuvent être particulièrement utiles pour connaître en détail la couverture sédimentaire d'une zone complexe. L'approche ponctuelle au moyen d'engins de prélèvements risque en effet de donner des résultats simplifiés et ne restituant pas cette complexité sédimentaire. Cependant, ces techniques ne couvrent qu'une petite surface

lorsqu'elles sont utilisées à des profondeurs faibles (moins de cinquante mètres), l'obtention d'une couverture à échelle globale est donc très longue. Elles nécessitent de toute façon un calibrage, pour faire correspondre avec certitude les profils ou images obtenues avec la réalité sédimentaire des fonds. C'est pourquoi elles sont souvent utilisées en complément de couvertures globales obtenues par les moyens plus rapides que nous avons utilisés.

Pour résumer cette étude sédimentologique, la mer d'Iroise présente des fonds dont la couverture sédimentaire est très largement dominée au nord par les cailloutis et les graviers plus ou moins sableux. De grandes étendues de sables sont également présentes, réparties en fonction de la force des courants de marée et de la houle dominante. Ces sables sont plutôt grossiers dans la partie nord, fins et biogènes à l'ouest : ils correspondent aux sédiments riches en *Cellaria* observés par Boillot (1960) au large de Roscoff. Ce sont les sables de l'Iroise, formés sur place par une accumulation de squelettes de ces bryozoaires vivant nombreux sur les zones de roches et de cailloutis toutes proches. Boillot avait ainsi remarqué que leur influence diminuait en pénétrant dans la Manche et on n'en observe plus du tout au-delà de l'île de Bréhat, ce qui résume bien les conditions hydrodynamiques de la zone nord de l'Iroise. Au centre de l'Iroise se trouvent des sables fins dont l'origine est étroitement liée à l'histoire géologique et hydrologique de la région. Enfin, les quelques zones de sables fins envasés sont encore liées à la courantologie et se situent principalement dans la moitié sud.

Par cette répartition sédimentaire opposant, le long d'un gradient continu, les cailloutis et graviers du Nord aux sables fins et parfois envasés du Sud, la mer d'Iroise assure la transition entre les "cailloutis de la Manche" et les fonds sablo-vaseux de la "Grande Vasière" du golfe de Gascogne, qui la bordent dans chacune de ces directions.

DEUXIÈME PARTIE

HABITATS ET PEUPLEMENTS DE LA MER D'IROISE

- CHAPITRE III -

LES PRINCIPAUX COMPARTIMENTS DE L'ÉCOSYSTÈME MARIN

III-1- INTRODUCTION

Contrairement aux milieux terrestres, dont les frontières peuvent être représentées, le milieu marin est un ensemble global au sein duquel toutes les composantes sont liées par les courants marins dont les effets peuvent se faire sentir à l'échelle globale (circulation océanique, grands courants marins comme le *Gulf Stream*) aussi bien qu'à échelle locale. Il n'existe pas de frontière au sens propre en milieu marin (Steele, 1985). Deux principaux compartiments sont cependant distingués : la zone pélagique (ou colonne d'eau) et la zone benthique (le fond de la mer). Leurs bases de fonctionnement sont très différentes étant donné les types d'environnements qu'elles représentent ; pourtant il existe de nombreuses interactions pelagos-benthos les reliant. En particulier, les réseaux trophiques complexes qui se développent en milieu marin, ainsi que les phénomènes de sédimentation et de remise en suspension des particules, témoignent des "ponts" existant entre ces deux domaines.

Les caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau ont été bien étudiées en mer d'Iroise (Mariette *et al.*, 1982 ; Le Fèvre *et al.*, 1983 ; Mariette et Le Cann, 1985 ; Birrien *et al.*, 1991) et la zone pélagique de la mer d'Iroise est connue pour être très productive (Morin, 1984 ; Morin et Le Corre, 1985 ; Morin *et al.*, 1993). La chaîne trophique pélagique intègre d'ailleurs aussi bien des grands prédateurs (oiseaux, phoques et dauphins) que les plus grands consommateurs primaires du milieu marin : les requins pèlerins (Le Duff et Hily, 1999a). Moins d'informations semblent disponibles quant au fonctionnement du milieu benthique en mer d'Iroise, même s'il est sans doute très lié à celui du milieu pélagique.

Avant de développer l'analyse des communautés du domaine benthique, il est donc utile de situer ce compartiment dans l'ensemble de l'écosystème marin. Ce chapitre présente les principales subdivisions du domaine marin de l'Iroise : nous détaillerons en particulier l'influence des phénomènes frontaux en zone pélagique et le concept d'étagement en écologie benthique. Puis suivra une brève synthèse sur la connaissance de peuplements animaux remarquables (invertébrés et vertébrés).

III-2- LES DOMAINES MARINS

III-2-1- Le domaine pélagique

III-2-1-1- L'influence des fronts de marée

Le milieu pélagique de la mer d'Iroise est sous la dépendance des phénomènes océanographiques décrits précédemment : la production primaire est influencée directement par l'existence des fronts thermiques et par la périodicité des courants de marée (Morin *et al.*, 1994 ; L'helguen *et al.*, 1993).

Au printemps, au large du front d'Ouessant, l'épuisement rapide des eaux superficielles en nitrates limite la production phytoplanctonique. Le maximum de chlorophylle est observé au voisinage de la thermocline, il s'agit le plus souvent d'une majorité de dinoflagellés (Grall *et al.*, 1981) ou d'autres petits flagellés (Videau, 1987).

Dans le domaine homogène situé entre le front d'Ouessant et le front interne de l'Iroise, le brassage vertical suffit à maintenir en permanence un flux vertical d'éléments nutritifs. La couche euphotique n'est jamais épuisée mais le développement du phytoplancton est tout de même limité par des perturbations liées au brassage de la colonne d'eau. Les teneurs en chlorophylle sont relativement peu élevées (1 à 2 µg/l) et sont distribuées de façon assez uniforme depuis la surface jusqu'au fond. Cette population phytoplanctonique est dominée par les diatomées.

Par contre, dans la zone de balancement du front (*i.e.* le domaine frontal), les teneurs en chlorophylle sont très fortes, avec un maximum situé généralement du côté stratifié du front, en subsurface, là où la thermocline remonte à la surface. Le phytoplancton est ici essentiellement composé du dinoflagellé *Gyrodinium cf. aureolum*.

Au niveau du front interne de l'Iroise, la couche euphotique s'étend jusqu'au fond, au moins pendant l'été. Dans la colonne d'eau, l'assimilation des nitrates est complète et l'ammonium est la source essentielle d'azote pour le développement du phytoplancton (Birrien

et al., 1991), principalement composé de *Gyrodinium cf. aureolum* (Morin *et al.*, 1989 ; Le Corre *et al.*, 1993, 1996).

Sur les deux fronts, la fertilisation en éléments nutritifs résulte du rythme des marées, selon un cycle morte-eau - vive-eau dont la périodicité est de 14,7 jours (Morin *et al.*, 1994). La production de phytoplancton n'est donc pas continue. Les conséquences de cette discontinuité pour la mise en place d'une chaîne alimentaire, avec des espèces zooplanctoniques herbivores et carnivores, restent mal connues. En effet, les données sur le zooplancton sont peu nombreuses et aucune relation directe entre les maxima d'abondance du phytoplancton et du zooplancton n'a encore été mise en évidence (Holligan *et al.*, 1984 ; Le Fèvre *et al.*, 1983 ; Le Fèvre, 1986).

III-2-1-2- Les espèces du milieu pélagique

Le domaine pélagique de l'Iroise est également peuplé d'espèces de plus grande taille, dont plusieurs ont une valeur patrimoniale reconnue.

De très nombreux poissons pélagiques vivent dans le domaine pélagique de la mer d'Iroise, notamment la sardine (*Sardina pilchardus*), le maquereau (*Scomber scombrus*), le chinchard (*Trachurus trachurus*), le sprat (*Sprattus sprattus*), l'alose (*Alosa alosa*), l'aiguillette (*Belone belone*), deux espèces de mulets (*Liza aurata* et *L. saliens*) et les requins hâ (*Galeorhinus galeus*) et peau-bleue (*Prionace glauca*). D'autres espèces y sont signalées mais semblent moins fréquentes dans la zone ; c'est le cas pour l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), le maquereau espagnol (*Scomber japonicus*), deux autres espèces de mulets (*Liza ramada* et *Chelon labrosus*), la truite de mer (*Salmo trutta*) et le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*). Trois espèces ont également été l'objet de rares observations : le maigre (*Argyrosomus regius*), le poisson pilote (*Naucrates ductor*) et le poisson lune (*Mola mola*) (Le Duff et Hily, 1999b).

La zone du large de la mer d'Iroise est également parcourue par un grand nombre d'espèces, lors de migrations qui les amènent à traverser la zone selon un axe nord-sud. Parmi elles, la plus grande est un poisson : le requin pèlerin (*Cetorhinus maximus*), qui se nourrit de plancton et dont les plus grands spécimens peuvent dépasser dix mètres de longueur et peser

jusqu'à huit tonnes. Des observations de requins pèlerins en mer d'Iroise sont régulièrement enregistrées durant l'été.

De nombreux oiseaux de mer vont au large pêcher leur nourriture constituée de ces poissons pélagiques. Certaines populations aviaires installées en mer d'Iroise représentent une part importante des effectifs français et européens. La zone pélagique a donc un rôle essentiel dans le cycle biologique de ces espèces, en tant que zone de nourrissage, permettant le maintien des colonies qui trouvent une source de nourriture abondante à proximité de leurs aires de reproduction, situées le long des côtes ou sur des îles et îlots peu fréquentés.

Les mammifères marins utilisent également le domaine pélagique de l'Iroise pour pêcher et se déplacer sur de longues distances. La population de phoques gris présente en Iroise exploite ainsi un domaine pélagique très étendu, entre la Bretagne et les îles britanniques, pour des déplacements entre les colonies ou pour la chasse. Au cours de leur cycle annuel, les phoques utilisent les sites bretons parmi plusieurs autres, répartis tout autour de la mer Celtique et de l'Ouest de la Manche (Vincent, 2001). Deux groupes de grands dauphins résident également dans la zone : l'un autour de l'archipel de Molène et l'autre vers l'île de Sein (Liret, 2001).

III-2-2- Le domaine benthique

Le domaine benthique représente la surface solide constituant le fond de la mer, par opposition à la colonne d'eau (*i.e.* le domaine pélagique). Il englobe donc les fonds rocheux comme les fonds sédimentaires meubles de toutes natures représentés dans la zone, y compris les estrans. La diversité de la nature et de l'origine des substrats, leur présence à des profondeurs allant de quelques mètres à presque cent mètres, ainsi que la variabilité considérable de l'hydrodynamisme dans les différents secteurs de l'Iroise, multiplient le nombre des habitats marins rencontrés en Iroise.

III-2-2-1- Rappel des concepts d'étagement en écologie benthique

En plus de la séparation de base entre le milieu intertidal (zone de balancement des marées) et le milieu subtidal (zone marine toujours immergée), la zone marine côtière est classiquement segmentée en plusieurs étages, selon le concept d'étagement en mer à marées (Picard, 1965 ; Pérès, 1967 ; Glémarec, 1994) : cinq grands étages sont distingués, les deux premiers correspondant au milieu intertidal et les trois autres au milieu subtidal.

- L'étage supralittoral est situé au-dessus du niveau des hautes mers de vives-eaux moyennes (hautes mers des marées de coefficient 90-105). Cet étage n'est immergé que pendant les marées d'équinoxe ; il est par contre régulièrement humidifié par les embruns et les vagues lors des tempêtes. Il assure le passage entre le milieu terrestre et le milieu marin. Les organismes marins qui vivent dans cet étage doivent supporter des variations importantes de température et de salinité et résister à la dessiccation.

- L'étage médiolittoral est localisé entre le niveau des hautes mers de vives-eaux moyennes et celui des basses mers de vives-eaux moyennes (basses mers des marées de coefficient 35-50). Cet étage correspond à la majeure partie de la zone intertidale. Les organismes présents doivent supporter des variations journalières et saisonnières de lumière, de température et de salinité.

- L'étage infralittoral est en majeure partie toujours immergé. Seule sa frange supérieure est exondée lors des basses mers de vives-eaux (basses mers des marées de coefficient 110-115). Cet étage est soumis à des fluctuations périodiques de la lumière et de la

température. Celle-ci varie au cours de la journée, en fonction du rythme des marées et au cours des saisons. Les fluctuations journalières peuvent atteindre quelques degrés et la fluctuation saisonnière dépasse 10°°C.

- L'étage circalittoral côtier est un milieu qui présente encore des fluctuations environnementales, mais seule la température présente des variations saisonnières dont l'amplitude reste inférieure à 10°°C.

- L'étage circalittoral du large est un milieu stable où la fluctuation saisonnière de la température est de l'ordre de 1 à 2°°C. L'obscurité y est quasi complète et les algues pluricellulaires autotrophes n'y poussent plus.

Cette reconnaissance des étages est volontairement déconnectée des strictes limites bathymétriques, puisque c'est le brassage hydrodynamique réalisé localement qui détermine la pénétration en profondeur de l'infralittoral. Sa limite inférieure est située le plus souvent entre 15 et 20 mètres en Bretagne mais elle atteint 30 à 35 mètres au large de l'Aquitaine, où viennent agir les fortes houles océaniques (Dauvin, 1997). Pour la Manche, Cabioch l'a située au niveau de profondeur correspondant à la disparition des Laminaires, soit 25 à 30 mètres (Cabioch, 1968).

La définition de la limite inférieure de l'étage circalittoral du large demeure assez vague tant elle est difficile à apprécier sur le terrain par des critères purement phycologiques. En effet, cette limite se situe en principe dans la zone qui sépare les dernières algues pluricellulaires des premiers horizons nettement bathyaux, tranchant par leur peuplement général sur tout ce qui les surmonte. La limite entre les deux étages circalittoraux est également incertaine ; le plus souvent elle a été située entre 80-85 mètres et 90 mètres pour les zones proches de celle qui nous concerne (Cabioch, 1968 ; Glémarec, 1969 ; 1978).

En plus de cette segmentation verticale de la zone côtière, il existe des coupures horizontales qui reposent sur l'hydrodynamisme, avec trois subdivisions, appelées "modes". Ceux-ci rendent donc compte à la fois de l'action directe des courants (houle, marée), de leur influence sur la nature du substrat, de leur rôle dans le transport des particules et de leur action thermodynamique.

Ainsi, des zones de modes battu, semi-abrité ou abrité sont distinguées selon l'exposition aux courants, à la houle et aux vents dominants. La force des vagues conditionne l'installation et la répartition des espèces, au moins de l'étage supralittoral à l'étage infralittoral. Son action est directe en zone rocheuse et reste importante dans les zones

sédimentaires. En effet, la houle et les courants de marée ont un rôle primordial dans le transport et le dépôt des particules ; leur action va alors déterminer la nature même du substrat en place.

Un troisième type de divisions bionomiques a été utilisé par Cabioch pour les milieux rocheux de la Manche. Deux ensembles indépendants de l'étagement sont distingués, basés seulement sur les conditions édaphiques générales. L'ensemble frontolittoral est un domaine de fonds accidentés, parcourus par des courants souvent turbulents, où les pointements rocheux alternent avec des étendues sédimentaires, tandis que l'ensemble prélittoral est constitué par les fonds plats de la plaine profonde, parcouru par des courants réguliers (Cabioch, 1968).

Pour rendre compte de la distribution de la faune benthique dans une région à fortes marées comme la Manche occidentale, il a finalement proposé un système où des "ensembles" morphologiques, hydrodynamiques et sédimentaires se combinent avec les divisions verticales, plus universelles. Les étages, subdivisés en horizons, sont ainsi recoupés par les ensembles édaphiques frontolittoral et prélittoral, subdivisés en zones d'hydrodynamisme. Ce système s'est révélé très pertinent pour comprendre la répartition des peuplements d'espèces sessiles de cette zone.

III-2-2-2- Les différents types d'habitats

Une synthèse des connaissances sur les habitats remarquables de la mer d'Iroise a été réalisée en 1999 par (Le Duff et Hily, 1999a, b). Les éléments mis en avant dans ce document, ainsi que les résultats d'autres études, correspondent pour la plupart à des milieux qui n'ont pas été étudiés lors de ce travail de thèse ; ils sont synthétisés dans cette partie.

III-2-2-2-1- Les milieux rocheux

Les milieux rocheux sont particulièrement étendus dans les zones intertidales et subtidales de la mer d'Iroise. La faune et la flore y sont abondantes et variées. Quelques

exemples d'habitats remarquables ont été recensés, pour les différents niveaux bathymétriques.

Zone intertidale

Sur les falaises battues par les vagues, un faciès de milieu subtidal a pour espèce dominante le cirripède pédonculé *Pollicipes cornucopiae*, appelé en Bretagne "pouce-pied". L'exploitation importante de cette espèce l'a rendue rare sur les côtes françaises et elle ne subsiste, en Iroise, que dans quelques stations (Keller, Tas de Pois, Cap Sizun).

En milieu intertidal également, il est possible d'observer certaines espèces d'affinité subtidale dans les fissures, les grottes et les surplombs situés à l'ombre : ces espèces trouvent à l'obscurité des conditions de vie très proches de celles de leur milieu habituel, plus profond. C'est le cas par exemple dans les grottes de Morgat, où ces remontées faunistiques sont remarquables.

Des études récentes portant sur la structure, la biodiversité et la dynamique des écosystèmes des champs de blocs intertidaux de la pointe de la Bretagne ont été menées entre 1995 et 1999 (Le Hir, 2002). La flore algale y est organisée en ceintures parallèles au rivage, chaque ceinture étant constituée d'une algue dominante, différente selon le niveau hypsométrique et le mode hydrodynamique. Au niveau de la faune, la capacité des espèces à résister à l'émersion, la compétition pour l'occupation de l'espace et pour l'accès aux ressources trophiques provoquent un étagement des espèces sur l'estran, particulièrement net au sein des groupes trophiques. Cet étagement est fortement structuré par une spécialisation croissante des organismes à leur environnement vers les plus hauts niveaux.

En particulier, la fonction écologique des champs de blocs de l'île de Molène a été étudiée à travers leur rôle de nurserie pour les juvéniles de tourteaux (*Cancer pagurus*) et d'étrilles (*Necora puber*). Le mode hydrodynamique semble y déterminer les migrations verticales des espèces sur l'estran, entraînant une descente en profondeur et/ou un déplacement des zones battues vers les zones abritées pendant l'hiver (Le Hir et Hily, 1997) Plus globalement, la richesse spécifique de la zone intertidale de Molène apparaît être particulièrement élevée (Jean *et al.*, 1993 ; Hily et Jean, 1997).

La diversité biologique de la macrofaune benthique de l'écosystème intertidal a également été évaluée à l'île de Sein. L'inventaire spécifique est encore incomplet bien que 187 espèces y aient été répertoriées pour le seul substrat des champs de blocs intertidaux. De plus, une forte richesse spécifique et une répartition équitable des abondances ont été

observées pour chacune des espèces. Le fait que très peu puissent être considérées comme rares à cette échelle d'observation est un résultat remarquable en terme de biodiversité (Le Hir, 1999) et montre l'importance de la zone intertidale de Sein en tant que patrimoine écologique de grande valeur. D'autre part, cette étude a amené une meilleure connaissance du fonctionnement de l'écosystème des champs de blocs, avec la mise en évidence du rôle de la structure architecturale de l'habitat comme facteur principal contrôlant les abondances et les biomasses de la faune, jusqu'à un seuil de 70 % d'émersion moyenne, au-delà duquel l'influence du taux d'exondaison devient décisive.

Ces études ont démontré que les champs de blocs intertidaux représentent des entités écologiques biologiquement remarquables en termes de diversité et ont attiré l'attention sur leur appartenance aux habitats les plus menacés par l'augmentation de la fréquentation des zones côtières.

Zone subtidale

L'important plateau rocheux de l'archipel de Molène est recouvert par un vaste champ d'algues qui recèle de nombreuses espèces. Cuillandre (988) donnait en 1988 une liste de 77 espèces établie à partir des travaux de Dizerbo et Floc'h pour Ouessant et l'archipel de Molène. Cette liste a été complétée par l'Association de Découverte du Monde Sous-marin en 1994 (A.D.M.S., 1994), le nombre d'espèces a alors été porté à 124 pour les fonds situés autour de l'île d'Ouessant. En fait, les travaux de Dizerbo et Herpe (non publiés, cités dans Le Duff et Hily, 1999a) sur la répartition des algues marines des côtes françaises font état de la présence de 319 espèces de macroalgues dans la zone d'étude. Parmi celles-ci, une espèce de l'Atlantique Nord, *Alaria esculenta*, n'existe en France que sur les côtes normandes (à Cherbourg) et bretonnes : la limite sud de l'aire de répartition de cette laminariale coïncide avec la limite sud de la zone d'étude. À l'inverse, l'algue rouge *Gelidium sesquipedale*, d'affinité méridionale, est ici en limite nord de répartition.

Mais l'habitat de substrats rocheux le plus spectaculaire est constitué en milieu subtidal par les champs de laminaires, au bas de la zone de balancement des marées. Ils occupent en Iroise de vastes étendues dans l'archipel de Molène et la chaussée de Sein : les deux espèces de laminaires dominantes, y compris du point de vue économique, sont *Laminaria digitata* (entre +1 et -2 mètres) et *Laminaria hyperborea* qui la remplace à partir de -2 mètres et jusqu'à 20-25 mètres de profondeur. D'autres grandes algues brunes (*Laminaria saccharina*, *Sacchoriza polyschides*, *Alaria esculenta*) sont également présentes en Iroise. Les travaux

portant sur les algues de l'Iroise concernent surtout les zones d'Ouessant et de l'archipel de Molène, grand centre régional et même national et européen de la récolte goémonière.

Par leur taille, ces algues constituent un substrat de choix et un habitat original pour un certain nombre de végétaux et d'animaux qui leur sont étroitement liés. Les champs d'algues présentent en plus une stratification constituée par divers organismes de taille et de port différents, à l'image des forêts terrestres (Arzel et Castric-Fey, 1997).

Cependant, si la biodiversité des algues est remarquable en Iroise, c'est surtout le volet économique lié à l'exploitation des laminaires qui a donné lieu aux travaux les plus récents, notamment pour établir et améliorer les estimations des surfaces de ces champs, difficiles à évaluer malgré leur persistance dans le temps. En Bretagne, l'exploitation des algues repose actuellement sur la récolte de trois espèces : *Laminaria digitata*, *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus*. Les deux dernières sont récoltées à la main lors des grandes marées, tandis que la récolte de *L. digitata* est mécanique et se fait depuis des navires armés à la pêche.

En Iroise, le champ principal de *L. digitata*, situé dans l'archipel de Molène, est estimé à plus de 1 600 hectares (Piriou, 1987) et un deuxième site existe autour de Sein, sur une surface d'environ 150 hectares (Arzel *et al.*, 1992). Les estimations semblent évoluer à la baisse, mais les différences s'expliquent le plus souvent par l'utilisation de photographies satellitaires de plus en plus précises ou par des différences de méthodologie dans les approches choisies (Le Duff et Hily, 1999a).

L'exploitation industrielle des algues à partir de navires de pêche se limite actuellement dans l'Iroise à la récolte de *Laminaria digitata*. Elle est remplacée vers deux mètres de profondeur par *Laminaria hyperborea*, qui constitue des champs jusqu'à vingt à vingt-cinq mètres et atteint même quarante mètres en certains points de l'archipel de Molène (Floc'h, 1982), en raison de l'exceptionnelle clarté des eaux et de la présence de forts courants entourant les îles.

Dans cet archipel, la superficie estimée du champ de *L. hyperborea* serait de plus de 10 000 hectares (Piriou, 1987), ce qui en fait la composante la plus importante des champs d'algues bretons et explique aussi le nombre élevé de demandes d'exploitation formulées pour cette espèce depuis le début des années 1990 (Arzel *et al.*, 1992).

Lorsque l'énergie lumineuse ne représente plus que 1 % de l'énergie de surface, les laminaires disparaissent. Elles sont remplacées par des algues sciaphiles et la flore devient de plus en plus discrète. L'étage infralittoral laisse alors la place à l'étage circalittoral côtier. Le

substrat est colonisé par une faune sessile variée comprenant principalement des bryozoaires, des spongiaires, des anthozoaires, des hydraires et des ascidies (Castric-Fey et Chassé, 1991). Certaines de ces espèces peuvent cependant constituer de véritables champs, comme les gorgones en baie de Douarnenez (Castric-Fey *et al.*, 1997).

Du point de vue faunistique, l'étage circalittoral du large est caractérisé, en Atlantique, par la présence du corail jaune (*Dendrophyllia cornigera*) et, en Manche, du gorgonaire *Antipathes subpinnata* et des éponges *Pachastrella compressa* et *Geodia cydonium* (Cabioch, 1968). Le site d'Ouessant est particulièrement intéressant en tant que lieu de transition entre le faciès nordique (à *Geodia-Pachastrella-Antipathes*) et le faciès plus méridional à *Dendrophyllia* puisque cette espèce sténotherme y est observée sur son site le moins profond connu actuellement, à trente mètres de profondeur seulement (Castric-Fey, 1996).

III-2-2-2-2- Les faciès influençant les peuplements sublittoraux fixés

Bien que la superficie de la mer d'Iroise soit restreinte par rapport aux deux secteurs adjacents, la Manche et le golfe de Gascogne, les peuplements fixés des fonds sublittoraux y sont très diversifiés et reflètent une triple influence, puisque trois types de faciès s'y expriment.

Des faciès caractéristiques des fonds brassés de la Manche sont observés autour d'Ouessant et de l'archipel de Molène. Ils se présentent sous des formes très originales, probablement en rapport avec les conditions d'hydrodynamisme extrêmes. Les peuplements de la chaussée de Sein appartiennent sans doute à cette catégorie de peuplements d'eau mixée, étant donnée la force des courants parcourant cette zone. Toutefois, les quelques données existantes sur l'épifaune de cette zone (Hinschberger *et al.*, 1967) restent à ce jour incomplètes.

Sur la côte nord à la sortie de la rade de Brest, des faciès en eau stratifiée, enrichis par l'influence côtière, caractérisent des zones qui subissent l'impact des eaux de la rade avec des apports de nutriments venant de l'Elorn, de l'Aulne et de l'agglomération brestoise. Une forte biomasse fixée sur les fonds rocheux, ainsi qu'une mosaïque de faciès, dont certains sont remarquables pour leur richesse ou leur originalité, y sont observés. Les hydraires gazonnants sont variés et très abondants dans tout le secteur (Le Duff et Hily, 1999a). Des faciès d'eau

mixée apparaissent lorsque le courant se renforce, comme c'est le cas à la sortie du goulet de Brest (Basse Hermine).

Des faciès typiques d'eau stratifiée, analogues à ceux de la Bretagne Sud baignée par l'Atlantique, sont observés sur les basses au large de la presqu'île de Crozon (Tas de Pois, Basse du Lis, Basse Menehom…). Les peuplements ressemblent à ceux de l'archipel des Glénan. Tous les faciès de mode battu décrits dans cette zone se retrouvent ici. Les peuplements de la baie de Douarnenez semblent appartenir à cette catégorie mais les données actuelles demandent à être étoffées. Dans ce dernier ensemble, des enclaves de peuplement de type d'eau mixée s'observent lorsque le courant se renforce localement, comme c'est le cas pour les tapis horizontaux d'*Alcyonium digitatum*, observés dans les couloirs entre deux têtes de roche, aux Tas de Pois et à la Basse Vieille, également pour les remarquables champs de gorgones (*Eunicella verrucosa*), au pied des falaises du Cap Sizun. Bien que ces deux espèces soient communes sur le littoral breton, il est rare qu'elles présentent des densités aussi importantes.

III-2-2-2-3- Les fonds meubles

Ces fonds sont extrêmement diversifiés en Iroise, puisque tous les types sédimentaires sont observés et la plupart à des profondeurs variées, ce qui multiplie d'autant la variété d'habitats disponibles pour la faune (première partie). Les habitats de la zone intertidale, plus faciles d'accès, sont assez bien connus tandis que le milieu subtidal reste peu exploré, surtout la partie la plus au large de la zone.

Zone intertidale

Deux habitats du supralittoral sont représentés dans la zone d'étude. Le premier correspond aux laisses de mer, où vivent principalement des "puces de mer" (amphipodes Haustauriidae). L'autre concerne les dépôts d'algues et de déchets divers s'accumulant sur les plages, peuplés par les talitres *Talitrus saltator*, qui sont remplacés sur les grèves de galets et de cailloutis par des *Orchestia spp*.

Trois habitats du médiolittoral sont également présents : ce sont les sables moyens dunaires à *Nerine cirratulus* et à Haustauriidae, les sables grossiers et graviers à *Dosinia exoleta* et les sables fins de mode battu à *Donax trunculus* et *Donax vittatus* (Le Duff et Hily,

1999a). Cet habitat, particulièrement bien représenté sur les côtes de la mer d'Iroise, s'observe sur toutes les plages faisant face aux grandes houles de l'ouest (Blancs Sablons, anse de Dinan, plages de Kerloc'h, Kervel, Sainte-Anne la Palud, Pentrez…). Sur ces plages, les populations de *Donax* (appelées tellines par les pêcheurs) sont particulièrement importantes puisqu'elles peuvent atteindre quatre cents individus par mètre carré (Hallegouët et Hénaff, 1995).

Un dernier habitat à signaler est intermédiaire entre la zone intertidale et subtidale : il s'agit des herbiers de phanérogames. Cet habitat infralittoral, très particulier, est constitué dans notre zone marine par les herbiers de zostères. Les phanérogames marines sont de véritables plantes à fleurs, ce qui leur confère un certain nombre de propriétés : elles sont adaptées à la vie en milieu salé et elles sont capables de croître complètement submergées, elles ont un système de pollinisation aquatique et un système d'ancrage capable de résister à l'action des vagues et des courants. La plus connue en France est la posidonie (*Posidonia oceanica*), mais le long des côtes Manche/Atlantique françaises, deux espèces seulement ont colonisé le milieu marin : *Zostera marina* et *Zostera noltii*. La distribution locale de ces deux espèces dans leur environnement diffère : *Z. marina* se développe dans la zone infralittorale, du bas de l'estran jusqu'à trois à quatre mètres de profondeur (et exceptionnellement dix mètres dans des eaux très claires), la quantité de lumière étant le principal facteur limitant son développement. *Z. noltii* se développe en milieu abrité, dans la zone médiolittorale. D'autre part, il est généralement admis que les herbiers de *Z. marina* subtidaux sont pérennes, tandis que les herbiers les plus hauts sur l'estran peuvent être annuels et dépendent de la germination des graines pour se maintenir (Den Hartog, 1977).

Les herbiers s'établissent sur des sédiments de types très variés : meubles, graveleux, sableux ou vaseux. En Iroise, de nombreux herbiers de zostères ont été signalés dans l'archipel de Molène, sur les fonds meubles à l'est de Litiri, au nord-ouest de l'île de Quéménès, dans la crique sud de Bannec et dans les anses autour de Béniguet (Floc'h, 1967). D'autres herbiers sont également présents dans la plupart des anses sableuses au nord du Conquet, dans l'anse de Bertheaume, dans le nord de la baie de Douarnenez entre le cap de la Chèvre et Morgat, ainsi que devant l'île de l'Aber (Hily *et al.*, 1999). La localisation des principaux herbiers de zostères signalés en mer d'Iroise est indiquée sur la figure III-1.

Zone subtidale

Cette zone restait la moins bien connue, bien qu'elle constitue la plus grande surface de l'Iroise ; elle justifie donc l'objectif majeur de notre étude. Les connaissances disponibles

sont basées essentiellement sur quelques études réalisées en zone très côtière (baie de Douarnenez), sur certaines parties de la zone (Hinschberger *et al.*, 1967) ou encore déduites des connaissances biosédimentaires acquises dans d'autres zones de la façade Manche/Atlantique. Ces données suggèrent que les habitats de l'étage circalittoral côtier sont peu différents de ceux de l'étage infralittoral (Le Duff et Hily, 1999a), grâce au brassage important subi par les eaux dans la majorité de cette zone marine.

Un habitat particulier est constitué par le maërl, algues rouges calcaires arbusculaires (Corallinales, Corallinacées) constituant un sédiment à part entière. Des branches, tout d'abord encroûtantes, se détachent, avant de poursuivre leur développement à l'état non fixé et de s'accumuler en dépôts épais : ce sont ces amoncellements de thalles ramifiés et libres d'algues Corallinacées qui forment les fonds appelés "bancs de maërl". De tels dépôts contiennent une proportion souvent importante d'éléments non vivants en mélange (sables, graviers, coquilles vides).

Les Corallinales constitutives du maërl sont des végétaux photosynthétiques, elles ont donc besoin de lumière pour leur développement, avec deux conséquences essentielles : d'une part, seule la couche superficielle d'un banc peut demeurer vivante tandis que la partie recouverte meurt et se décolore ; d'autre part, la position bathymétrique des fonds de maërl est commandée par la transparence des eaux (Grall, 2002). Les fonds de maërl de Bretagne, comme ceux d'Irlande et de Cornouaille anglaise, sont composés de deux espèces principales : *Phymatolithon calcareum*, d'affinité nordique et *Lithothamnion corallioides*, plus méridionale.

Dans la zone d'étude, il existe trois bancs de maërl importants (figure III-1). Le gisement des Pourceaux, au nord-est de Litiri dans l'archipel de Molène, s'est développé sur un fond sableux et fait actuellement l'objet d'une exploitation. Un autre, en baie de Camaret, s'est développé en continuité d'un fond rocheux et n'a jamais été exploité, de même que le troisième, en baie de Douarnenez, qui se présente en bancs superposés avec des cailloutis, des vases ou des sables fins. En fait de banc de maërl, il s'agirait plutôt d'un mélange de maërl et de sables grossiers formant des travées de longueurs et de largeurs variables (longueurs de 150 à 2 300 mètres, largeurs de 15 à 200 mètres), mais dont l'épaisseur ne dépasserait jamais un mètre (Augris *et al.*, 1988). La présence de maërl vivant était connue sur le gisement des Pourceaux et à Camaret (Grall, comm. pers.), mais celle de la baie de Douarnenez demandait à être confirmée.

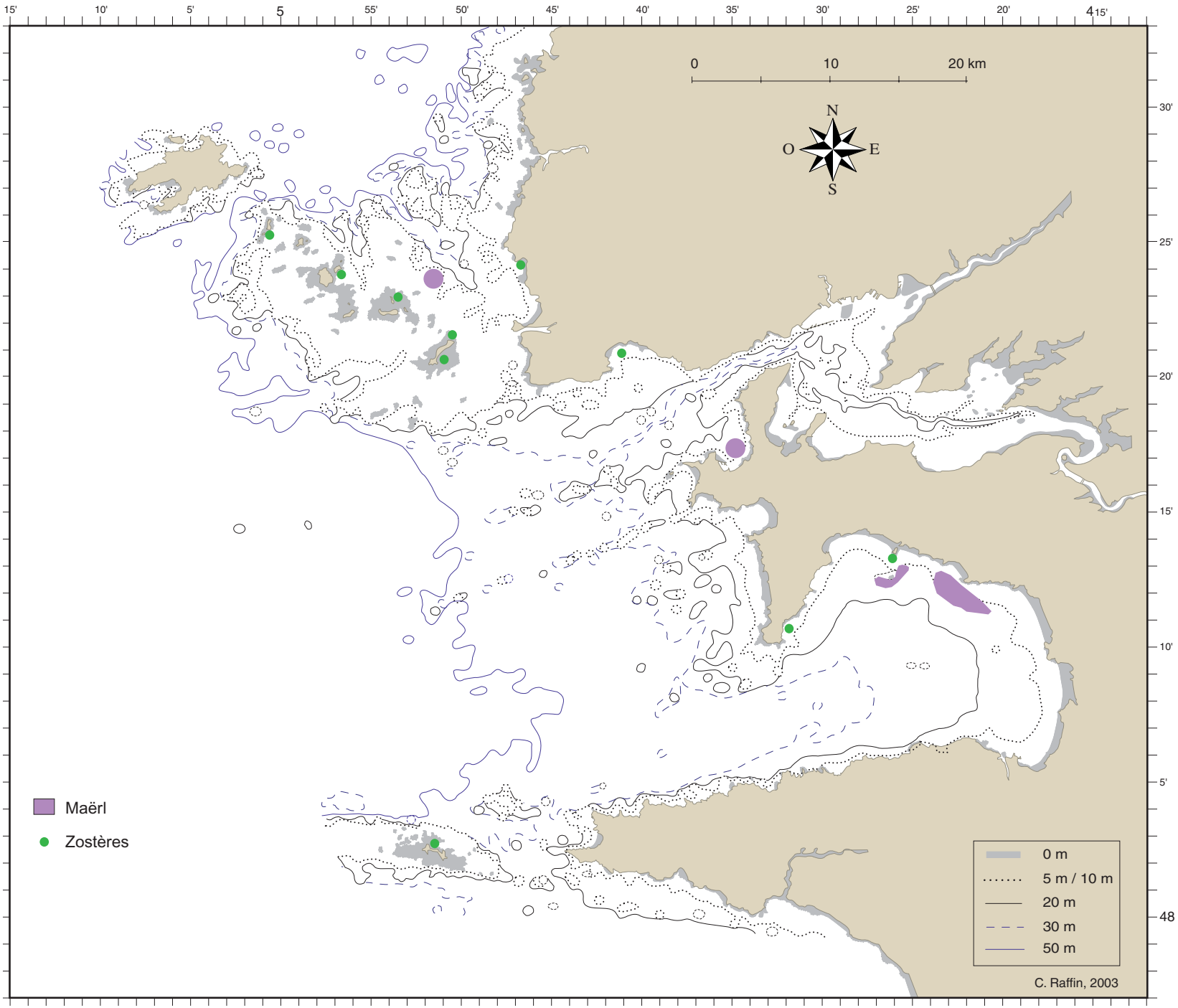


Figure III-1 : Localisation des bancs de maërl et des herbiers de zostères (*Zostera marina*) signalés en mer d'Iroise.

III-3- LES PEUPLEMENTS ANIMAUX REMARQUABLES

III-3-1- Les invertébrés

L'inventaire des invertébrés marins n'a encore jamais été mené à l'échelle de la mer d'Iroise et les données scientifiques concernant les espèces infralittorales non exploitées sont plutôt rares.

Avant les années 1960, une seule étude écologique a été réalisée par Prenant en 1939 sur les plages de la baie de Douarnenez. Puis de nombreuses études sur la faune marine des côtes bretonnes ont été entreprises pendant les années 1960. Elles ont concerné la zone au large de Roscoff (Cabioch, 1961 ; Toulmond, 1964 ; Toulmond et Truchot, 1964) et en Manche occidentale (Cabioch, 1968), puis les peuplements sessiles de l'archipel des Glénan (Descatoire, 1967 ; Fey, 1967 ; Lafargue, 1967), le golfe du Morbihan (Glémarec, 1964) et le golfe de Gascogne (Glémarec, 1969), mais le secteur de la mer d'Iroise est resté en dehors des zones étudiées jusqu'en 1967 où sont publiés des travaux menés aux abords de l'île de Sein par Hinschberger *et al.*.

Par la suite, la baie de Douarnenez a été le cadre de nombreuses études (Toulemont, 1972 ; Bodin *et al.*, 1984), en particulier sur les peuplements de ses grandes étendues de sables fins (Guillou, 1985a) et notamment les populations d'échinodermes (Guillou et Robert, 1979 ; Guillou, 1981, 1983, 1985b, 1996 ; Guillou et Guillaumin, 1984 ; Bourgoin, 1987 ; Bourgoin et Guillou, 1990 ; Bourgoin *et al.*, 1991 ; Bourgoin et Guillou, 1994) et de bivalves (Guillou et Sauriau, 1985 ; Guillou et Le Moal, 1978, 1980).

Plus récemment, Castric-Fey et Chassé (1991) ont précisé les connaissances des biocénoses subtidales présentes à la sortie de la rade de Brest et l'A.D.M.S. a publié un inventaire de la faune des fonds rocheux autour de l'île d'Ouessant (A.D.M.S., 1994) ainsi qu'en proche Iroise (A.D.M.S., 1996).

Au niveau de l'espace intertidal, plusieurs travaux sur la zone (Jean *et al.*, 1993 ; Hily et Jean, 1997), sur les champs de blocs (Le Hir et Hily, 1997 ; Le Hir, 1999, 2002) et sur les peuplements des herbiers de zostères (Den Hartog et Hily, 1997 ; Hily *et al.*, 1999) complètent les connaissances sur les invertébrés. D'autre part, un programme visant à étudier

la croissance des ressources coquillières du large par rapport à la zone plus côtière et plus exploitée a été mené par Ifremer en 1998 (Fifas, 1998)

Les peuplements benthiques de la mer d'Iroise restaient donc largement méconnus, en particulier dans la zone subtidale. De plus, la grande majorité des données publiées sont anciennes et nécessitent une mise à jour, afin d'établir une carte de base des peuplements des fonds de la mer d'Iroise, travail encore inédit à cette échelle.

Dans cette synthèse des connaissances préalables, la compilation des données bibliographiques permet une petite présentation des espèces déjà inventoriées par le passé, chez trois grands groupes d'invertébrés particulièrement remarquables par leurs tailles et souvent leur intérêt commercial : les crustacés, les mollusques et les échinodermes.

III-3-1-1- Les crustacés

Les crustacés benthiques sont représentés en mer d'Iroise par des espèces appartenant aux groupes des cirripèdes, des amphipodes, des isopodes, des copépodes, des cumacés et des décapodes. C'est dans ce dernier groupe que se trouvent les espèces ayant un intérêt commercial : crevettes, langoustines, homards, langoustes et crabes. Plusieurs ont fait l'objet d'études concernant leur biologie, leur exploitation et la gestion de leurs stocks en Bretagne (Autissier *et al.*, 1981 ; Campillo, 1984 ; De Kergariou, 1984 ; Latrouite et Le Foll, 1989 ; Le Foll, 1982, 1993 ; CRPCM de Bretagne, 1981a,b,c ; Cuillandre *et al.*, 1984). Les espèces non commercialisées n'ont par contre guère été étudiées et une seule publication concerne la méiofaune et les copépodes harpacticoïdes des sédiments meubles (Bodin, 1984).

La grande majorité des espèces commerciales des côtes atlantiques françaises est présente en Iroise. Les crevettes roses (*Palaemon serratus*) et grises (*Crangon crangon*), ainsi que l'étrille (*Necora puber*), sont peu exploitées par les professionnels bien qu'elles soient très recherchées par les plaisanciers à l'occasion des grandes marées.

Le homard (*Homarus gammarus*), la langouste rouge (*Palinurus elephas*), le tourteau (*Cancer pagurus*) et l'araignée (*Maja squinado*) font, par contre, l'objet d'une pêcherie importante à partir des quartiers de Brest, Camaret et Audierne, tandis qu'ils apparaissent comme captures accessoires dans le quartier de Douarnenez.

Le cycle de vie des tourteaux et des araignées a été particulièrement bien étudié, afin de comprendre leurs migrations entre la côte et le large.

La reproduction des tourteaux a lieu de novembre à février-mars et l'éclosion des œufs se produit entre avril et octobre avec un pic au début de l'été. Il semble que les femelles aient besoin de fonds sablo-vaseux pendant cette période d'incubation (CRPCM de Bretagne, 1981c ; Cuillandre *et al.*, 1984). Les larves connaissent alors une vie pélagique pendant six à huit semaines, durant laquelle elles sont véhiculées dans la tranche superficielle de la masse d'eau et peuvent être transportées et dispersées loin du lieu d'éclosion. À l'issue de la métamorphose, le juvénile débute sa vie benthique à une taille voisine de 2,5 mm, pendant laquelle il a de nombreux prédateurs, dont les poissons. Cette phase a lieu en zone très côtière, sur les fonds rocheux de l'intertidal ou du subtidal. Le secteur de l'Iroise joue un rôle particulièrement fondamental pour cette espèce puisqu'il existe d'importantes nurseries en zone côtière (du médiolittoral médian à vingt mètres de profondeur) dans l'archipel de Molène (Le Hir et Hily, 1997). La maturité sexuelle est atteinte vers trois ans et les jeunes crabes migrent vers de plus grandes profondeurs : ils alimentent ainsi les stocks du large. Les femelles se rapprochent des côtes au moment de la reproduction, selon une direction inverse à celle de la dérive des larves au moment de leur phase pélagique, participant au maintien biogéographique de l'espèce.

Des nurseries d'araignées de mer sont également connues au nord du Conquet, dans l'anse de Bertheaume et dans la rade de Brest. Après une vie pélagique de deux à trois semaines, les juvéniles grandissent par mues successives pendant environ deux ans, dans des zones de nourriceries peu profondes (zéro à vingt mètres) : baies, estuaires et souvent des herbiers de zostères à fond sablo-vaseux (Hily, comm. pers.). À l'issue d'une mue terminale, qui intervient entre mai et octobre, les jeunes adultes effectuent une migration vers le large, sur une zone d'hivernage dont la profondeur est généralement supérieure à cinquante mètres. Puis ils se rapprochent des côtes au printemps pour leur première reproduction (Latrouite et Le Foll, 1989).

La mer d'Iroise étant également une zone originale d'un point de vue biogéographique, certaines espèces de crustacés sont en limite nord de répartition, comme le cirripède *Pollicipes cornucopiae*, le bernard-l'hermite *Clibanarius erythropus* et les crabes *Pachygrapsus marmoratus* et *Eriphia verrucosa*.

III-3-1-2- Les mollusques

Les mollusques les mieux étudiés en Iroise sont les gastéropodes et les bivalves ; les céphalopodes sont également à citer puisque objets d'une pêche professionnelle. L'inventaire des espèces est loin d'être terminé, notamment à cause de la petite taille de nombreuses espèces (quelques millimètres), mais le nombre d'une centaine d'espèces de bivalves et autant de gastéropodes est avancé pour la zone (Le Duff et Hily, 1999a).

Parmi les gastéropodes, le triton de l'Atlantique (*Charonia lampas*) est la plus grande espèce de l'Atlantique du Nord, avec une taille de trente centimètres. Il se nourrit d'étoiles de mer et est quasiment en limite nord de répartition en Iroise (Graham, 1988).

Les céphalopodes sont représentés notamment par la seiche (*Sepia officinalis*), l'encornet (*Loligo vulgaris*), le calmar veiné (*Loligo forbesi*) et les pieuvres (*Octopus vulgaris* et *Eledone cirrhosa*). Les seiches et les calmars sont aussi des espèces qui accomplissent des migrations saisonnières, pour réaliser leur cycle de reproduction : les adultes quittent les zones d'hivernage du large au printemps et en été, pour rejoindre des eaux côtières plus chaudes. Puis les juvéniles rejoignent à l'automne les aires d'hivernage. Ceci conditionne l'exploitation des seiches, qui relève essentiellement de la pêche professionnelle et comporte deux flottilles distinctes : l'une pratique le chalut au large et l'autre le casier à la côte au printemps, lors de la reproduction. L'exploitation côtière des seiches a donc pour cible des adultes et peut avoir un impact sur la pêcherie du large dès lors que la quantité de frai préservée est insuffisante tandis que l'exploitation ciblée des juvéniles au large peut avoir des répercussions sur les pêcheries d'adultes dès le printemps suivant.

La majeure partie des études réalisées a porté sur les populations de bivalves de la baie de Douarnenez (Guillou, 1980, 1982, 1985a ; Guillou et Le Moal, 1978, 1980 ; Guillou et Sauriau, 1985 ; Le Moal, 1993), ainsi que sur les coquilles Saint-Jacques du large (Antoine, 1979 ; Fifas, 1998).

Chez ces espèces sédentaires, de mauvaises conditions de recrutement peuvent conduire à une diminution sévère du stock d'adultes malgré une forte fécondité, particulièrement pour les espèces associant un âge de maturité tardif et une faible longévité. La capacité de certains gisements de coquillages à se maintenir durablement s'en trouve alors réduite. Ce phénomène explique les apparitions et disparitions sporadiques de certains gisements dont la répartition, l'étendue et la capacité d'essaimage dépendent des courants pour la phase larvaire pélagique (Palmer *et al.*, 1996) et de la nature du substrat pour les premiers

stades benthiques (Jacobi et Langevin, 1996). Dans les cas extrêmes, comme celui du pétoncle blanc *Aequipecten opercularis*, les individus deviennent exploitables dès leur première ou deuxième année. Une exploitation intensive est alors susceptible d'accentuer le caractère intermittent de ces gisements. Dans le cas de la spisule (*Spisula ovalis*), exploitée jusqu'à la fin des années 1980, les bancs sont instables et disparaissent rapidement d'un endroit puis sont observés ailleurs. Leur repérage et leur exploitation deviennent aléatoire, donc difficilement conciliables avec les objectifs de rendement d'une pêcherie.

Actuellement, plusieurs espèces font l'objet d'une pêche professionnelle, principalement les coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) et les tellines, depuis le début des années 1990.

En plus de leur intérêt économique certain, les bivalves sont par ailleurs un excellent outil pour estimer valablement la réalité d'une limite entre les provinces "lusitanienne" et "boréale" au niveau de l'Iroise (Glémarec, 1988).

III-3-1-3- Les échinodermes

Les échinodermes sont représentés par 33 espèces en Iroise (Le Duff et Hily, 1999a), mais ce nombre pourrait évoluer avec la réalisation de nouveaux échantillonnages, notamment en zone profonde (60-100 mètres). Ils sont présents dans tous les étages et sur tous les substrats et représentent presque tous les groupes trophiques, avec des brouteurs, des suspensivores, des déposivores, des petits carnivores, des grands carnivores et même des super-prédateurs comme les étoiles *Luidia ciliaris* et *L. sarsi*.

La plupart des études réalisées sur ce groupe porte sur la baie de Douarnenez, où certaines espèces d'ophiures et d'étoiles de mer forment de grandes populations (Bodin *et al.*, 1984 ; Bourgoin, 1987 ; Bourgoin et Guillou, 1990, 1994 ; Bourgoin *et al.*, 1991 ; Guillou et Robert, 1979 ; Guillou, 1981, 1983, 1984, 1985b, 1990, 1996 ; Guillou et Guillaumin, 1984). Le caractère soudain et massif de la réussite de leur recrutement, provoquant de véritables explosions de certaines populations d'étoiles de mer et d'ophiures dans les années 1980, ont entraîné de nombreuses études et suivis dans les zones concernées.

III-3-2- Les vertébrés

III-3-2-1- Les poissons

Les poissons ont été plutôt bien étudiés dans la zone Iroise. De nombreuses campagnes océanographiques au chalut de fond, des captures effectuées dans des nourriceries ou sur l'estran ont permis de dresser la liste des espèces rencontrées en mer d'Iroise. De nombreuses études ont également été consacrées à la biologie des poissons de l'Iroise (Chalabi, 1984 ; Le Duff, 1997 ; Rodriguez, 1996a, b ; Alayse, 1987 ; Déniel, 1974, 1990 ; Déniel et Tassel, 1986 et surtout aux poissons plats de la baie de Douarnenez (Baron, 1983 ; Déniel, 1975, 1979, 1981, 1983, 1984 ; Diallo, 1987 ; Gherbi-Barré, 1983 ; Quiniou, 1978, 1986 ; Baron, 1985a, b ; Quiniou-Le Mot et Quiniou, 1977 ; Quiniou et Déniel, 1985).

Au total, 127 espèces de poissons vivent dans cette zone géographique ou la fréquentent, dont 107 sur le fond ou au voisinage de celui-ci (82 benthiques et 25 démersales). Les 20 autres sont des espèces pélagiques de pleine eau. En fait, la quasi totalité des espèces inventoriées sur les côtes françaises de l'océan Atlantique et de la Manche est également représentée dans la zone d'étude.

Parmi elles, 49 espèces benthiques de fonds meubles sableux sont inventoriées en Iroise. Ces poissons se répartissent surtout en fonction de la nature sédimentaire des fonds : les Pleuronectiformes (poissons plats, 18 espèces), qui préfèrent les sables fins, dominent en baies de Douarnenez et d'Audierne, ainsi que dans l'anse de Dinan. Ils sont déjà moins abondants dans l'anse de Berthaume et cèdent la place aux Sélaciens (12 espèces de raies) dans la rade de Brest, où les sables grossiers plus ou moins envasés sont les types de fond les mieux représentés ainsi qu'au large. Ces poissons, comme les raies, sont caractérisés par un âge de maturité tardif, une fécondité limitée et un faible taux de dispersion des œufs, ce qui les rend particulièrement sensibles à une exploitation par la pêche. En plus de ce comportement relativement sédentaire, leur morphologie les rend encore plus vulnérables aux engins de pêche.

En baie de Douarnenez, des peuplements hivernaux et estivaux ont été identifiés (Quiniou, 1986). Un groupe d'espèces est présent uniquement en hiver : ces espèces sont

moins littorales, comme les Gadidés, elles arrivent dans la baie lors de la disparition de la zone frontale de l'Iroise en octobre. Un autre groupe y est seulement plus abondant l'hiver que l'été. Au contraire, *Solea lascaris* et les espèces du genre *Arnoglossus* sont typiques des peuplements estivaux. Cette alternance de peuplements est en relation avec les périodes de reproduction des espèces : les populations hivernales rassemblent surtout des espèces à reproduction hivernale et dont l'aire de répartition est plus nordique, tandis que les espèces estivales connaissent une reproduction plus tardive.

Chez les poissons plats, les œufs et les larves sont disséminés par les vents et les courants et entraînés ainsi depuis leurs aires de ponte vers des nourriceries intertidales ou peu profondes, sur des distances parfois très longues. Les juvéniles y débutent leur vie benthique, avec une très grande dépendance vis-à-vis de l'exposition aux agents hydrodynamiques et aux arrivées d'eau douce. Les estrans exposés accueillent essentiellement des vives, tandis que les plages abritées renferment des populations de plies et de solettes, ces deux types de nourriceries subissant des variations de températures et de salinités différentes (figure III-2). Les jeunes poissons fuient ensuite en profondeur, à partir de novembre.

Quelques précisions concernant le rapport entre les zones de ponte et celles utilisées comme nourriceries ont pu être apportées une dizaine d'espèces de poissons plats. Trois types de comportements ont été observés (Déniel, 1981, figure III-3).

Les poissons de "type Plie" (*Pleuronectes platessa* et *Limanda limanda*) viennent se reproduire en baie de Douarnenez. Le développement larvaire et la croissance des juvéniles ont lieu dans des nurseries essentiellement intertidales, sur des zones voisines de celles des frayères, jusqu'à leur maturation sexuelle. Les jeunes adultes quittent alors la baie pour gagner l'Iroise et n'y reviendront que la prochaine reproduction. Les aires d'alimentation des adultes et des jeunes sont donc séparées.

Les poissons de "type Sole" (Soleidae *Solea vulgaris*, *S. lascaris*, *Buglossidium luteum* et Bothidae *Arnoglossus thori*, *A. laterna*) effectuent la totalité de leur cycle biologique en baie de Douarnenez, les jeunes restent une année dans des nourriceries situées sur les plages, en limite inférieure de la zone intertidale, puis gagnent des nourriceries infralittorales. Ils grandissent donc dans ou à proximité de l'aire de ponte et les aires d'alimentation des adultes et des juvéniles sont séparées ou peuvent se chevaucher et peuvent même coïncider temporairement.

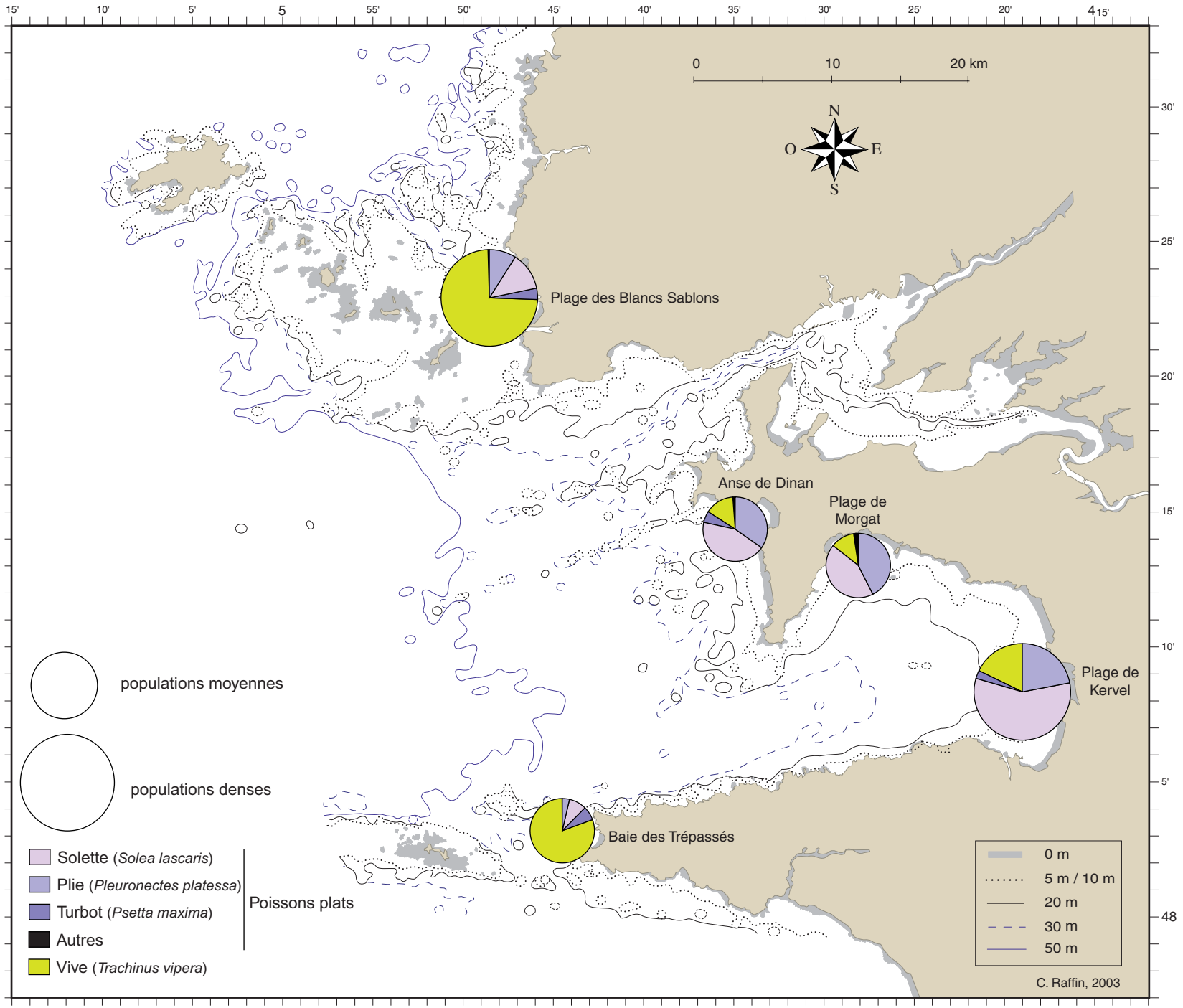


Figure III-2 : Importance et composition des nourriceries, en pourcentage de densités de juvéniles (source Quiniou, 1986).

Les poissons de "type Turbot" (*Psetta maxima* et *Scophthalmus rhombus*) se reproduisent hors de la baie de Douarnenez, les larves, entraînées par les courants, y entrent. Après la métamorphose, les alevins gagnent les nourriceries intertidales de la baie. Les juvéniles y passent une année puis migrent vers des zones de plus grande profondeur. À partir de leur troisième année, les jeunes adultes quittent la baie et rejoignent l'Iroise. Les jeunes ne grandissent donc pas à proximité de l'aire de ponte et leurs aires d'alimentation sont tout à fait séparées de celles des adultes.

D'autres poissons se reproduisent également dans la baie de Douarnenez, comme des Gadidés (lieu jaune, tacaud, merlan, capelan…), des Triglidés (grondins) des Sparidés (sar, *etc*…).

La baie de Douarnenez apparaît donc comme une zone géographique très originale par rapport aux autres secteurs de l'Iroise : elle est à la fois une zone d'alimentation, de reproduction et un lieu privilégié pour le développement d'un grand nombre d'espèces, en particulier les poissons plats, qui alimenteront les populations des zones voisines. La variabilité cyclique des peuplements, due aux modifications saisonnières de la proche Iroise, ainsi que la diversité des espèces, indiqueraient un mélange de divers taxons caractéristiques de deux zones biogéographiques distinctes. Ceci pourrait expliquer la remarquable diversité de la faune ichtyologique de la baie de Douarnenez, tout à fait exceptionnelle pour une zone géographique aussi réduite.

Les herbiers de zostères abritent, eux aussi, une faune ichtyologique particulière, avec notamment la présence d'espèces-phares comme les deux espèces d'hippocampes : l'hippocampe commun (*Hippocampus hippocampus*) et l'hippocampe rameux (*H. ramulosus*).

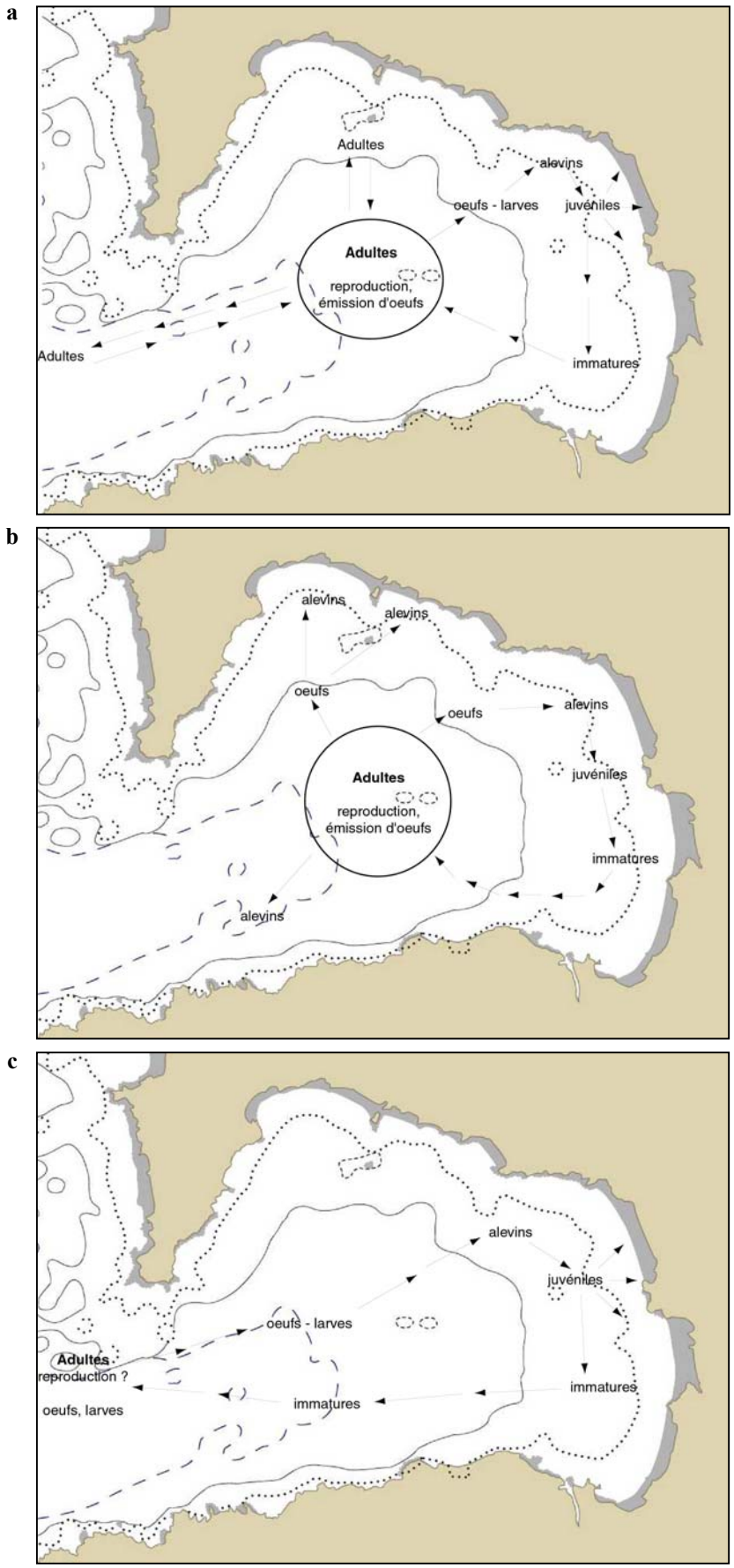


Figure III-3 : Schéma hypothétique de déplacements des poissons plats de "type Plie" (a), de "type Sole" (b) et de "type Turbot" (c). D'après Déniel (1981).

III-3-2-2- Les oiseaux de l'Iroise

Les oiseaux présents dans la zone d'étude se répartissent en plusieurs catégories (Breton, 1997 ; Cadiou, 1998 ; Offredo, 1999).

Les oiseaux marins ou oiseaux de mer sont des espèces qui peuvent ne fréquenter le littoral breton que pour s'alimenter ou pour s'y reproduire. Treize se reproduisent effectivement dans la zone d'étude : le fulmar, le pétrel tempête, le puffin des Anglais, le grand cormoran, le cormoran huppé, le guillemot de Troïl, le macareux moine, la mouette tridactyle, les goélands argenté, brun et marin, les sternes Pierregarin et naine. Les quatre espèces marines se reproduisant hors zone sont le fou de Bassan, le pingouin Torda, les sternes Caugek et de Dougall.

Une autre catégorie est celle des oiseaux de bord de mer, qui fréquentent les bords des plages ou les falaises. Huit espèces sont nicheuses et sont donc considérées comme sédentaires : le grand corbeau, le crave à bec rouge, le faucon pèlerin, le traquet motteux, le pipit maritime, le grand gravelot, l'huîtrier pie et le tadorne de Belon. Neuf espèces sont migratrices : le pluvier argenté, les bécasseaux variable, Sanderling, Maubèche et violet, le vanneau huppé, le tourne-pierre, la barge rouge et la spatule. Certaines populations de ces espèces représentent jusqu'à 60 % des effectifs français.

De nombreuses autres espèces de limicoles viennent également dans cette zone pour hiverner, ainsi que quelques espèces de canards (macreuse, en particulier en baie de Douarnenez).

La dernière catégorie correspond aux espèces rencontrées dans les îles, qu'elles soient sédentaires ou migratrices. Ce sont celles rencontrées classiquement sur le continent : l'alouette des champs, le troglodyte mignon, l'accenteur mouchet, le merle noir, la grive musicienne, le moineau domestique, la linotte mélodieuse et le coucou gris.

De plus, suite au recul de l'agriculture dans les îles dans les années 1950-1960, la richesse spécifique des oiseaux terrestres nicheurs est en augmentation en Iroise.

Des données sur les différentes espèces d'oiseaux marins présentes sur le littoral breton ont été répertoriées depuis de très nombreuses années. Leur intégration à un SIG a permis de produire une carte des sites de nidification à valeur patrimoniale pour la mer d'Iroise (figure III-4, d'après Le Berre, 1999). Un niveau d'importance patrimoniale régionale est attribué à chaque unité géographique ; il correspond à la somme globale des niveaux

d'importance de chaque espèce, qui dépendent de la part de l'effectif reproducteur par rapport à la population régionale de l'espèce et de son statut en France.

L'île d'Ouessant et toutes les îles de l'archipel de Molène apparaissent comme des sites de nidification d'importance majeure, ainsi que la partie ouest de la presqu'île de Crozon et les falaises de Sizun à la pointe du Raz.

De plus, par sa situation à l'extrême ouest du vieux continent, l'Iroise constitue, en période migratoire, une zone de passage obligé pour la plupart des espèces marines reproductrices d'Europe (oiseaux de mer, canards et limicoles). Le Cap Sizun et les parages d'Ouessant constituent deux promontoires avancés sur l'Atlantique, qui voient passer annuellement des centaines de milliers d'oiseaux marins. Ceux-ci rejoignent, au printemps, leurs colonies de reproduction situées plus au nord tandis qu'en automne, ils regagnent leurs zones d'hivernage du sud de l'Europe.

Mais la pointe de la Bretagne est également survolée par de très nombreuses espèces d'oiseaux terrestres transitant entre le nord et le sud de l'Europe ou de l'Afrique. Ainsi, le nombre d'espèces d'oiseaux, marines et terrestres, observées à Ouessant dépasse largement les trois cents (Le Duff et Hily, 1999a).

Les milieux marin et côtier de l'Iroise ont donc des rôles d'accueil et trophiques majeurs pour cette avifaune.

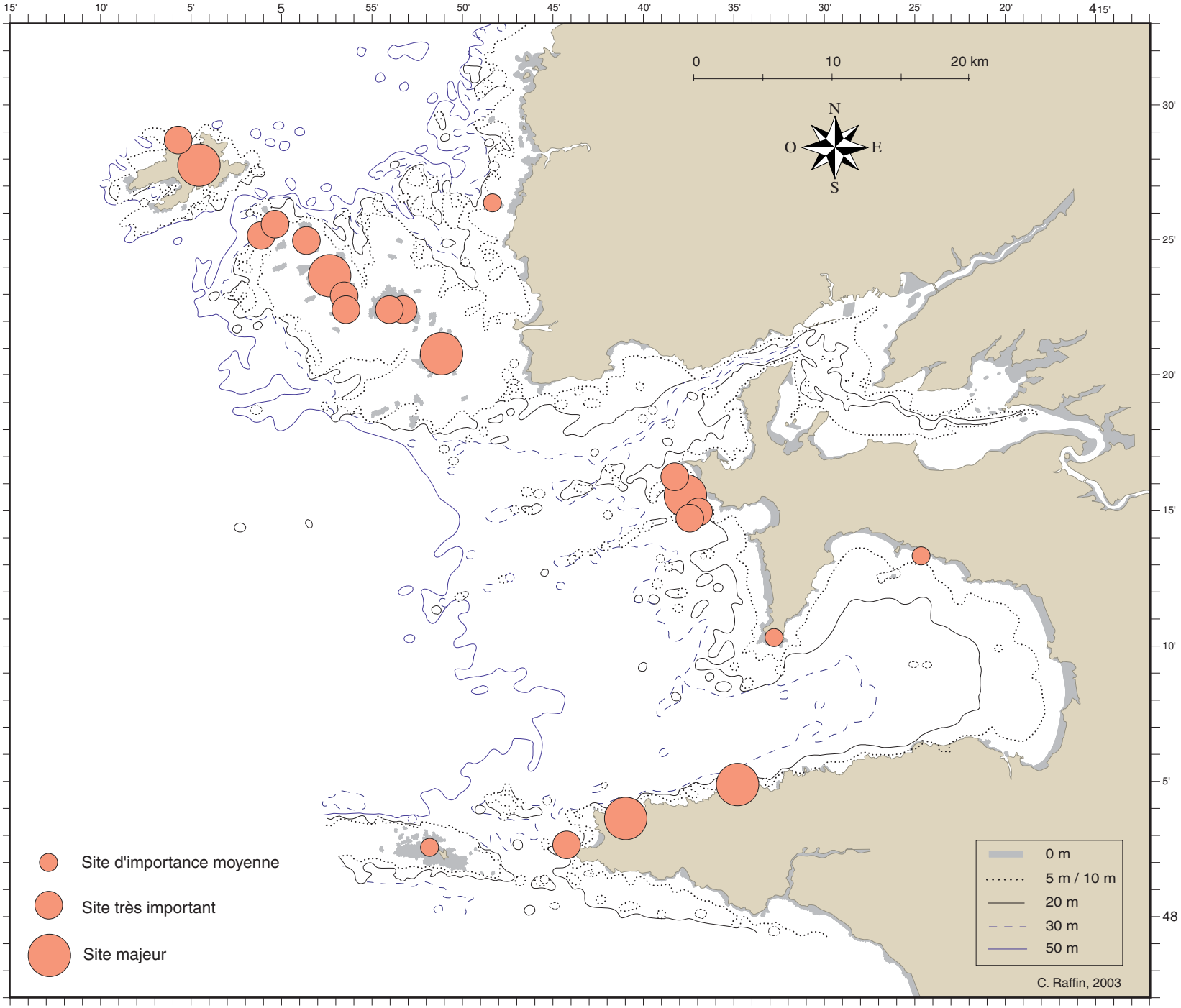


Figure III-4 : Sites de nidification à valeur patrimoniale pour les oiseaux marins. Sources Cadiou (1998), d'après Le Berre (1999).

III-3-2-3- Les mammifères marins

Les mammifères marins sont souvent considérés comme de précieux indicateurs de la biodiversité et de la productivité du milieu qu'ils fréquentent, en raison de leur position au sommet des chaînes alimentaires et de leur dépendance à l'ensemble du réseau trophique (Vincent, 2001). Ils sont également le plus souvent des espèces phares dans les politiques de protection des habitats marins. Dans le secteur de la mer d'Iroise, ils sont représentés principalement par trois espèces : la loutre d'Europe, le phoque gris et le grand dauphin, plus quelques autres espèces de cétacés occasionnels.

La loutre européenne (*Lutra lutra*) fréquente les rivières et les zones côtières marines. Le groupe constitué par les individus recensés en divers sites de l'Iroise (150 à 250) serait l'un des derniers foyers de loutres marines de France (Lafontaine, 1992, cité dans Le Duff et Hily, 1999a).

Le phoque gris (*Halichoerus grypus*) se trouve en France à la limite sud de son aire de répartition dans le nord-est de l'Atlantique. Cent à cent cinquante individus seulement sont estimés fréquenter les côtes françaises, principalement en Bretagne (Vincent, 2001).

L'utilisation de photographies pour l'identification individuelle des animaux (Vincent *et al.*, 1999) a permis de montrer qu'une centaine d'individus différents environ fréquente les reposoirs de l'archipel de Molène au cours de l'année (figure III-5). Il existe des échanges permanents avec les colonies britanniques, dont les effectifs sont beaucoup plus important puisqu'ils dépassent les cent mille individus. D'importantes variations saisonnières sont ainsi observées dans la structure des groupes. Les phoques gris de l'Iroise ne constituent donc pas une population fermée et sédentaire : cette petite population est constituée d'individus fréquentant le site en alternance avec d'autres reposoirs lors de mouvements saisonniers, sur les côtes de la Manche, la mer Celtique ou la mer d'Irlande. Ils font donc partie d'une grande colonie anglo-bretonne, dont certains individus se reproduisent dans les îles britanniques, alors que d'autres se reproduisent dans l'archipel de Molène et aussi, plus récemment, dans l'archipel des Sept-Îles (Vincent, 2001).

L'espèce est entièrement protégée par la convention de Berne (1979) et par des textes nationaux depuis 1976. Elle est classée comme espèce vulnérable dans le Livre Rouge des Espèces Menacées et apparaît en annexe 2 de la directive "Habitats Faune Flore", en tant

qu'*espèce animale d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation*.

Deux groupes de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) résident également en mer d'Iroise : l'un est installé dans l'archipel de Molène et l'autre autour de l'île de Sein (Hussenot, 1980). Dans les deux groupes, l'augmentation régulière des naissances assure un accroissement régulier des effectifs.

Au niveau comportemental, ces groupes présentent des différences. Les grands dauphins de l'archipel de Molène utilisent un vaste territoire, qui s'étend actuellement sur 45 km², allant des côtes du Conquet jusqu'au sud de Molène (Le Moal, 1996) et, plus occasionnellement, les côtes nord-est d'Ouessant. Le groupe de Sein utilise quant à lui un territoire beaucoup plus restreint, qui s'étend de l'est de l'île à la partie ouest de la Chaussée, en passant par le nord de Sein uniquement, soit une surface de seulement 6 km² environ (Ridoux *et al.*, 1994 ; Liret *et al.*, 1995, 1996, 1997 ; Liret, 2001, figure III-5).

D'autres espèces de cétacés fréquentent eux aussi très régulièrement les eaux de la pointe de la Bretagne, comme le dauphin commun (*Delphinus delphis*) et le globicéphale noir (*Globicephala melaena*). Plus rarement, le dauphin de Risso (*Grampus griseus*), l'orque (*Orcinus orca*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), les rorquals *Balaenoptera physalus* et *B. acutorostrata* et le cachalot (*Physeter macrocephalus*) ont également été observés, ainsi que le marsouin (*Phocoena phocoena*).

Les différents concepts et connaissances résumés dans ce chapitre fournissent les bases nécessaires pour aborder l'analyse des peuplements de l'Iroise. En effet, bien que la reconnaissance des unités d'habitats et de peuplements soit seulement basée sur le compartiment de la faune benthique (macrofaune et mégafaune), les communautés d'espèces ne peuvent être totalement isolées du reste de l'écosystème marin dont elles sont indissociables. Celui-ci représente leur environnement, au même titre que les caractéristiques physico-chimiques des sédiments sur lesquels elles sont installées.

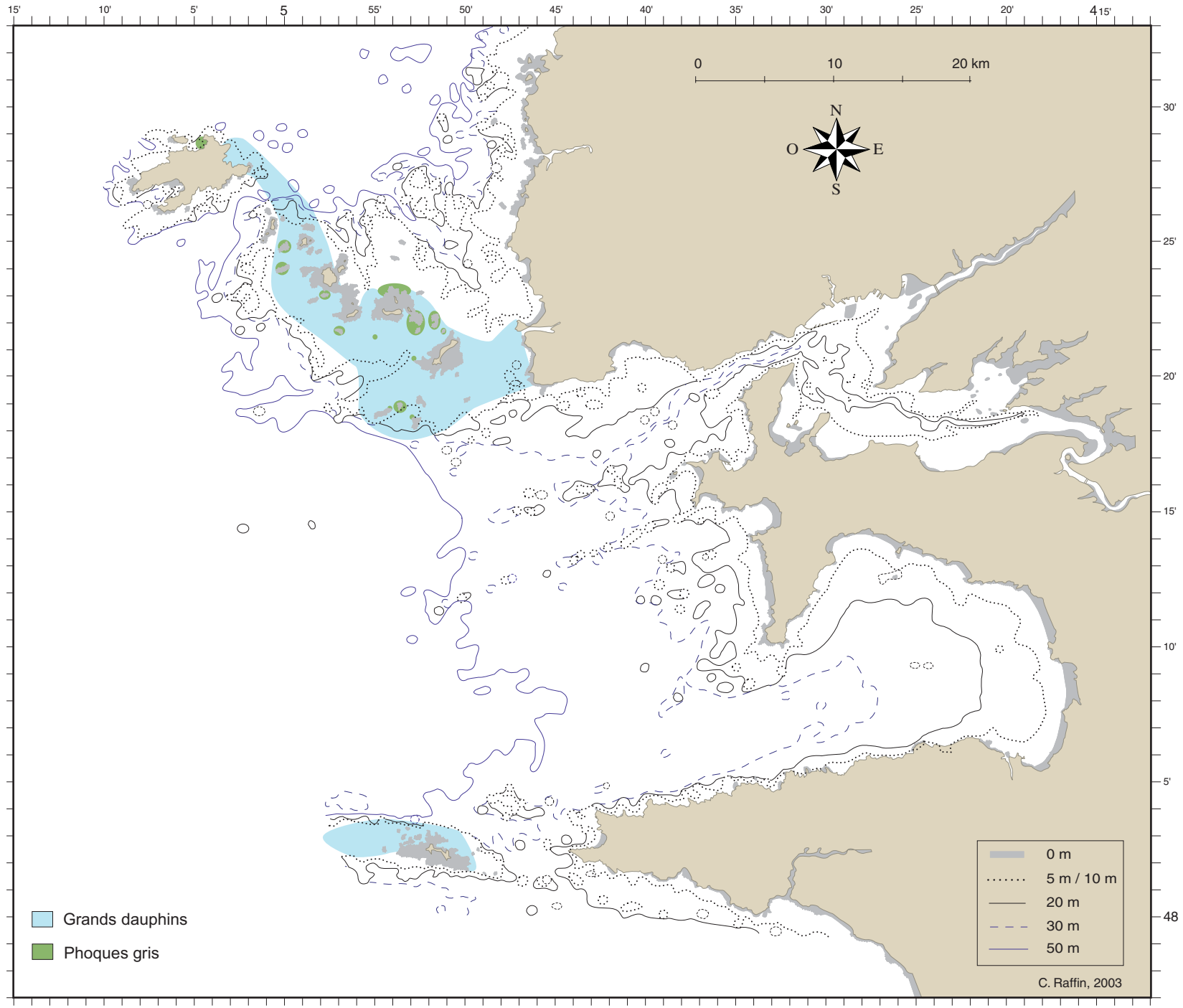


Figure III-5 : Zones de fréquentation des mammifères marins. Sources Liret *et al.* (1996) et Ridoux *et al.* (1994), d'après Le Berre (1999).

- CHAPITRE IV -

ÉTUDE DES HABITATS ET DES PEUPLEMENTS DES SÉDIMENTS MEUBLES DE LA MER D'IROISE

IV-1- INTRODUCTION

L'inventaire qualitatif de l'endofaune et de l'épifaune des substrats meubles couvrant la plate-forme continentale française, commencée dans la région de Marseille par Picard (1965), a été poursuivie au large de Roscoff par Cabioch (1968) avec une étude approfondie de l'épifaune des roches et des cailloutis. Glémarec (1969) a entrepris cet inventaire sur la marge continentale du nord du golfe de Gascogne. La côte catalane, au large de Banyuls-sur-Mer a été étudiée par Guille (1970a, b) et le plateau continental au large d'Arcachon par Monbet (1972). Dans la zone de l'Iroise, très peu d'études écologiques ont été réalisées : Prenant a rédigé des monographies de toutes les plages de la baie de Douarnenez (Prenant, 1939) et Le Danois a opéré des reconstitutions d'assemblages faunistiques nettement plus au large (Le Danois, 1948). Entre ces deux niveaux extrêmes, le domaine de l'infralittoral et du circalittoral de l'Iroise est resté très peu exploré, mis à part les travaux de Hinschberger, Saint-Réquier et Toulemont dans les parages de la Chaussée de Sein et en baie de Douarnenez (Hinschberger *et al.*, 1967 ; Hinschberger, 1970 ; Toulemont, 1972) et plus récemment ceux de Guillou (1980) en baie de Douarnenez.

Au cours de ces études, la compréhension de la nature des relations entre les invertébrés benthiques et les facteurs édaphiques, en particulier la température et la granulométrie, a été largement améliorée.

Après une présentation des méthodes d'analyses des peuplements utilisées, les résultats sont présentés en trois grandes parties. La première correspond aux données quantitatives obtenues à partir des bennes Hamon complétées par les données qualitatives de mégafaune surdispersée capturée dans les dragues et les chaluts, ainsi que par la macrofaune des bennes Hamon, lorsque celle-ci a été déterminée ; elle permet d'aborder l'analyse des peuplements à l'échelle globale de l'Iroise. La deuxième partie présente les résultats acquis grâce à l'étude de la macrofaune des bennes Smith : ce compartiment intègre bien les conditions environnementales (Warwick, 1993), c'est pourquoi son observation permet d'appréhender la variabilité spatiale et parfois temporelle de la zone. La troisième partie précise les répartitions de certaines espèces et de populations remarquables d'invertébrés benthiques. Enfin, la discussion générale permet de faire le lien entre tous les résultats, sédimentologiques et biologiques, à toutes les échelles considérées et de replacer ces résultats dans le contexte général des côtes Manche-Atlantique françaises.

IV-2- MÉTHODES D'ANALYSE DES PEUPLEMENTS

IV-2-1- Échantillonnage

Les stations retenues pour l'analyse des peuplements sont les mêmes que celles définies par échantillonnage stratifié dans le chapitre II (première partie), ce qui permet d'analyser les résultats faunistiques en fonction des données sédimentaires acquises.

Sur chacune des stations choisies à l'échelle globale sont effectués deux bennes Hamon (prélèvement quantitatif de 0,25 m²) et un trait de drague à coquilles S^t-Jacques modifiée (maillage 55 mm) d'environ 3 à 4 minutes (prélèvement qualitatif). Des traits de petit chalut à panneaux (maille du cul de chalut de 10 mm) ou de drague Rallier du Baty ont complété l'échantillonnage qualitatif de la mégafaune en quelques occasions.

Le contenu de la première benne est versé sur une table de tri comportant une grille de maille carrée 1 cm, sur laquelle les animaux de la mégafaune (≥ 1 cm) sont collectés à la main (figure IV-1a). Le sédiment passé au travers la grille est retenu au fond de la table : il est conservé dans du formol dilué (7 %) et ramené à terre (figure IV-1b). En de nombreuses occasions cependant, la totalité du sédiment a été formolé et ramené à terre par manque de temps pour permettre un échantillonnage rapide à bord. Après le prélèvement des deux sous-échantillons de sédiment nécessaires aux analyses sédimentologiques, le contenu de la deuxième benne est tamisé et trié selon le même protocole.

Les échantillons de bennes Smith sont pour leur part entièrement conservés, tandis que les contenus des dragues et des petits chaluts sont vidés sur le pont et les animaux de la mégafaune sont triés à la main.

Les échantillons ramenés à terre sont tamisés sur maille de 10 mm puis de 1 mm, chaque refus étant trié à la pince afin de récolter toute la faune (méga et macro faune), puis les animaux sont déterminés, comptés et pour certaines espèces, mesurés.

Le prélèvement d'échantillons quantitatifs de sédiment permet d'obtenir une image du peuplement en terme de richesse spécifique (nombre d'espèces) et de densité (nombre d'individus par unité de surface). Les autres prélèvements (qualitatifs) ont pour but de compléter la liste des espèces présentes et d'apporter des informations supplémentaires sur leur distribution, ainsi que sur certaines populations remarquables.

En tout, près de 300 bennes Hamon et une centaine de traits de drague, complétés par une quarantaine de traits de petit chalut et 154 bennes Smith, ont été réalisés.

a

b

Figure IV-1 : Table de tri utilisée à bord des navires pour le rinçage des échantillons de sédiments. a : grille amovible de maille 1 cm permettant la collecte de la mégafaune ; b : fond étanche de la table, le sédiment récupéré peut alors être rincé dans le tamis carré de maille 1 mm (visible en a) puis conservé dans du formol et ramené à terre.

IV-2-2- Analyse des peuplements

IV-2-2-1- Principe et méthodologie

La classification des fonds meubles en tant qu'habitats hébergeant une faune qui leur est caractéristique s'appuie sur des principes publiés dans les années 1970 (Glémarec, 1973 ; Chassé et Glémarec, 1976b). Elle tient compte de la nature des sédiments et de l'étagement climatique. Chassé et Glémarec ont ainsi défini dix entités sédimentaires ayant une signification biologique, dont ils se sont servis pour établir des cartes biosédimentaires des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne.

L'établissement de cartes biosédimentaires repose sur cette typologie des fonds meubles, basée sur la distribution des espèces animales, leurs affinités entre elles et vis-à-vis des divers sédiments, les caractéristiques sédimentaires écologiquement efficaces et les climats marins régnant sur ces fonds, tout en se référant au niveau bathymétrique.

En effet, les conditions climatiques présentent des seuils différenciateurs de peuplements selon la profondeur ; ceux-ci se remplacent partiellement et de manière étagée selon ce facteur bathymétrique (Chassé et Glémarec, 1976a, *cf.* chapitre III, § III-2-2-1). En zone subtidale sont distingués, de la côte vers le large :

- l'étage infralittoral, du 0 des cartes marines jusqu'à 15-30 mètres selon les secteurs
- l'étage circalittoral côtier, jusqu'à 70-90 mètres
- l'étage circalittoral du large, jusqu'à la bordure externe du plateau continental vers 160-200 mètres

Finalement, 27 unités de peuplements, caractérisées par la présence d'espèces *leaders* et répartis entre dix types biosédimentaires et trois étagements climatiques ont été définis dans les sédiments meubles du plateau continental du golfe de Gascogne lors de cette étude (tableau IV-1, d'après Chassé et Glémarec (1976a, b).

Les peuplements étudiés dans ce travail de thèse sont basés sur l'analyse des espèces dont les individus ont une dimension au moins égale ou supérieure à 1 cm (qui sont donc retenus sur la grille de la table de tri) : cette définition correspond à celle de la mégafaune. Dans notre étude, cette catégorie inclut aussi les petits individus de ces espèces, dont la taille est comprise entre 1 et 10 mm (triés à la pince à partir du sédiment ramené à terre).

Tableau IV-1 : Caractérisation des unités de peuplements de l'ensemble du plateau continental, à l'aide des espèces *leaders* , en fonction des facteurs sédimentologiques et climatiques. D'après Chassé et Glémarec (1976a, b).

ETAGES	SHV	GH	GV / GB	GP / GB	SG / SGB
	Sables envasés	**Graviers sableux**	**Graviers envasés**	**Graviers propres**	**Sables grossiers**
INFRALITTORAL	*Tapes aureus* *Tapes pullastra*	*Nucula nucleus* *Golfingia vulgare*	*Dosinia exoleta* *Venus verrucosa*	*Dosinia exoleta* *Arcopagia crassa*	*Donax politus* *Cytherea chione*
CIRCALITTORAL CÔTIER	*Corbula gibba* *Turritella communis*	*Nucula nucleus* *Venus ovata*	*Hyalinoecia bilineata* *Pista cristata*	*Branchiostoma lanceolatum* *Venus fasciata*	*Echinocyamus pusillus* *Tellina pygmaea*
CIRCALITTORAL DU LARGE		*Nucula nucleus* *Pitar rudis*	*Astarte sulcata* *Venus casina*		

ETAGES	D	SF / SFB	FV	VS	VV
	Sables dunaires	**Sables fins**	**Sables fins envasés**	Vases sableuses	Vases
INFRALITTORAL	*Spisula solida* *Travisia forbesi* *Ophelia neglecta*	*Venus gallina* *Mactra corallina*	*Acrocnica brachiata* *Clymene oerstedii*	*Nucula turgida* *Melinna palmata* *Abra nitida*	*Nucula turgida* *Sternaspis scutata*
CIRCALITTORAL CÔTIER	*Ophelia borealis* *Abra prismatica*	*Venus gallina* *Dosinia lupina*	*Amphiura filiformis* *Tellina serrata*	*Maldane glebifex* *Clymene modesta*	*Virgularia tuberculata* *Sternaspisscutata*
CIRCALITTORAL DU LARGE	*Abra prismatica* *Astrorhiza limicola*	*Ditrupa arietina* *Dentalium entalis*	*Amphiura chiajei* *Onuphis lepta* *Auchenoplax crinita*	*Nucula sulcata* *Brissopsis lyrifera*	*Ninoë armoricana* *Sternaspis scutata*

La catégorie d'animaux retenue est appelée "mégafaune" dans la suite de ces travaux, bien qu'elle couvre une plus grande gamme d'individus ; tandis que la "macrofaune" correspond aux autres animaux dont la taille est comprise entre 1 et 10 mm, triés à partir du sédiment ramené à terre. La mégafaune est représentative de la richesse faunistique des habitats et comporte, comme la macrofaune, des espèces rares et d'intérêt patrimonial. Elle regroupe enfin toutes les espèces d'invertébrés exploités dans les milieux côtiers. De plus, les espèces de cette mégafaune représentent, avec celles de la macrofaune, des maillons essentiels dans les chaînes alimentaires des peuplements benthiques (Snelgrove, 1998).

L'application de cette méthode a permis un gain de temps considérable par rapport aux méthodes classiques d'analyses de la macrofaune, nécessitant le tamisage des échantillons sur une maille de 1 mm. L'ensemble des échantillons a ainsi pu être traité et les résultats couvrent de ce fait la totalité de la zone échantillonnée.

L'analyse de la macrofaune triée sur 1 mm est réservée aux échantillons prélevés avec la benne Smith dans les secteurs restreints des Blancs Sablons, de Morgat, des Pierres Noires et de Camaret.

Les résultats quantitatifs permettent de dégager des espèces *leaders*, qui aident à définir les entités de peuplements isolées dans le continuum benthique.

Les résultats qualitatifs (données de présence seulement) permettent d'obtenir une liste faunistique plus complète pour la mer d'Iroise. De plus, les informations obtenues quant à la répartition bathymétrique des espèces rencontrées permettront d'apporter des précisions complémentaires sur les caractéristiques biogéographiques de certaines espèces présentes en mer d'Iroise et sur leur répartition entre les différents étages.

IV-2-2-2- Descripteurs des données biologiques

IV-2-2-2-1- Analyse des échantillons

Les individus récoltés sont identifiés sous loupe binoculaire au plus bas taxon possible. Un niveau taxonomique supérieur a été conservé pour certains groupes comme les Nématodes, les Némertes, les Éponges. La classification de référence est celle donnée dans le

Species directory of the marine fauna and flora of the British isles and surrounding seas (Howson et Picton, 1997).

Certaines espèces appartenant à l'épifaune vagile ou fixée, au nectobenthos, comme les Mysidacés, ainsi que d'autres mal échantillonnées ou trop saisonnières, comme les Aplysies (*Aplysia punctata*), n'ont pas été prises en compte pour les analyses de peuplement. Elles ne seront donc pas comptabilisées dans les calculs de densités, de richesse spécifique ou les indices de diversité mais apparaîtront dans l'inventaire qualitatif des espèces de la mer d'Iroise.

IV-2-2-2-2- Richesse spécifique et indices de diversité

La richesse spécifique est, dans cette étude, le nombre total d'espèces rencontrées dans l'ensemble des échantillons considérés. Ce paramètre reflète donc la diversité en taxons des échantillons.

L'indice de diversité de Shannon-Weaver H' est le plus communément utilisé dans la littérature. La formule utilisée est :

$$H' = -\Sigma [n_i/N \times \log_2 (n_i/N)]$$

avec ici n_i l'abondance moyenne de l'espèce *i* dans le peuplement et N l'abondance moyenne de l'ensemble du peuplement.

H' est nul (= 0) si le peuplement est constitué d'une seule et même espèce ; il est minimal si une espèce domine le peuplement et est maximal quand toutes les abondances sont réparties équitablement entre les espèces (Frontier, 1983).

L'indice de Shannon-Weaver est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Pielou (1966), appelé également indice d'équirépartition (Blondel, 1979). Il est calculé par la formule :

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

où H' est l'indice de Shannon-Weaver et S la richesse spécifique totale du peuplement.

Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Il est très utile pour comparer les diversités spécifiques entre stations ou entre dates d'échantillonnage, du fait de sa pondération par la richesse spécifique.

IV-2-2-2-3- Modèle DIMO (Species Diversity Monitoring)

Le modèle *DIMO*, développé pour l'évaluation et l'analyse de la diversité spécifique d'une communauté (Qinghong, 1995), permet la visualisation de la richesse spécifique, de la régularité et de la diversité spécifique sur un plan (figure IV-2).

Trois paramètres sont représentés, à savoir la richesse spécifique (axe des abscisses), la diversité (axes des ordonnées) et la régularité (angle α). La valeur de la tangente de l'angle α est égale à l'indice d'équitabilité de Pielou :

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

Toute modification dans la richesse spécifique, la régularité ou la diversité d'une communauté sera repérée par un mouvement du point lui correspondant, dans le sens indiqué par les flèches sur la figure IV-2. Les mouvements horizontaux indiquent des changements au niveau de la richesse spécifique et de l'équitabilité, tandis que l'indice de Shannon-Weaver reste constant. Les mouvements verticaux impliquent des changements dans l'équitabilité et la diversité mais la richesse spécifique reste constante.

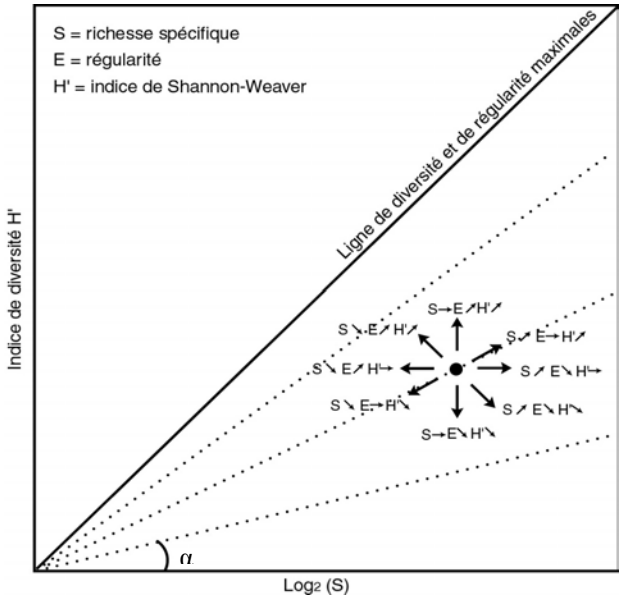


Figure IV-2 : Modèle *Diversity Monitoring (DIMO)* d'après L. Qinghong (1995), permettant la visualisation de trois indices biologiques : richesse spécifique ($\log_2$ (S)), régularité (E = angle α) et indice de Shannon-Wiever (H'), sur un plan à deux dimensions. La ligne pleine diagonale représente la diversité et la régularité maximales. Le point au centre des flèches représente l'état de départ de la diversité d'une communauté théorique. Les flèches indiquent les évolutions possibles de la richesse spécifique, de la régularité et de la diversité, dans ce plan défini.

IV-2-2-3- Coefficient de dominance - présence D × P

Mis au point par Glémarec (1963) dès le début des années 1960, le coefficient de dominance - présence est le plus approprié pour comparer l'importance des espèces entre elles dans un même habitat, et entre les habitats. Il permet d'identifier les espèces qui sont les mieux représentées dans les peuplements considérés et a l'avantage de prendre en compte à la fois les espèces présentes en fortes densités dans certains types d'habitats (données d'abondances) et celles qui y sont présentes régulièrement, sans pour autant être représentées forcément par de fortes densités (données d'occurrence). Il a été repris par Le Bris en 1988 et largement utilisé depuis dans des études similaires (Afli, 1999 ; Grall, 2002). Le principe de ce calcul se rapproche de la méthode développée par Mouillot *et al.* (2002) pour détecter les espèces indicatrices au sein d'une distribution donnée.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour ce calcul.

- La fréquence d'une espèce *i* dans l'entité sédimentaire E (type sédimentaire, strate…) est donnée par le pourcentage du nombre de stations de E contenant cette espèce. C'est un indice de fidélité de l'espèce pour le type sédimentaire donné.

$$F_{(i)\,(E)} = 100 \times Nb_{(i)\,(E)} / Nb_{\,(E)}$$

- Le coefficient de présence d'une espèce *i* dans une entité E est le pourcentage représenté par la fréquence de cette espèce dans E par rapport à la somme de ses fréquences dans chaque entité sédimentaire.

$$P_{(i)\,(E)} = 100 \times F_{(i)\,(E)} / \Sigma\,(F_{(i)\,(E)})$$

- Le coefficient de dominance d'une espèce *i* dans une entité E est le rapport entre l'effectif de cette espèce dans l'entité sédimentaire E et l'effectif total des individus de cette entité.

$$D_{(i)\,(E)} = n_{i\,(E)} / N_{\,(E)}$$

Les espèces *leaders* sont déterminées par une valeur du coefficient de dominance - présence D × P supérieure à une valeur seuil, définie de façon à obtenir une description suffisamment concise et précise des peuplements de chaque entité sédimentaire. Cette approche permet d'identifier des espèces *leaders* qui peuvent être relativement rares, montrer

des abondances similaires mais une fidélité marquée à un type d'habitat ou qui ont une occurrence homogène mais une spécificité ou une abondance marquées pour un type de milieu.

IV-2-2-4- Analyses statistiques multivariées

IV-2-2-4-1- Analyses Factorielles des Correspondances (AFC)

Cette méthode d'analyse multivariée est très utilisée en écologie benthique et donne une bonne représentation géométrique plane des informations contenues dans la matrice, permettant d'obtenir une bonne "correspondance" entre les lignes et les colonnes du tableau de contingence. Les points d'observation (strates sédimentaires, bennes ou stations) et les points variables (espèces) jouent des rôles symétriques dans le cas de l'AFC.

Les valeurs de densités par unité de surface sont transformées "en racine carrée", selon la formule $X' = \sqrt{(X+1)}$, comme le recommande Underwood (1997) dans les cas où la forte hétérogénéité des variances risque de compromettre les analyses.

Les graphiques représentent une projection simultanée des points colonnes (strates sédimentaires, bennes ou stations) et des points lignes (espèces) dans un espace ayant autant de dimensions que de variables mesurées (Menesguen, 1980). La représentation utilisée le plus souvent est formée par des axes orthogonaux, les deux ou trois premiers axes représentant un maximum d'inertie pour l'analyse. L'interprétation des résultats se fait en fonction de la proximité entre les stations, les espèces ou entre les stations et les espèces. Les contributions de chaque station ou espèce pour chaque axe apportent des éléments pour l'interprétation de l'analyse.

Les analyses sont effectuées avec le logiciel de traitements statistiques *XlstatPro*.

IV-2-2-4-2- Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH)

Cette méthode de classification produit des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères, permettant de visualiser les affinités écologiques. Elle permet de regrouper les objets (ici les bennes, les stations, les strates sédimentaires ou les espèces) les plus semblables sur la base de distances euclidiennes calculées entre eux, en procédant à la construction de classes ou paquets par agglomération successive des objets deux à deux en fonction de leur dissimilarité, ce qui fournit une hiérarchie de partition des objets, le critère d'agrégation étant l'augmentation de l'inertie (Ward).

Les résultats sont visualisés sur des dendrogrammes. Cette analyse est effectuée à partir des mêmes matrices que pour les AFC, également à l'aide du logiciel *XlstatPro*. L'interprétation des deux analyses en est grandement facilitée.

IV-2-2-5- Approche fonctionnelle

L'analyse de la composition spécifique d'un peuplement et sa mise en relation avec les facteurs environnementaux est une démarche classique en écologie, mais les informations obtenues ne représentent que la situation au moment même du prélèvement.

Une étape complémentaire et indispensable pour la compréhension globale du système consiste à s'intéresser au fonctionnement du peuplement décrit. Celui-ci est abordé principalement en termes de transferts d'énergie et de matière : les espèces peuvent donc être regroupées lorsqu'elles occupent une fonction similaire vis-à-vis du type de ressources exploitées, ce qui dépend de leur régime alimentaire et de leur comportement trophique. Des groupes sont ainsi définis, qui simplifient l'analyse de la structure des communautés benthiques et de leur fonctionnement en permettant de mettre en évidence les comportements généraux des systèmes face aux variations de l'environnement.

La réponse de chacun de ces groupes appelés fonctionnels, souvent assimilés à des groupes trophiques, aux variations des apports d'énergie en particulier, témoignent des tendances générales dans la réponse du peuplement dans son ensemble. Cette approche se situe donc entre une étude au niveau des paramètres structuraux (richesse spécifique, abondance, biomasse), trop généraux, et une étude plus analytique au niveau des espèces particulières, trop peu représentatives, et où il serait impossible de considérer la dynamique de

chacune sous tous ses aspects pour identifier les processus généraux régulant les communautés.

La classification des espèces au sein des groupes trophiques est rendue difficile du fait du manque d'informations objectives sur les habitudes alimentaires d'une majorité d'espèces, du risque d'erreur lié à la généralisation de ces informations au niveau de la famille, et des changements de comportements alimentaires susceptibles de se produire en fonction des cycles biologiques ou des conditions environnementales. Ces regroupements restent de toutes façons globaux car il existe des variations importantes dans les habitudes alimentaires au sein de chaque groupe (Grall, 2002).

Le classement effectué pour les espèces rencontrées dans cette étude s'appuie très largement sur des travaux antérieurs menés dans la rade de Brest, le golfe du Morbihan et la pointe de la Bretagne (Grall et Glémarec, 1997 ; Afli et Glémarec, 2000 ; Le Hir, 2002). Il reprend en particulier les huit groupes trophiques définis par Grall (2002) d'après les travaux de Hily et Bouteille (1999), permettant de classer quasiment toutes les espèces benthiques rencontrées. Les paramètres pris en compte sont la taille des particules alimentaires (macrophage ou microphage), l'état de l'aliment (vivant, mort ou indifférent) et sa nature (animal, végétal ou indifférent).

Les neuf groupes utilisés dans cette étude sont :

- les **Prédateurs (C ou 2)**, qui sont des carnivores dotés de moyens adaptés pour capturer leurs proies, certains étant vagiles (polychètes errantes, gastéropodes, décapodes, étoiles de mer, poissons, etc…) et d'autres sessiles (actinies, hydraires).
- les **Nécrophages (N ou 3)**, mangeurs de chair d'animaux morts déposés sur le fond, essentiellement représentés par des gastéropodes, des décapodes et des isopodes.
- les **Herbivores (H ou 4)**, mangeurs d'algues ou brouteurs de macro-algues comme les oursins et de nombreux gastéropodes.
- les **Détritivores (Dt ou 5)**, qui sont des animaux vagiles mangeurs de détritus d'origine végétale ou de rejets d'animaux (fécès, pseudofécès) : ce sont des amphipodes, des isopodes, des tanaïdacés, des décapodes et certains polychètes.
- les **Suspensivores (S ou 6)**, qui se nourrissent par filtration des particules organiques en suspension dans l'eau voisinant le sédiment (certaines familles de polychètes, d'amphipodes et de bivalves).

- les **Déposivores de surface ou sélectifs (DS ou 7)**, qui se nourrissent de particules organiques décantant à la surface du sédiment et supports de bactéries et d'algues unicellulaires. Ils sont représentés par une grande partie des polychètes sédentaires et certains bivalves et crustacés utilisant la couche sédimentaire de surface pour se nourrir.

- les **Déposivores de subsurface ou non sélectifs (DNS ou 8)**, qui vivent en profondeur dans le sédiment et en exploitent les couches réduites pour se nourrir, en ingérant le sédiment dans lequel ils prélèvent la matière organique (micro-organismes, méiofaune benthique, bactéries et M.O. détritique). Ce sont essentiellement des polychètes sédentaires.

- les **Microbrouteurs (µB ou 9)**, qui broutent les microphytes, bactéries et détritus formant un biofilm à la surface de supports de toutes natures (macroalgues, coquilles vides ou habitées, cailloutis, etc…). Ce sont surtout des mollusques polyplacophores et une grande partie des gastéropodes.

- une dernière catégorie, les **Autres (A)**, rassemble les autotrophes et les parasites, très peu représentés dans les peuplements rencontrés, ainsi que les quelques espèces dont le régime alimentaire reste inconnu.

À partir de ces groupes, la structure trophique (ou fonctionnelle) établie pour les peuplements utilise trois types de description. Le nombre de groupes fonctionnels représentés informe sur le niveau de complexité du système, notamment en termes de diversité des ressources et des habitats, puisque les groupes fonctionnels, par définition, sont peu en compétition trophique entre eux. Les abondances au sein des groupes permettent de repérer ceux qui ont une importance majeure dans le fonctionnement global, ainsi que les ressources impliquées. Enfin, l'analyse de la diversité spécifique dans ces groupes permet de préciser les espèces clés et les espèces redondantes et introduit des réflexions sur la résistance aux perturbations et la stabilité des communautés.

IV-3- RÉSULTATS À L'ÉCHELLE DE L'IROISE

IV-3-1- Qualité de l'échantillonnage quantitatif

Sur les 136 stations choisies, 25 se sont avérées être situées sur des zones de roches ou de gros blocs rocheux. Ces sédiments durs sont évidemment très mal échantillonnés par un engin tel que la benne Hamon utilisée ici, c'est pourquoi les stations correspondant à ces échantillons ne sont pas prises en compte dans cette étude faunistique. La faune fixée sur les blocs remontés malgré tout a cependant été déterminée pour compléter l'inventaire qualitatif des espèces.

Les bennes de cailloutis qui sont remontées bien fermées (13) ont par contre été conservées et leur faune analysée ; ces espèces font donc partie intégrante des résultats présentés dans ce chapitre.

Finalement, 187 bennes Hamon correspondent à des prélèvements réussis, dont 9 ne renfermaient pas de mégafaune ; ce sont donc 178 échantillons de 0,25 m² qui sont pris en compte dans les analyses de peuplement.

Les données acquises se présentent sous forme d'un tableau à double entrée, les colonnes représentant les échantillons et les lignes les taxons identifiés. Un tel tableau peut comporter un nombre de zéros très important ; or, les absences enregistrées n'ont pas la même valeur informative que les présences constatées. Dans le cadre d'une zone marine de cette taille, des données de présence/absence seraient cependant très difficiles à obtenir. Toutefois, la forme de données dont nous disposons pour cette étude des peuplements de l'Iroise correspond tout à fait au type d'information la plus couramment disponible, utilisée pour l'identification des aires à haute diversité biologique (*hotspots*) dans le domaine de la gestion des espèces et des écosystèmes (Zaniewski *et al.*, 2002).

IV-3-1-1- Influence de la bathymétrie

IV-3-1-1-1- Réalité de l'étagement bathymétrique des échantillons

Les échantillons ont été classés dans une catégorie bathymétrique, de moins de 15 mètres à plus de 90 mètres, afin de dégager un éventuel effet de la bathymétrie sur la nature des espèces observées. La catégorie "moins de 15 mètres" correspond à l'étage infralittoral, celle de 15 à 30 mètres peut également lui correspondre ou constituer le début de l'étage circalittoral côtier, puisque la limite inférieure de l'étage infralittoral n'est pas connue *à priori*. La catégorie 31 à 89 mètres est l'étage circalittoral côtier tandis que la dernière, plus de 90 mètres, correspond au circalittoral du large.

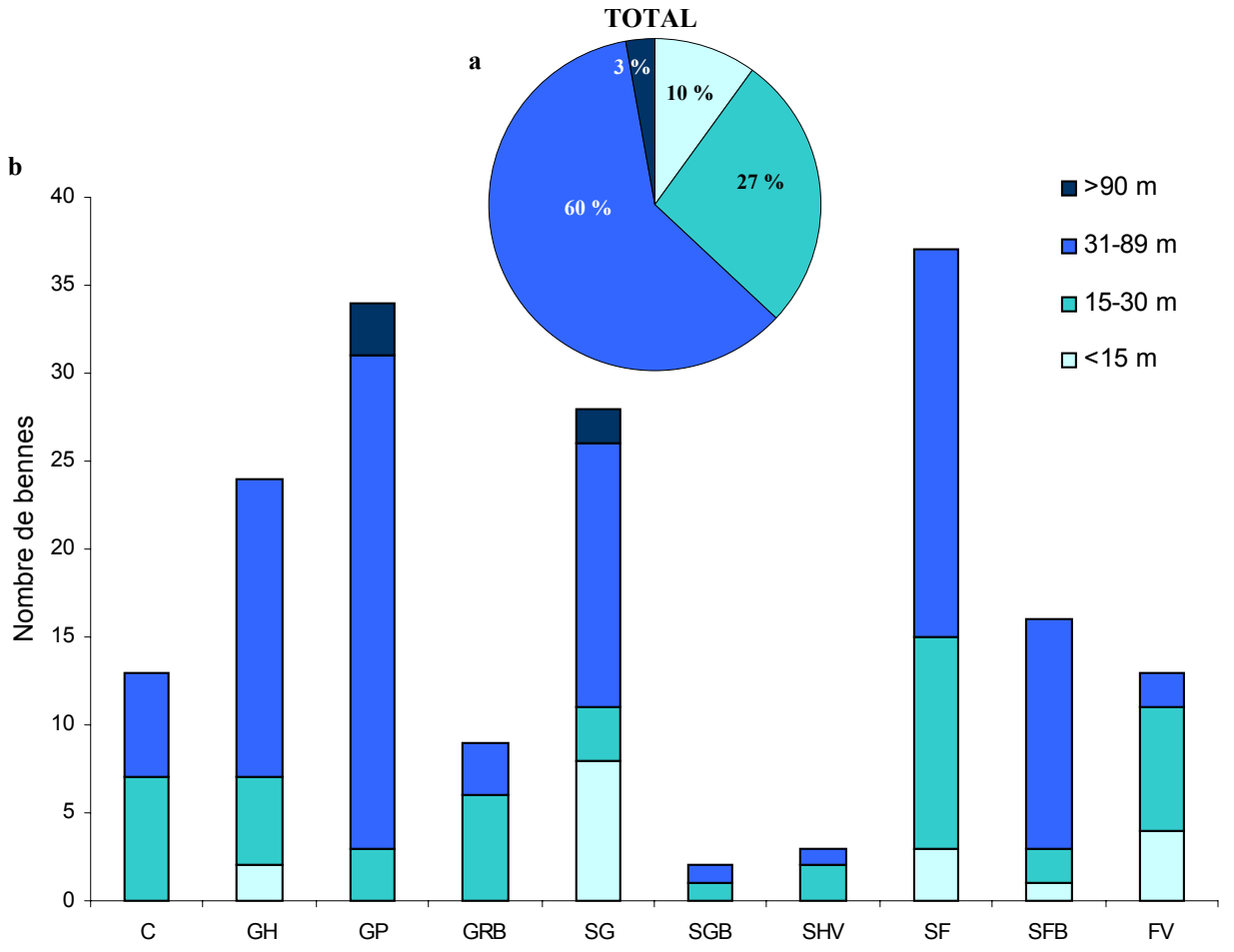


Figure IV-3 : Part de chaque classe bathymétrique dans l'échantillonnage global (a) et répartition du nombre de bennes Hamon et des classes bathymétriques dans les différentes strates sédimentaires échantillonnées (b).

L'effort d'échantillonnage, pour chaque type sédimentaire, appelé par la suite strate sédimentaire, représente 2 à 37 échantillons. Seulement 3 % des prélèvements ont été collectés à des profondeurs dépassant les 90 mètres, 10 % étaient situées à moins de 15 mètres, mais la grande majorité des prélèvements ont été réalisés entre 15 et 90 mètres (figure IV-3). Les peuplements rencontrés appartiennent donc principalement aux étages infralittoral et circalittoral côtier.

La comparaison des espèces échantillonnées entre les différentes catégories de profondeur a été menée pour chaque strate sédimentaire, afin de repérer d'éventuels transferts d'espèces selon le gradient bathymétrique. En effet, l'existence d'un tel phénomène dans une strate pourrait masquer les regroupements d'espèces en peuplements lors des analyses ultérieures.

L'observation de tableaux comparatifs n'a pas permis de différencier des espèces selon le gradient de profondeur. Certaines apparaissent bien dans une seule catégorie bathymétrique d'une certaine strate sédimentaire, mais sont également trouvées à d'autres profondeurs dans d'autres strates, ce qui exclut l'hypothèse de l'effet de la bathymétrie. En fait, le nombre parfois très réduit d'échantillons considérés dans certaines catégories explique le plus souvent l'absence d'espèces à des profondeurs où elles auraient pu être rencontrées.

La totalité des échantillons sera donc prise en compte pour l'analyse des données qui permettront la définition des habitats et des peuplements caractéristiques des fonds meubles de la mer d'Iroise.

IV-3-1-1-2- Différences observées au sein d'une même catégorie sédimentaire

Quelques différences ont été observées dans la répartition spatiale des sédiments appartenant à un même type sédimentaire, parfois en rapport avec la profondeur. Cette différenciation est facilitée par la connaissance de la nature des espèces présentes, qui témoignent de la congruence du terme utilisé pour décrire le sédiment. Une description précise des peuplements sera donnée dans le § IV-3-4-1, aussi nous ne ferons ici que signaler les éléments utiles pour une bonne compréhension de l'analyse des peuplements réalisée dans cette partie (§ IV-3).

- Trois bennes seulement ont été réalisées dans les sables hétérogènes envasés (SHV) : toutes correspondent bien à ce type de sédiment mais sont peu envasés (moins de 3 % de pélites). Ces bennes étaient situées entre 15 et 89 mètres.

- Les sédiments des bennes de la catégorie des sables grossiers (SG) sont constitués de sables moyens pour plus de la moitié d'entre elles. Cette catégorie n'apparaît pas dans la classification des types sédimentaires de Chassé et Glémarec (1976) mais a cependant une grande importance, notamment dans la définition de la catégorie hybride des sables dunaires (DU). Les sables grossiers sont représentés dans toutes les catégories bathymétriques.

- La catégorie des sables fins biogènes (SFB) est peu représentée avant 30 mètres (deux bennes seulement de 15 à 30 mètres) mais l'est beaucoup plus au-delà. Les sédiments des deux bennes peu profondes sont des sables fins tandis que les autres sont à nouveau des sables moyens. Cette catégorie sédimentaire comprend donc essentiellement des sables moyens, elle est renommée "sables biogènes" (SB).

- Les sables fins (SF) sont peu représentés à moins de 15 mètres de profondeur, avec seulement trois bennes. Ils sont abondants au-delà. Cependant, les affinités sabulicoles-gravellicoles des espèces présentes confirment l'importance des fractions moyennes et grossières dans les mélanges sédimentaires, constatée sur les courbes granulométriques : en fait, cette catégorie regroupe à la fois quelques sables fins très bien triés et de nombreux sables très mal triés dont la médiane ne dépassent pas 500 µm. Le nom de "sables mal triés" (SMT) lui conviendra donc mieux.

- Les sables fins envasés (FV) sont peu représentés au-delà de 30 mètres, tous les sédiments correspondent bien à cette catégorie.

- Les graviers sableux hétérogènes (GH) sont au contraire peu représentés avant 15 mètres, tous les sédiments correspondent également à cette catégorie.

- Les graviers propres (GP) sont bien représentés au-delà de 15 mètres, avec trois bennes à plus de 90 mètres. Il faut cependant signaler que certains comportent une fraction très importante de sables grossiers.

- Les graviers biogènes (GRB) sont représentés entre 15 et moins de 90 mètres, avec des sédiments constitués de maërl ou d'autres constituants biogènes.

- Les cailloutis (C) sont représentés avec des bennes réalisées dans les mêmes profondeurs dont les sédiments correspondent bien à la catégorie.

Deux catégories sédimentaires nécessitent donc d'être renommées au vue de ces précisions : ce sont les SFB qui deviennent des sables biogènes (SB) et les SF qui deviennent des sables mal triés (SMT).

IV-3-1-2- Surfaces d'échantillonnage minimales

La relation entre la surface échantillonnée et le nombre d'espèces observées peut être représentée par une courbe, d'abord fortement croissante puisque chaque benne apporte un lot de nouvelles espèces ; puis atteignant un pallier, lorsque toutes les espèces présentes ont été récoltées. Elle peut augmenter de nouveau avec la prise en compte d'une autre station où apparaissent des espèces nouvelles. Quand la courbe atteint un pallier stable et clairement visible, l'ensemble des espèces est correctement échantillonné et la surface correspondant au début de ce pallier est appelée "aire minimale" (Daget et Godron, 1982). Cette aire représente donc la surface pour laquelle la grande majorité des espèces composant le peuplement est échantillonnée.

Les courbes réalisées pour cette étude montrent que le nombre minimum de bennes (et donc la surface minimale d'échantillonnage) a été atteint pour la mégafaune de la plupart des strates sédimentaires (figure IV-4). Seules celles obtenues pour les sables hétérogènes envasés et les sables grossiers biogènes ne présentent pas d'amorce de pallier : la surface échantillonnée pour ces deux strates est insuffisante. En effet, trois et deux bennes Hamon seulement ont été effectuées dans ces types sédimentaires et les assemblages d'espèces obtenus ne sont sans doute pas représentatifs de la composition totale du peuplement.

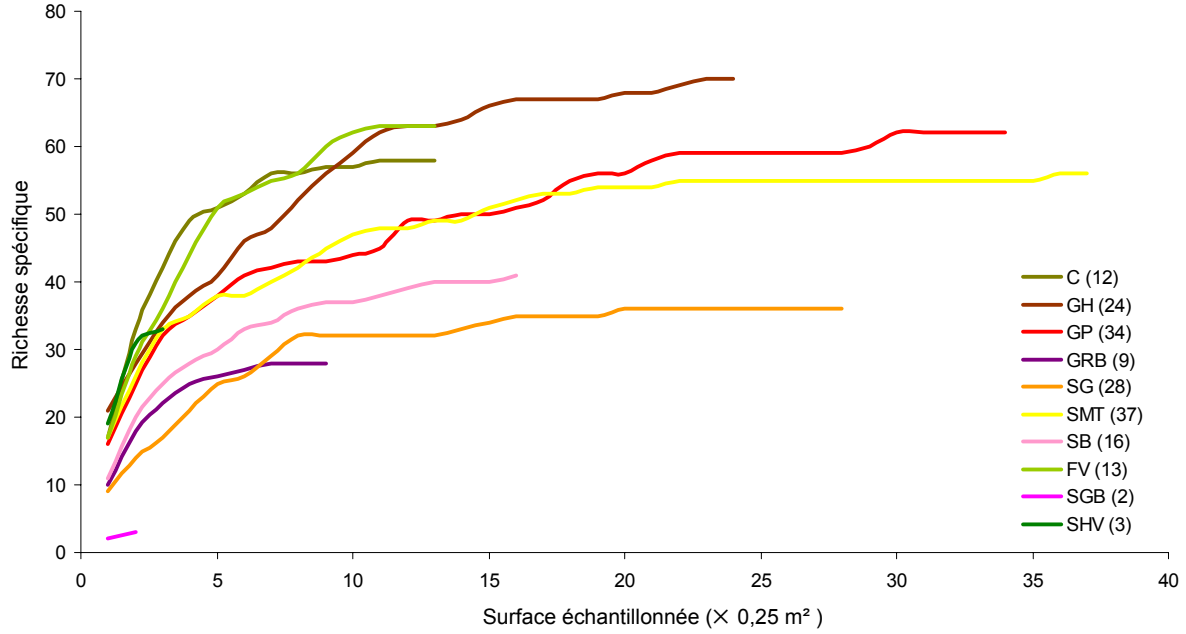


Figure IV-4 : Relation entre la surface échantillonnée et la richesse spécifique de la mégafaune, par strate sédimentaire ; les courbes permettent de définir les aires minimales. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de bennes Hamon effectuées.

Les aires minimales définies pour une bonne représentation de la mégafaune s'échelonnent entre 1,75 et 7,5 m², soit sept bennes pour les graviers biogènes et trente bennes pour les graviers propres (tableau IV-2). Les richesses spécifiques atteintes sont maximales pour les graviers sableux hétérogènes et les sables fins envasés ; elles sont minimales pour les graviers biogènes et les sables grossiers.

Tableau IV-2 : Aire minimale d'échantillonnage et surface effectivement échantillonnée pour les strates sédimentaires dont les surfaces minimales sont atteintes.

Strate sédimentaire	**GP**	**GH**	**SMT**	**SG**	**SB**	**FV**	**C**	**GRB**	**SHV**	**SGB**
Nombre minimum de bennes Hamon	30	23	20	16	15	12	11	7	?	?
Surface minimale (m²)	7,5	5,75	5	4	3,75	3	2,75	1,75	?	?
Surface échantillonnée (m²)	*8,5*	*6*	*9,25*	*7*	*4*	*3,25*	*3,25*	*2,25*	0,75	0,5

IV-3-2- Identification des peuplements à l'échelle de la mer d'Iroise

IV-3-2-1- Richesse spécifique et densité par strate sédimentaire

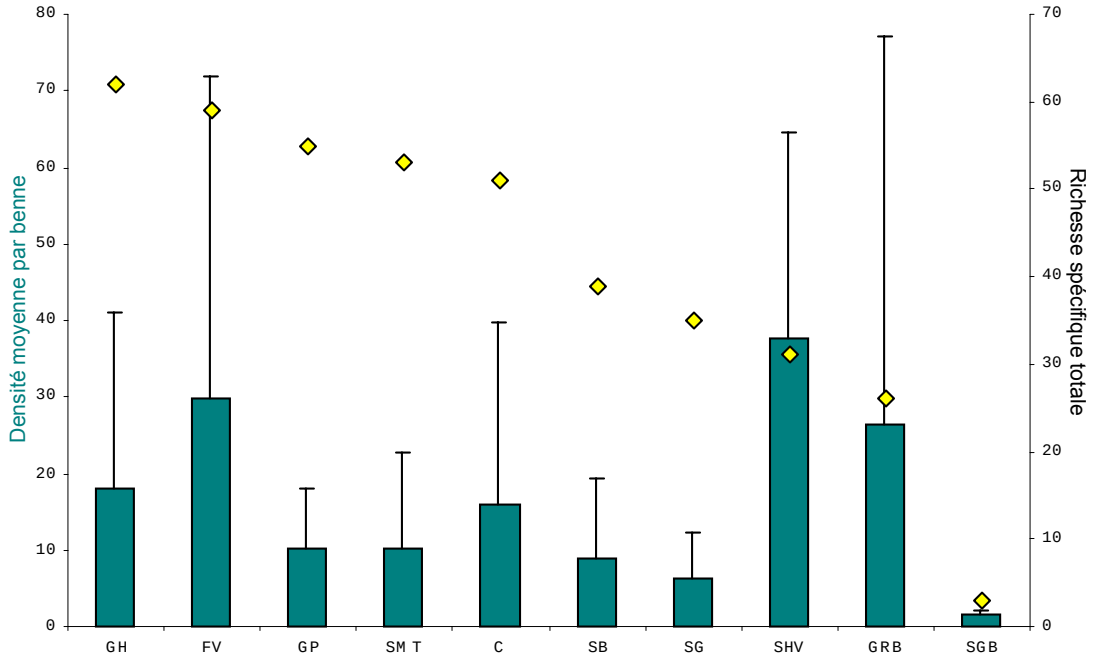


Figure IV-5 : Richesse spécifique totale (points jaunes) et densité moyenne d'individus par benne Hamon pour la mégafaune dans les différentes strates sédimentaires des fonds de l'Iroise, par ordre de richesse spécifique totale décroissante. Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

Les sédiments les plus riches en espèces de mégafaune et grande macrofaune sont les graviers sableux hétérogènes (GH), avec plus de 60 espèces. Les sables fins envasés (FV), les graviers propres (GP), les sables mal triés (SMT) et les cailloutis (C) en abritent entre 51 et 59 (figure IV-5). Les autres recèlent moins d'espèces : 39 dans les sables biogènes (SB), 35 dans les sables grossiers (SG) et seulement 26 dans les graviers biogènes (GRB). La richesse spécifique des sables grossiers biogènes (SGB) est sévèrement sous-évaluée (3 espèces échantillonnées seulement), tandis que celle des sables hétérogènes envasés (SHV) est comparable aux valeurs de l'ensemble des autres sédiments avec 31 espèces.

Les densités moyennes de mégafaune par benne Hamon montrent que la faune est moins dense dans les sables grossiers, les sables biogènes, les graviers propres et les sables mal triés, avec au plus 10 individus par benne. Les cailloutis et les graviers sableux hétérogènes présentent des valeurs intermédiaires avec en moyenne 16 à 18 individus par benne. Les faunes les plus denses ont été rencontrées dans les sables hétérogènes envasés (jusqu'à 58 individus dans une seule benne), les sables fins envasés et les graviers biogènes. Ces plus fortes densités reflètent souvent la présence, dans le peuplement échantillonné, de quelques espèces en fortes densités par rapport aux autres. Les sables grossiers biogènes présentent les densités les plus faibles, avec seulement 1 et 2 individus capturés dans les 2 bennes réalisées.

Les écarts types de ces densités, très élevés pour la plupart, indiquent une forte hétérogénéité des densités. En effet, un écart type élevé reflète ici le fait qu'une espèce, souvent de petite taille (*Pisidia longicornis*, *Owenia fusiformis*, *Halcampa chrysanthellum*, ophiures, etc…) a été prélevée en forte densité dans l'une des bennes du groupe sédimentaire. Par exemple, pour les graviers biogènes, qui ont le plus grand écart type observé, il s'agissait de *Glycymeris glycymeris* adultes, présentes en tapis dense à cet endroit, avec 132 individus pour un quart de mètre carré. Cette hétérogénéité est liée aux particularités du peuplement qui peut être représenté sous la forme de différents faciès au sein d'une même strate sédimentaire.

Le peuplement des sables grossiers biogènes présente à la fois très peu d'espèces et très peu d'individus ; le nombre d'échantillons est de plus insuffisant pour que l'aire minimale soit atteinte : il ne fera plus partie des analyses pour la suite de ce travail.

Celui des sables hétérogènes envasés présente, par rapport aux autres strates, de fortes densités de faune et une richesse spécifique comparable malgré le faible nombre d'échantillons disponibles et une surface minimale non atteinte. Il fera partie des analyses mais le biais potentiel lié au faible effort d'échantillonnage sur cette strate sera pris en compte lors de l'analyse des résultats concernant ce peuplement.

IV-3-2-2- Habitats et assemblages d'espèces définis par les analyses multivariées

Une AFC est réalisée à partir de la matrice constituée des densités moyennes au mètre carré transformées en racine carrée par strate sédimentaire et par espèce : pour cette première

analyse, 174 espèces et 9 catégories sédimentaires sont prises en compte. Une deuxième analyse est faite après suppression des espèces dont la contribution est inférieure à 1/174 dans la première AFC, afin d'éliminer les espèces qui ne sont pas significatives pour l'interprétation des regroupements. La deuxième matrice ne comporte plus alors que 34 espèces. Les trois premiers axes, expliquant près de 86 % de la variance, sont conservés : ils correspondent aux trois principaux facteurs de différenciation des assemblages d'espèces.

Parallèlement, des CAH sont réalisées à partir de la même matrice de base, pour les strates sédimentaires et pour les espèces. Les dendrogrammes correspondants permettent de mettre en évidence d'une part les habitats, définis par les regroupements de strates sédimentaires et d'autre part les assemblages d'espèces (peuplements et faciès), différenciés par les regroupements d'espèces.

Enfin, le positionnement de ces groupes sur le plan en deux dimensions de l'AFC permet de visualiser les regroupements entre groupes de strates sédimentaires et groupes d'espèces, donc entre habitats et assemblages d'espèces.

IV-3-2-2-1- Analyse Factorielle des Correspondances

Les strates sédimentaires et les espèces dont les contributions à l'AFC sont significatives apparaissent pour les trois axes dans le tableau IV-3.

L'axe 1 (39 % de l'inertie) sépare d'un côté les sédiments fins envasés (SHV et FV) et de l'autre les graviers biogènes, qui sont les plus éloignés du centre. Les autres strates sont regroupées près du centre (figure IV-6a). L'axe 2 (26,3 %) sépare les sables fins envasés et les graviers biogènes des graviers sableux hétérogènes et des cailloutis. L'axe 3 (20,4 %) isole les sables hétérogènes envasés d'un côté et les sables fins envasés de l'autre, les autres strates étant situées au centre (figure IV-6b).

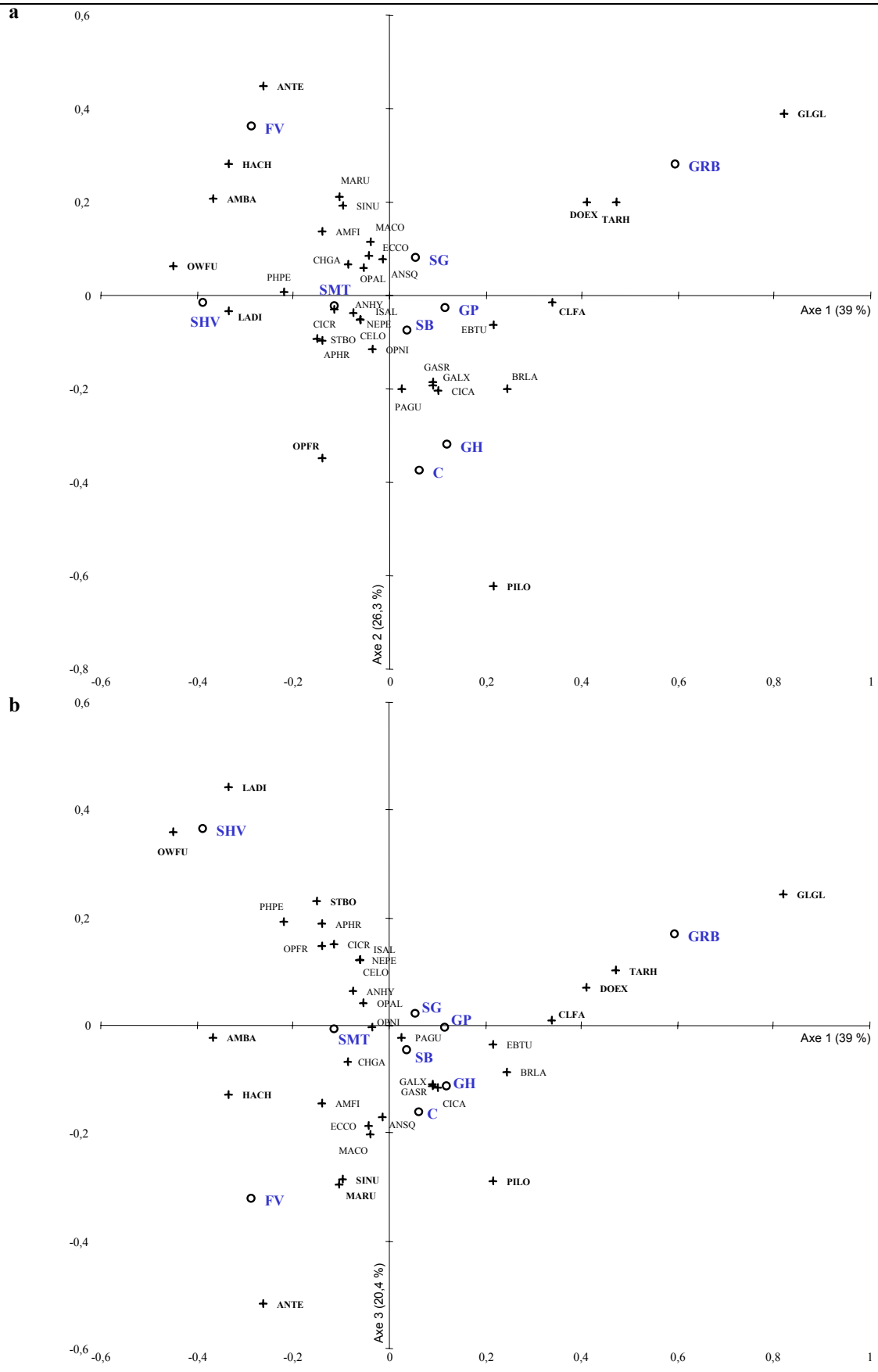


Figure IV-6 : Analyse Factorielle des Correspondances réalisée sur la matrice simplifiée comportant 9 colonnes (habitats) et 34 lignes (espèces) ; les espèces en caractères gras sont significatives. a : représentation des axes 1 et 2 (65,3 % de l'inertie) ; b : représentation des axes 1 et 3 (59,4 % de l'inertie). Les codes des espèces sont précisés en annexe D.

Tableau IV-3 : Strates sédimentaires et espèces dont les contributions sont significatives dans l'AFC.

AXES	Contributions négatives	Contributions positives
AXE 1 (39 %)	FV SHV	GRB
	Halcampa chrysanthellum *Amphiura brachiata* *Owenia fusiformis* *Labidoplax digitata*	*Glycymeris glycymeris* *Dosinia exoleta* *Tapes rhomboides* *Clausinella fasciata* *Pisidia longicornis*
AXE 2 (26,3 %)	C GH	FV GRB
	Pisidia longicornis *Ophiothrix fragilis*	*Angulus tenuis* *Halcampa chrysanthellum* *Amphiura brachiata* *Glycymeris glycymeris*
AXE 3 (20,4 %)	FV	SHV
	Pisidia longicornis *Sipunculus nudus* *Mangelia rugulosa* *Angulus tenuis*	*Labidoplax digitata* *Owenia fusiformis* *Sthenelais boa* *Glycymeris glycymeris*

Le premier facteur de différenciation des ensembles biosédimentaires, représenté par l'axe 1, est donc le degré d'envasement du sédiment puisque les deux strates envasées (FV et SHV) sont isolées d'un côté avec les sables mal triés, qui sont souvent légèrement "sales". Le deuxième axe représente un ensemble complexe de facteurs, au nombre desquels des critères tels que la taille des particules et l'hétérogénéité des mélanges sédimentaires pourraient intervenir. Le troisième différencie spécifiquement les deux strates sédimentaires envasées.

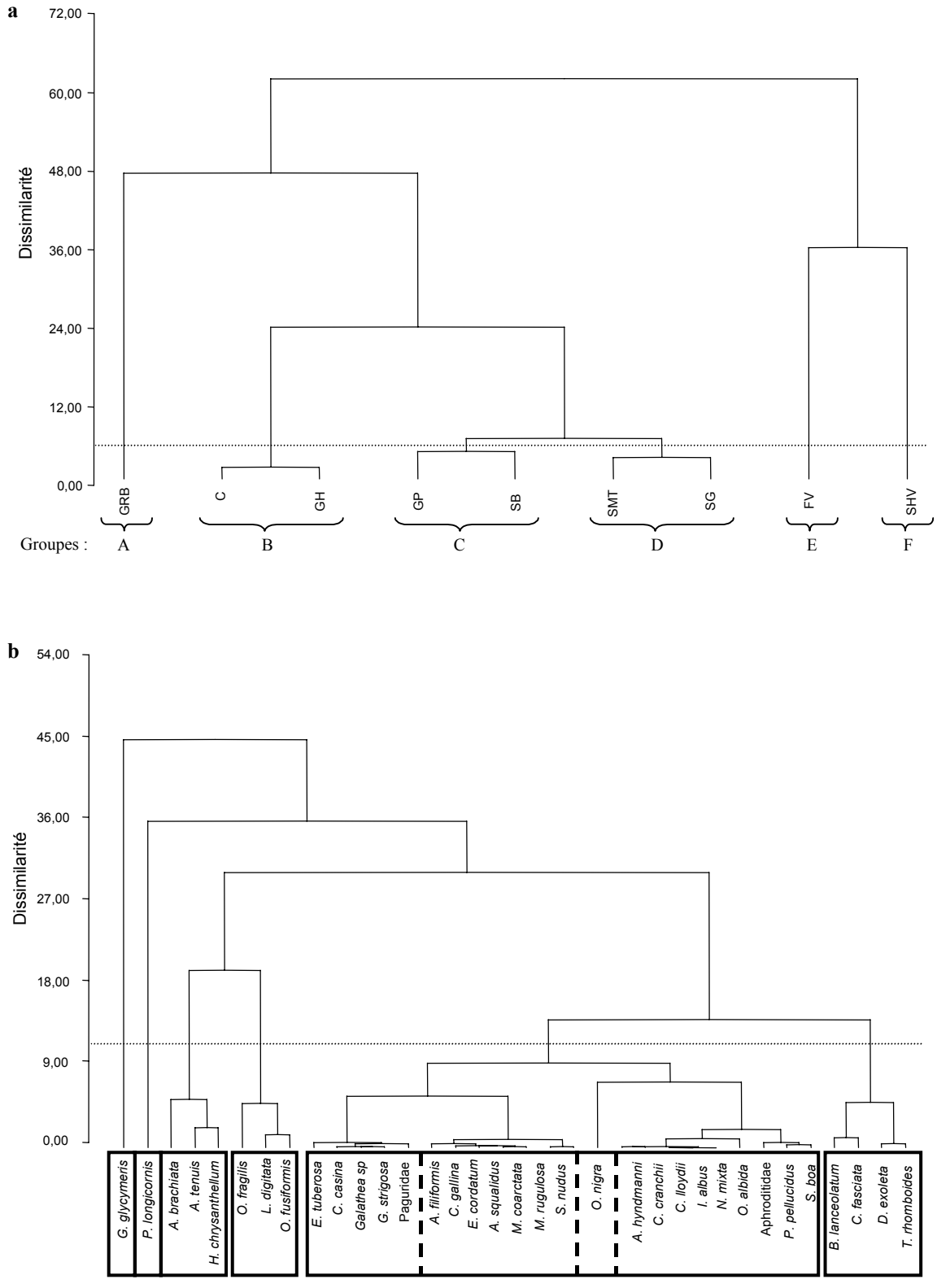


Figure IV-7 : Classifications Ascendantes Hiérarchiques réalisées sur la matrice simplifiée comportant 9 colonnes (habitats) et 34 lignes (espèces). a : dendrogramme de la CAH réalisée sur les strates sédimentaires ; b : dendrogramme de la CAH réalisée sur les espèces.

IV-3-2-2-2- Analyse par Classification Ascendante Hiérarchique

Six groupes de sédiments sont mis en évidence grâce à la CAH réalisée sur les strates sédimentaires (figure IV-7a) : la classification hiérarchique est divisée en deux branches, différenciant les sédiments envasés (SHV et FV) des autres types de fond (GRB, C, GH, GP, SB, SMT et SG). Le premier nœud sépare ensuite les graviers biogènes de l'ensemble des autres sédiments non envasés et, parallèlement, les deux sédiments envasés sont isolés. Les cailloutis et les graviers sableux hétérogènes sont ensuite isolés, puis les graviers propres et sables biogènes d'une part, et les sables mal triés et grossiers d'autre part.

Au final, les six groupes isolés sont donc les graviers biogènes (groupe A), les sables fins envasés (groupe E), les sables hétérogènes envasés (groupe F), un groupe formé par les cailloutis et les graviers sableux hétérogènes (groupe B), un groupe constitué des graviers propres et des sables biogènes (groupe C) et enfin, un dernier groupe rassemblant les sables mal triés et les sables grossiers (groupe D). Ces groupes correspondent à des structures sédimentaires, définies par des conditions environnementales (granulométrie, M.O., courants, etc…) suffisamment particulières pour permettre la différenciation d'assemblages d'espèces à plusieurs niveaux hiérarchiques (peuplements, faciès, communautés), ce qui n'est pas forcément le cas des strates sédimentaires déterminées uniquement à partir des caractéristiques physiques du sédiment. Les ensembles mis en évidence correspondent donc aux habitats réels de la faune benthique.

La CAH réalisée sur les espèces différencie six assemblages d'espèces (figure IV-7b), dont l'un est constitué de quatre sous-ensembles.

IV-3-2-2-3- Analyse croisée des résultats de l'AFC et de la CAH

Les rapprochements entre les ensembles sédimentaires et les assemblages d'espèces apparaissent lorsqu'ils sont placés sur les plans bidimensionnels de l'AFC (figure IV-6). Les associations biosédimentaires, qui peuvent représenter différents niveaux d'assemblage (peuplements ou faciès) sont ainsi mises en évidence.

Un assemblage dominé par trois espèces d'affinité vasicole, *Amphiura brachiata*, *Angulus tenuis* et *Halcampa chrysanthellum*, est associée à l'habitat des sables fins envasés ;

un autre assemblage, composé de *Labidoplax digitata* et *Owenia fusiformis*, deux espèces typiques des sables hétérogènes envasés (Glémarec, 1973), est regroupé avec les sables hétérogènes envasés, plus *Ophiothrix fragilis*, dont la présence témoigne des fractions grossières du mélange sédimentaire.

L'espèce *Glycymeris glycymeris* est également différenciée, proche de l'habitat des graviers biogènes, ainsi que *Pisidia longicornis*, qui n'est pas spécifique à un habitat particulier mais peut se rapprocher de tous les habitats sauf les envasés, étant donné que ce petit crustacé a été observé sur tous les types de fonds sauf les sables fins envasés et les sédiments hétérogènes envasés. D'autre part, un assemblage de quatre espèces, trois gros bivalves (*Tapes rhomboides*, *Dosinia exoleta* et *Clausinella fasciata*) et le prochordé *Branchiostoma lanceolatum*, est situé tout proche des graviers biogènes.

Trois autres habitats mélangent des strates sédimentaires : un habitat est constitué de particules très grossières et très hétérogènes (GH-C), un autre mêle les sables mal triés et les sables grossiers (SMT-SG), ce rapprochement étant facilité par la proportion non négligeable de particules grossières trouvées dans tous les mélanges sédimentaires en Iroise, même les plus fins. Enfin, le dernier habitat rassemble des sédiments hétérogènes (SB-GP). Cependant, les assemblages d'espèces qui correspondent à ces trois habitats semblent plus proches, dans la mesure où ils se différencient dans la CAH sous la forme d'un grand groupe à plusieurs sous-unités.

Les six ensembles sédimentaires mis en évidence par ces analyses multivariées sont les six habitats réellement disponibles pour la faune benthique : ce sont donc ceux-ci qui seront considérés dans la suite des analyses des peuplements de l'Iroise. Ils correspondent donc pour le groupe A à des graviers biogènes (GRB), pour le groupe B à des cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH), pour le groupe C à des graviers au sens large (GL), pour le groupe D à des sables au sens large (SL), pour le groupe E à des sables fins envasés (FV) et pour le groupe F à des sédiments hétérogènes envasés (SHV).

Les assemblages des deux habitats envasés et des graviers biogènes apparaissent très différenciés des autres regroupements d'espèces. Les deux premiers habitats correspondent à des sédiments témoins d'une décantation pélitique, ce qui suppose une localisation et une dynamique tout à fait différentes de celles des autres habitats. Les graviers biogènes peuvent être rendus très particuliers par la présence de maërl, qui constitue un faciès.

Le rôle prépondérant de certaines espèces, comme *G. glycymeris* et *P. longicornis*, est également mis en évidence : celles-ci sont à l'origine de la différenciation en faciès de certains

peuplements, avec un faciès à *Glycymeris* dans les graviers et des faciès à *Pisidia* sur les trois types d'habitats hétérogènes.

IV-3-2-3- Descripteurs appliqués aux habitats définis

IV-3-2-3-1- Richesse spécifique et densité

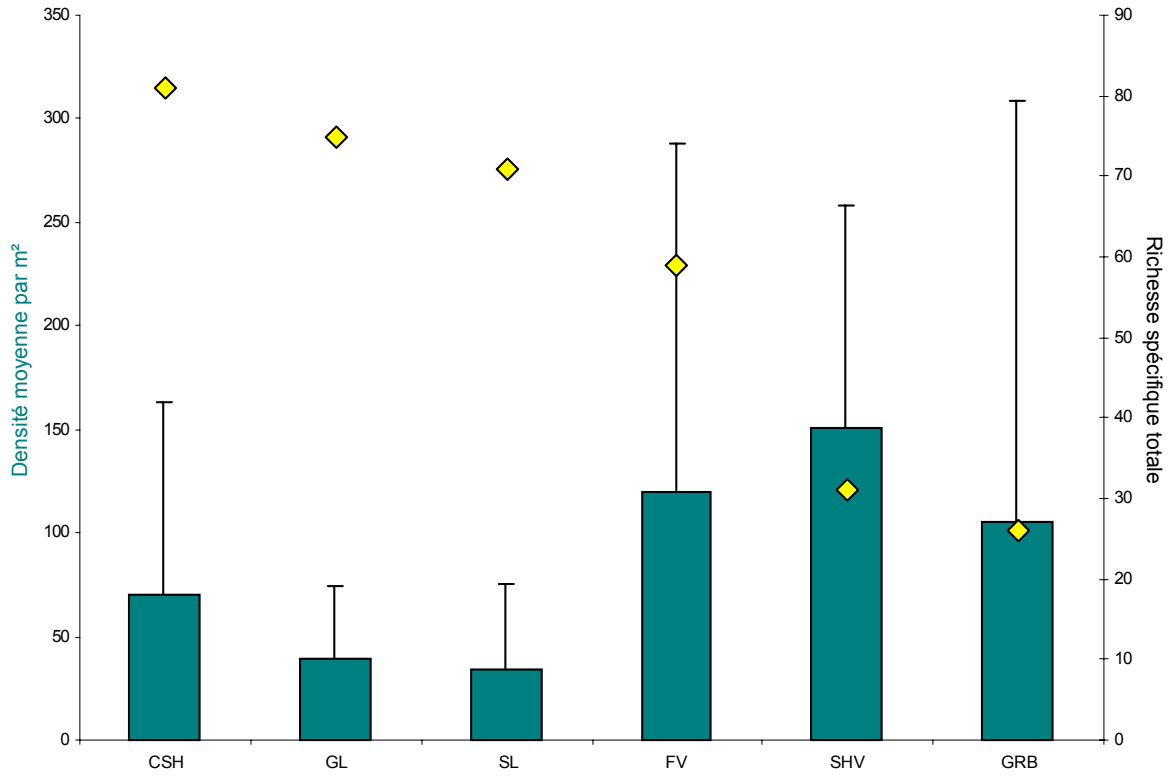


Figure IV-8 : Richesse spécifique totale (points jaunes) et densité moyenne par mètre carré pour la mégafaune des différents habitats définis pour l'Iroise, par ordre de richesse spécifique totale décroissante. Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

L'habitat le plus hétérogène, les cailloutis et sédiments hétérogènes (composé de cailloutis et de graviers sableux hétérogènes, donc des sédiments de toutes tailles), abrite la communauté faunistique la plus diversifiée, avec 81 espèces (figure IV-8). Les deux autres habitats hétérogènes (GL et SL) ont une diversité spécifique équivalente et également forte

(75 et 71 espèces), tandis que les trois autres ont des assemblages d'espèces beaucoup moins diversifiés, avec 59 espèces pour les sables fins envasés et seulement 26 pour les graviers biogènes.

Les densités moyennes de mégafaune ne dépassent pas 150 individus / m², maximum atteint dans les sédiments hétérogènes envasés, pourtant très peu échantillonnés. Les densités les plus fortes sont observées dans les habitats envasés et les graviers biogènes. Les écarts types associés à ces densités moyennes sont très élevés, le plus grand s'observant dans les graviers biogènes. Leur ampleur illustre l'hétérogénéité de ce paramètre densité entre les différentes bennes, due à la répartition en agrégats de certaines espèces.

IV-3-2-3-2- Diversité et équitabilité

Les valeurs de tous les descripteurs biologiques appliqués aux habitats définis sont rassemblées dans le tableau IV-4.

Tableau IV-4 : Tableau de synthèse des principaux descripteurs biologiques : densité moyenne (D_{moy}) par mètre carré et écart type associé, richesse spécifique totale par habitat (S), richesse spécifique moyenne par benne (S_{moy}) et écart type associé, indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et indice d'équitabilité de Pielou (J).

	CSH	GL	SL	FV	SHV	GRB
Nombre de bennes Hamon	**36**	**50**	**65**	**13**	**3**	**9**
D_{moy} / m²	70,33	39,36	34,03	119,69	150,67	105,33
Écart type	*93,01*	*34,75*	*41,84*	*167,90*	*107,43*	*203,01*
S	81	75	71	59	31	26
S_{moy}	6,14	4,80	3,35	8,54	14	4,78
Écart type	*4,55*	*3,29*	*2,72*	*4,01*	*6,08*	*2,86*
H'	4,28	4,85	5,04	4,56	4,17	2,52
J	0,67	0,78	0,82	0,78	0,84	0,54

Les valeurs de richesse spécifique moyenne par benne sont globalement faibles par rapport à leur valeur totale : cela explique pourquoi un grand nombre de bennes est nécessaire pour obtenir un échantillonnage représentatif de la mégafaune présente dans chaque habitat. La moyenne la plus élevée correspond aux sédiments hétérogènes envasés, où 14 espèces ont été identifiées en moyenne dans chacune des trois bennes réalisées dans cet habitat.

Les peuplements des habitats dont la granulométrie est la plus fine (SHV, SL, FV et GL) ont les équitabilités les plus fortes : les abondances de chacune des espèces qui les composent sont mieux équilibrées que dans les habitats les plus grossiers et hétérogènes (CSH et GRB).

Un modèle *DIMO* permet de comparer visuellement la diversité et la régularité des assemblages d'espèces pour chaque habitat (figure IV-9).

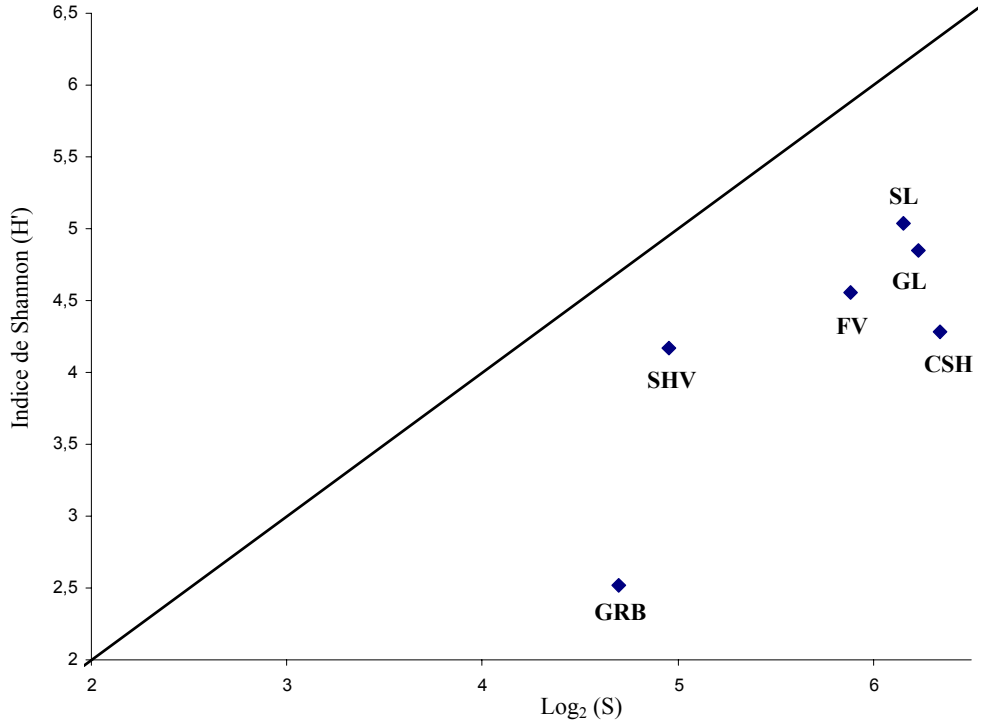


Figure IV-9 : Modèle *DIMO* appliqué aux peuplements des six habitats définis pour la mer d'Iroise.

Le peuplement des graviers biogènes est celui qui présente les valeurs de diversité, régularité et richesse spécifique les plus faibles. Les sédiments hétérogènes envasés, pour une richesse spécifique comparable, montrent une diversité beaucoup plus élevée et la régularité maximale observée (donnée par l'angle α). Les peuplements des quatre autres habitats sont regroupés, avec des richesses spécifiques et des indices de diversité supérieurs. Les valeurs des descripteurs biologiques des graviers et des sables sont particulièrement proches, ce qui n'est pas étonnant étant donné la continuité sédimentaire entre les sables grossiers (présents dans les sables mal triés) et les graviers (qui comportent beaucoup de sables grossiers et moyens).

IV-3-2-4- Espèces *leaders* et espèces exclusives

Le calcul des coefficients D × P au sein de chaque groupe de stations appartenant au même habitat a permis de dresser une liste d'espèces *leaders* : dans cette étude, les valeurs ne sont pas très élevées comparées à d'autres études similaires (Afli, 1999 ; Grall, 2002), où les gammes allaient jusqu'à plus de 2 500. La valeur seuil de 1 sera donc ici un bon compromis pour décrire les peuplements. Les résultats de ces calculs sont donnés dans les tableaux IV-5a à f.

Certaines espèces sont dites exclusives d'un habitat lorsqu'elles ne sont rencontrées dans aucun autre habitat : elles ont donc une haute fidélité à l'habitat sans pour autant être forcément des espèces indicatrices, puisqu'elles peuvent être très peu représentées (Mouillot *et al.*, 2002). Elles sont rassemblées dans les tableaux IV-6a à f.

Ces analyses sont faites à titre indicatif pour les sédiments hétérogènes envasés, mais les espèces *leaders* déterminées ici ne seront pas représentatives de l'ensemble du peuplement puisque l'aire minimale d'échantillonnage n'est pas atteinte dans cet habitat.

Tableaux IV-5 : Résultat des calculs du coefficient de dominance - présence par ordre décroissant pour chaque habitat de l'Iroise ; seules les espèces dont le coefficient est supérieur ou égal à 0,1 sont présentées.

a

Habitat A graviers biogènes (GRB)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Glycymeris	*glycymeris*	16,33
Tapes	*rhomboides*	5,01
Dosinia	*exoleta*	2,91
Clausinella	*fasciata*	1,53
Liocarcinus	*pusillus*	1,34
Liocarcinus	*arcuatus*	1,27
Ebalia	*tuberosa*	1,13
Calyptraea	*chinensis*	0,77
Venerupis	*pullastra*	0,68
Ebalia	*tumefacta*	0,42
Golfingia	*vulgaris*	0,42
Marphysa	*sanguinea*	0,42
Nymphon	*gracile*	0,42
Conilera	*cylindracea*	0,41
Pisidia	*longicornis*	0,40
Galathea	*intermedia*	0,34
Solecurtus	*scopula*	0,31
Branchiostoma	*lanceolatum*	0,30
Apletodon	*dentatus*	0,29
Dosinia	*lupinus*	0,26
Psammechinus	*miliaris*	0,25
Xantho	*pilipes*	0,23
Ophiura	*albida*	0,23
Polinices	*pulchellus*	0,16
Moerella	*donacina*	0,10
Gibbula	*tumida*	0,10

b

Habitat B cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Pisidia	*longicornis*	20,79
Ophiothrix	*fragilis*	2,30
Branchiostoma	*lanceolatum*	1,67
Galathea	*intermedia*	1,61
Leptochiton	*cancellatus*	1,58
Gibbula	*tumida*	1,36
Galathea	*sp*	1,16
Galathea	*strigosa*	1,07
Janira	*maculosa*	0,97
Circomphalus	*casina*	0,81
Crepidula	*fornicata*	0,63
Anthura	*gracilis*	0,63
Clausinella	*fasciata*	0,60
Goodallia	*triangularis*	0,50
Emarginula	*conica*	0,47
Tectura	*virginea*	0,47
Thoralus	*cranchii*	0,47
Paguridae	ind	0,37
Crangon	*fasciatus*	0,32
Euphrosyne	*foliosa*	0,32
Harmothoë	*sp*	0,32
Xantho	*incisus*	0,32
Gari	*tellinella*	0,30
Psammechinus	*miliaris*	0,24
Calyptraea	*chinensis*	0,24
Hinia	*reticulata*	0,24
Glycymeris	*glycymeris*	0,21
Arcopagia	*crassa*	0,20
Lepadogaster	*sp*	0,18
Pagurus	*bernhardus*	0,17
Aphroditidae	ind	0,17
Eurydice	*pulchra*	0,16
Atelecyclus	*rotundatus*	0,16
Aureliania	*heterocera*	0,16
Calliactis	*parasitica*	0,16
Callochiton	*achatinus*	0,16
Caryophyllia	*smithii*	0,16
Chaetopterus	*variopedatus*	0,16
Cochlodesma	*praetenue*	0,16
Diodora	*graeca*	0,16
Eualus	*occultus*	0,16
Halichondria	*panicea*	0,16
Hippolyte	*huntii*	0,16
Idotea	*sp*	0,16
Jujubinus	*sp*	0,16
Leptochiton	*asellus*	0,16
Limatula	*sulcata*	0,16
Majidae	ind	0,16
Myoxocephalus	*scorpius*	0,16
Onchidoris	*inconspicua*	0,16
Pandalina	*brevirostris*	0,16
Pirimela	*denticulata*	0,16
Venus	*verrucosa*	0,16
Gouldia	*minima*	0,14
Ebalia	*tuberosa*	0,13
Xantho	*pilipes*	0,13
Upogebia	*deltaura*	0,13
Ophiocomina	*nigra*	0,13
Hinia	*incrassata*	0,10
Anapagurus	*brevicarpus*	0,10
Antalis	*vulgare*	0,10
Timoclea	*ovata*	0,10

c

Habitat C graviers au sens large (GL)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Branchiostoma	*lanceolatum*	5,30
Ophiocomina	*nigra*	1,93
Glycymeris	*glycymeris*	1,86
Clausinella	*fasciata*	1,78
Arcopagia	*crassa*	1,48
Aequipecten	*opercularis*	1,22
Pecten	*maximus*	1,22
Timoclea	*ovata*	1,11
Goodallia	*triangularis*	0,99
Spatangus	*purpureus*	0,97
Pandora	*pinna*	0,81
Circomphalus	*casina*	0,73
Nucula	*hanleyi*	0,57
Echinocardium	*flavescens*	0,54
Aphroditidae	ind	0,53
Pisidia	*longicornis*	0,50
Laevicardium	*crassum*	0,49
Tapes	*rhomboides*	0,43
Eurynome	*spinosa*	0,42
Dosinia	*lupinus*	0,40
Upogebia	*deltaura*	0,36
Abra	*prismatica*	0,30
Eurydice	*pulchra*	0,27
Asterias	*rubens*	0,27
Dosinia	*exoleta*	0,27
Gari	*tellinella*	0,25
Aspidosiphon	*muelleri*	0,24
Anoplodactylus	*sp*	0,20
Eualus	*pusiolus*	0,20
Eurydice	*spinigera*	0,20
Liocarcinus	*marmoreus*	0,20
Luidia	*ciliaris*	0,20
Lutraria	*angustior*	0,20
Lutraria	*lutraria*	0,20
Pagurus	*prideaux*	0,20
Sphenia	*binghami*	0,20
Crepidula	*fornicata*	0,15
Conilera	*cylindracea*	0,14
Moerella	*donacina*	0,13
Ebalia	*tuberosa*	0,13
Gouldia	*minima*	0,13
Polinices	*pulchellus*	0,13
Thyone	*fusus*	0,12
Ophiothrix	*fragilis*	0,12
Turritella	*communis*	0,12
Ebalia	*cranchii*	0,11
Gari	*depressa*	0,11
Solecurtus	*scopula*	0,11

Suite des tableaux IV-5

d

Habitat D sables au sens large (SL)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Abra	*alba*	7,78
Hyperoplus	*lanceolatus*	3,80
Amphiura	*brachiata*	2,51
Abra	*prismatica*	2,32
Echinocardium	*flavescens*	2,00
Fabulina	*fabula*	0,90
Glycymeris	*glycymeris*	0,79
Goodallia	*triangularis*	0,77
Diplodonta	*rotundata*	0,72
Hippolyte	*varians*	0,72
Pisidia	*longicornis*	0,53
Astropecten	*irregularis*	0,38
Owenia	*fusiformis*	0,37
Antalis	*entalis*	0,36
Gari	*fervensis*	0,36
Echinocardium	*cordatum*	0,36
Aphroditidae	ind	0,34
Dosinia	*exoleta*	0,34
Lucinella	*divaricata*	0,31
Eurydice	*pulchra*	0,28
Spisula	*elliptica*	0,20
Ophiothrix	*fragilis*	0,19
Hinia	*reticulata*	0,18
Arca	*lactea*	0,18
Caecum	*sp*	0,18
Euspira	*catena*	0,18
Processa	*sp*	0,18
Sphaeroma	*bidentata*	0,18
Spisula	*subtruncata*	0,18
Amphiura	*filiformis*	0,17
Gari	*depressa*	0,16
Polinices	*pulchellus*	0,15
Ophiura	*ophiura*	0,15
Anapagurus	*brevicarpus*	0,13
Branchiostoma	*lanceolatum*	0,13
Arcopagia	*crassa*	0,12
Gari	*tellinella*	0,11
Paguridae	ind	0,11
Pagurus	*bernhardus*	0,11
Moerella	*donacina*	0,11
Chamelea	*gallina*	0,10
Ophiocomina	*nigra*	0,10
Nucula	*hanleyi*	0,10

e

Habitat E sables fins envasés		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Angulus	*tenuis*	20,05
Amphiura	*brachiata*	5,81
Mangelia	*rugulosa*	5,40
Sipunculus	*nudus*	4,36
Halcampa	*chrysanthellum*	3,45
Mangelia	*coarctata*	2,57
Angulus	*squalidus*	1,80
Echinocardium	*cordatum*	1,71
Bittium	*reticulatum*	1,54
Phascolion	*strombus*	1,18
Eurydice	*affinis*	1,03
Harmothoë	*lunulata*	1,03
Amphiura	*filiformis*	1,00
Chamelea	*gallina*	0,85
Holothurie	ind	0,84
Dentalium	*novemcostatum*	0,77
Leptosynapta	*inhaerans*	0,77
Turritella	*communis*	0,76
Nematode	ind	0,57
Owenia	*fusiformis*	0,54
Acanthocardia	*aculeata*	0,51
Philine	*aperta*	0,51
Pholoë	*inornata*	0,51
Eurydice	*pulchra*	0,47
Nucula	*turgida*	0,45
Astacilla	*longicornis*	0,39
Lucinella	*divaricata*	0,37
Moerella	*donacina*	0,35
Pseudothyone	*raphanus*	0,32
Hinia	*incrassata*	0,31
Spisula	*elliptica*	0,28
Conilera	*cylindracea*	0,26
Ophiura	*albida*	0,26
Callionymus	*maculatus*	0,26
Lepidonotus	*sp*	0,26
Leptopentacta	*elongata*	0,26
Lyonsia	*norwegica*	0,26
Telepsavrus	*costarum*	0,26
Thracia	*pubescens*	0,26
Vitreolina	*collensi*	0,26
Phaxas	*pellucidus*	0,24
Hinia	*reticulata*	0,22
Ophiura	*ophiura*	0,21
Hiatella	*arctica*	0,16
Goodallia	*triangularis*	0,16
Thyone	*fusus*	0,15
Asterias	*rubens*	0,14
Dosinia	*exoleta*	0,12
Nucula	*hanleyi*	0,10

f

Habitat F Sédiments hétérogènes envasés		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Owenia	*fusiformis*	14,05
Labidoplax	*digitata*	9,93
Ophiothrix	*fragilis*	5,30
Sthenelais	*boa*	3,79
Phaxas	*pellucidus*	3,54
Ophiura	*albida*	2,89
Halcampa	*chrysanthellum*	2,80
Aphroditidae	ind	2,74
Amphiura	*brachiata*	2,42
Cirolana	*cranchii*	2,16
Ophiocomina	*nigra*	1,89
Cerianthus	*lloydii*	1,77
Ischnochiton	*albus*	1,77
Neopentadactyla	*mixta*	1,77
Anapagurus	*hyndmanni*	1,43
Cereus	*pedunculatus*	0,88
Corbula	*gibba*	0,88
Harmothoë	*spinifera*	0,88
Liocarcinus	*holsatus*	0,88
Parvicardium	*exiguum*	0,88
Plathelminthe	ind	0,88
Quadrans	*serratus*	0,88
Tethya	*aurentium*	0,88
Aphrodita	*aculeata*	0,72
Pseudothyone	*raphanus*	0,61
Paguridae	ind	0,59
Amphiura	*filiformis*	0,50
Hinia	*incrassata*	0,46
Psammechinus	*miliaris*	0,39
Chamelea	*gallina*	0,36
Eurydice	*pulchra*	0,33

Tableaux IV-6a à f : Liste des espèces exclusives de chaque habitat et coefficient D X P.

a

Habitat A graviers biogènes (GRB)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Liocarcinus	*arcuatus*	1,27
Ebalia	*tumefacta*	0,42
Golfingia	*vulgaris*	0,42
Marphysa	*sanguinea*	0,42
Nymphon	*gracile*	0,42

b

Habitat B cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Leptochiton	*cancellatus*	1,58
Anthura	*gracilis*	0,63
Emarginula	*conica*	0,47
Tectura	*virginea*	0,47
Thoralus	*cranchii*	0,47
Crangon	*fasciatus*	0,32
Euphrosyne	*foliosa*	0,32
Harmothoë	*sp*	0,32
Xantho	*incisus*	0,32
Atelecyclus	*rotundatus*	0,16
Aureliana	*heterocera*	0,16
Calliactis	*parasitica*	0,16
Callochiton	*achatinus*	0,16
Caryophyllia	*smithii*	0,16
Chaetopterus	*variopedatus*	0,16
Cochlodesma	*praetenue*	0,16
Diodora	*graeca*	0,16
Eualus	*occultus*	0,16
Halichondria	*panicea*	0,16
Hippolyte	*huntii*	0,16
Idotea	*sp*	0,16
Jujubinus	*sp*	0,16
Leptochiton	*asellus*	0,16
Limatula	*sulcata*	0,16
Majidae	ind	0,16
Myoxocephalus	*scorpius*	0,16
Onchidoris	*inconspicua*	0,16
Pandalina	*brevirostris*	0,16
Pirimela	*denticulata*	0,16
Venus	*verrucosa*	0,16

c

Habitat C graviers au sens large (GL)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Aequipecten	*opercularis*	1,22
Pecten	*maximus*	1,22
Pandora	*pinna*	0,81
Anoplodactylus	*sp*	0,20
Eualus	*pusiolus*	0,20
Eurydice	*spinigera*	0,20
Liocarcinus	*marmoreus*	0,20
Luidia	*ciliaris*	0,20
Lutraria	*angustior*	0,20
Lutraria	*lutraria*	0,20
Pagurus	*prideaux*	0,20
Sphenia	*binghami*	0,20

d

Habitat D sables au sens large (SL)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Abra	*alba*	7,78
Hyperoplus	*lanceolatus*	3,80
Fabulina	*fabula*	0,90
Diplodonta	*rotundata*	0,72
Hippolyte	*varians*	0,72
Antalis	*entalis*	0,36
Gari	*fervensis*	0,36
Arca	*lactea*	0,18
Caecum	*sp*	0,18
Euspira	*catena*	0,18
Processa	*sp*	0,18
Sphaeroma	*bidentata*	0,18
Spisula	*subtruncata*	0,18

e

Habitat E sables fins envasés (FV)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Angulus	*tenuis*	20,05
Mangelia	*rugulosa*	5,40
Mangelia	*coarctata*	2,57
Angulus	*squalidus*	1,80
Bittium	*reticulatum*	1,54
Eurydice	*affinis*	1,03
Harmothoë	*lunulata*	1,03
Dentalium	*novemcostatum*	0,77
Leptosynapta	*inhaerans*	0,77
Acanthocardia	*aculeata*	0,51
Philine	*aperta*	0,51
Pholoë	*inornata*	0,51
Callionymus	*maculatus*	0,26
Lepidonotus	*sp*	0,26
Leptopentacta	*elongata*	0,26
Lyonsia	*norwegica*	0,26
Telepsavrus	*costarum*	0,26
Thracia	*pubescens*	0,26
Vitreolina	*collensi*	0,26

f

Habitat F sédiments hétérogènes envasés (SHV)		
Genre	**Espèce**	**D X P**
Cerianthus	*lloydii*	1,77
Ischnochiton	*albus*	1,77
Neopentadactyla	*mixta*	1,77
Cereus	*pedunculatus*	0,88
Corbula	*gibba*	0,88
Harmothoë	*spinifera*	0,88
Liocarcinus	*holsatus*	0,88
Parvicardium	*exiguum*	0,88
Plathelminthe	ind	0,88
Quadrans	*serratus*	0,88
Tethya	*aurentium*	0,88

Le peuplement de l'habitat de graviers biogènes (GRB) a pour principale espèce *leader* l'amande de mer *Glycymeris glycymeris*, accompagnée de trois autres gros bivalves : *Tapes rhomboides*, *Dosinia exoleta* et *Clausinella fasciata*, ainsi que les crabes *Liocarcinus arcuatus*, *L. pusillus* et *Ebalia tuberosa*.

Cinq espèces exclusives ont été observées pour cet habitat : deux crustacés (*L. arcuatus* et *E. tumefacta*), le sipunculien *Golfingia vulgaris*, le polychète errante *Marphysa sanguinea* et le petit chélicérate pycnogonide *Nymphon gracile*.

L'habitat de cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH) héberge un peuplement dont les espèces *leaders* reflètent les caractéristiques de cet ensemble sédimentaire particulier, avec de nombreux représentants de l'épifaune. L'espèce dominante est le petit crustacé *Pisidia longicornis* : c'est d'ailleurs l'espèce *leader* qui présente le plus fort coefficient D × P de tous les peuplements décrits en Iroise, avec une valeur de 20,79. Des espèces marcheuses comme les galathées *Galathea intermedia* et *G. strigosa*, rampantes (*Ophiothrix fragilis* et *Gibbula tumida*) ou nécessitant des supports de fixation comme le chiton *Leptochiton cancellatus* complètent ce peuplement marqué par la présence des cailloutis. L'amphioxus *Branchiostoma lanceolatum* est également bien représenté dans cet habitat fortement hétérogène.

Les cailloutis et sédiments hétérogènes recèlent le plus grand nombre d'espèces exclusives (trente espèces). La plupart d'entre elles appartiennent à l'épifaune marcheuse, rampante ou fixée, avec trois chitons et quatre espèces de crabes, deux isopodes, trois anémones, une éponge, un opisthobranche et six gastéropodes dont trois fixés, mais également trois polychètes dont deux errantes, trois bivalves et un poisson.

L'habitat de graviers au sens large (GL) a l'espèce *leader* principale qui a le coefficient D × P le moins fort de tous les peuplements : c'est l'amphioxus (*Branchiostoma lanceolatum*), avec une valeur de 5,30 seulement. Cette espèce est accompagnée d'une ophiure, *Ophiocomina nigra* et de six bivalves, *Glycymeris glycymeris*, *Clausinella fasciata*, *Arcopagia crassa*, *Aequipecten opercularis*, *Pecten maximus* et *Timoclea ovata*. Ce peuplement est particulièrement bien diversifié en bivalves de grande taille. Parmi les espèces accompagnatrices se trouvent *Moerella donacina*, *Spatangus purpureus*, *Abra prismatica*, *Goodallia triangularis* et *Dosinia lupinus*.

Les douze espèces exclusives occupant cet habitat sont des bivalves pour six d'entre elles, dont les Pectinidés *Aequipecten opercularis* et *Pecten maximus*, des crustacés (un crabe, un pagure, une crevette et un isopode), un pycnogonide et une étoile de mer. La présence du

bivalve *Solecurtus scopula* indique la bonne efficacité de pénétration de la benne Hamon dans les graviers. En effet, ce bivalve vit enfoui assez profondément dans le sédiment et seuls ses siphons, dépassant en surface, sont arrachés en cas d'échantillonnage à la benne Smith-Mc Intyre (Glémarec, comm. pers.).

Dans le peuplement de l'habitat de sables au sens large (SL), l'espèce *leader* est le bivalve *Abra alba*, accompagnée du lançon *Hyperoplus lanceolatus*, d'une ophiure (*Amphiura brachiata*), d'un autre bivalve (*A. prismatica*) et de l'oursin des sables *Echinocardium flavescens*. Les espèces accompagnatrices sont pour beaucoup des bivalves (*Spisula elliptica*, *Nucula hanleyi*, *Glycymeris glycymeris*, *Dosinia exoleta*, *Arcopagia crassa*, *Gari tellinella*, *Moerella donacina*, *Chamelea gallina*, *Fabulina fabula*, *Diplodonta rotundata*, *Lucinella divaricata* et *Goodallia triangularis*), des échinodermes (*Amphiura brachiata*, *A. filiformis*, *Ophiura ophiura*, *Echinocardium cordatum* et *Astropecten irregularis*), le polychète *Owenia fusiformis* et le scaphopode *Antalis entalis*.

La moitié des treize espèces exclusives de cet habitat sont encore des bivalves, deux des gastéropodes, un isopode et un scaphopode. Le lançon en fait également partie, puisque ce poisson a toujours été capturé sur le même type de fond, à savoir des sables grossiers.

L'habitat de sables fins envasés (FV) est caractérisé par une espèce *leader* principale : le bivalve *Angulus tenuis*, qui lui est exclusive, ainsi que par plusieurs autres espèces, comme les ophiures *A. brachiata* et *A. filiformis*, la petite anémone *Halcampa chrysanthellum*, les gastéropodes *Bittium reticulatum*, *Mangelia rugulosa* et *M. coarctata*, les sipunculiens *Sipunculus nudu*s et *Phascolion strombus*, les bivalves *Angulus squalidus* et *Chamelea gallina*, le polychète errante *Harmothoë lunulata*, l'oursin *Echinocardium cordatum* et l'isopode *Eurydice affinis*.

Cet habitat héberge dix-neuf espèces exclusives, dont cinq bivalves, cinq gastéropodes, quatre polychètes dont trois Aphroditidae, deux holothuries, un scaphopode et un isopode.

Le peuplement de l'habitat de sédiments hétérogènes envasés (SHV) est dominé par une espèce de polychète sédentaire d'affinité sabulicole-mixticole-vasicole : *Owenia fusiformis*, accompagnée d'une autre espèce caractérisant des sables hétérogènes faiblement envasés : *Sthenelais boa*. Les autres espèces sont tolérantes ou ont une affinité pour les sédiments légèrement envasés : ce sont des holothuries (*Labidoplax digitata* et

Neopentadactyla mixta), des anémones (*Halcampa chrysanthellum* et *Cerianthus lloydii*), un bivalve (*Phaxas pellucidus*), des ophiures (*Ophiura albida* et *Amphiura brachiata*) et des polychètes errantes Aphroditidae.

Enfin, quelques espèces d'épifaune, associées aux cailloutis de surface marquant l'hétérogénéité des sédiments, complètent ce peuplement avec les ophiures *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*, les crustacés marcheurs *Cirolana cranchii* et *Anapagurus hyndmanni* et le chiton *Ischnochiton albus*.

Onze espèces sont exclusives à cet habitat : trois bivalves dont *Parvicardium exiguum* et *Corbula gibba* caractéristique des sables hétérogènes envasés, deux anémones (*Cerianthus lloydii* et *Cereus pedunculatus*), un polychète errante, une holothurie (*Neopentadactyla mixta*), un chiton, un crabe, une éponge (*Tethya aurentium*) et une espèce de plathelminthe.

IV-3-2-5- Approche fonctionnelle : structure taxotrophique des peuplements

IV-3-2-5-1- Structure taxonomique

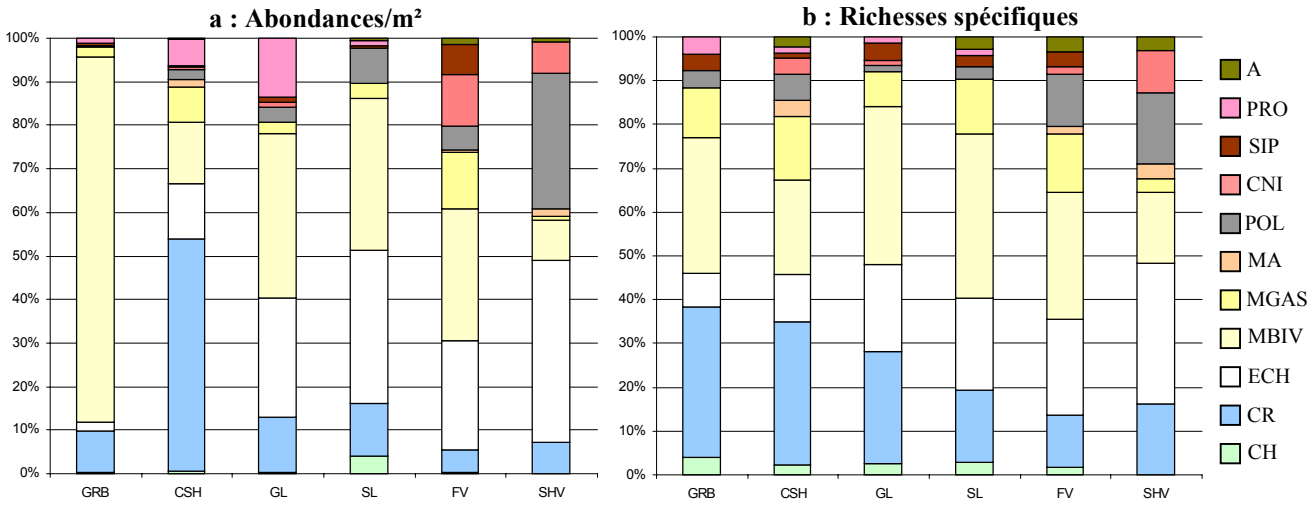


Figure IV-10 : Pourcentages des groupes taxonomiques par habitat, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse spécifique totale (b) : CH = chordés ; CR = crustacés ; ECH = échinodermes ; MBIV = mollusques bivalves ; MGAS = mollusques gastéropodes ; MA = mollusques autres ; POL = polychètes ; CNI = cnidaires ; SIP = sipunculiens ; PRO = prochordé ; A = autres (scaphopodes, plathelminthes et nématodes).

Les groupes taxonomiques dominants la mégafaune, en densités comme en richesse spécifique, sont les mollusques bivalves et gastéropodes, les crustacés, les échinodermes et, dans une moindre mesure, les polychètes et les cnidaires (figure IV-10).

En termes de densités, les graviers biogènes sont dominés par les bivalves (84 %, en grande majorité *Glycymeris glycymeris*, avec *Tapes rhomboides* et *Dosinia exoleta*), ainsi que par des crustacés à 9 %. La structure des habitats de sables fins envasés, de graviers et de sables au sens large est partagée principalement entre les bivalves (30 à 38 %, *Angulus tenuis* pour le premier et de nombreuses espèces pour les deux autres), les échinodermes (25 à 35 %, *Amphiura brachiata* pour les sables fins envasés et l'habitat de sables au sens large, *Ophiocomina nigra* pour l'habitat de graviers au sens large) et les crustacés (7 à 13 %, nombreuses espèces pour les trois habitats). En plus, 12 % de cnidaires (*Halcampa chrysanthellum*), des sipunculiens (7 %, *Sipunculus nudus*) et des polychètes (6 %) sont observés dans le premier, 14 % de prochordés -dont *Branchiostoma lanceolatum* est le seul

représentant- dans le deuxième et 8 % de polychètes dans le troisième. Dans l'habitat de sédiments hétérogènes envasés, les polychètes (surtout *Owenia fusiformis*) prennent une part importante dans la structure taxonomique : avec 31 %, ils arrivent juste après les échinodermes (42 %, *Labidoplax digitata*, *Ophiothrix fragilis* et *A. brachiata*), et bien avant les bivalves (9 %, *Phaxas pellucidus*), les crustacés et les cnidaires (7 % chacun). Le peuplement de l'habitat de cailloutis et sédiments hétérogènes est largement dominé par les crustacés (54 %, *Pisidia longicornis*), puis les mollusques (24 %), les échinodermes (12 %) et enfin, les amphioxus (6 %).

En termes de richesse spécifique, la structure est plus équilibrée entre les groupes taxonomiques : huit à dix des onze groupes taxonomiques sont représentés dans chacun des habitats. Une structure globale de la mégafaune peut être calculée, pour l'ensemble des fonds de la mer d'Iroise (figure IV-11).

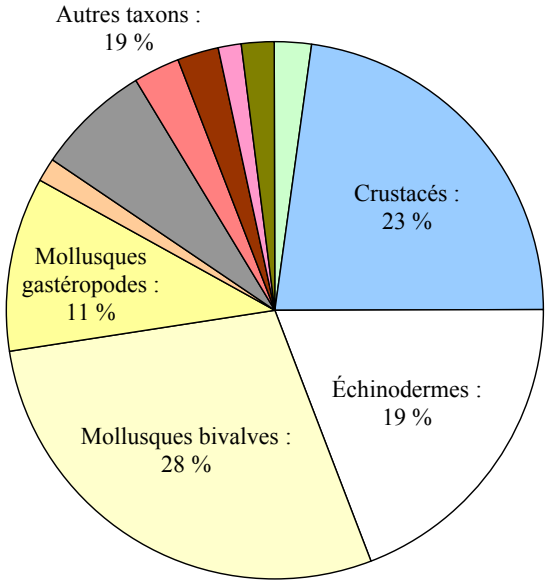


Figure IV-11 : Répartition moyenne des espèces de la mégafaune benthique par groupe taxonomique : structure globale pour l'ensemble des peuplements de l'Iroise.

Le groupe taxonomique le mieux représenté est celui des mollusques, avec en moyenne 28 % de bivalves et 11 % de gastéropodes, puis 23 % des espèces sont des crustacés (crabes, crevettes, pagures et galathées), 19 % des échinodermes (ophiures, holothuries, oursins et étoiles de mer), 7 % des polychètes, errantes et sédentaires, 3 % des cnidaires et des sipunculiens, 2 % des poissons et enfin, 1 % seulement des prochordés (*B. lanceolatum*).

IV-3-2-5-2- Structure trophique

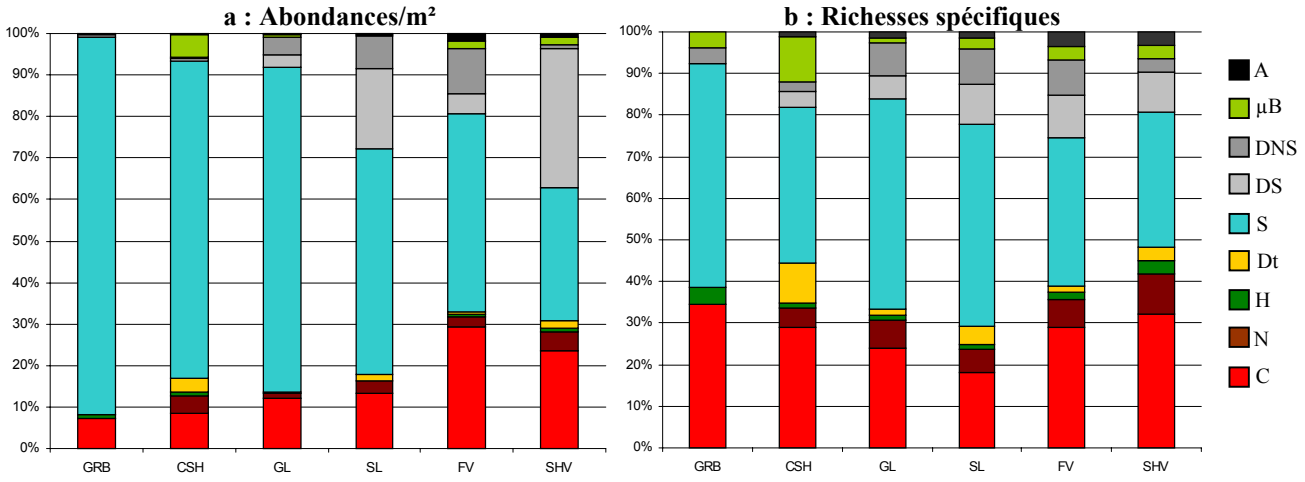


Figure IV-12 : Pourcentages des groupes trophiques par habitat, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse spécifique totale (b) : C = prédateurs ; N = nécrophages ; H = herbivores ; Dt = détritivores ; S = suspensivores ; DS = déposivores sélectifs ; DNS = déposivores non sélectifs ; µB = microbrouteurs ; A = autres.

La structure trophique des peuplements de la mégafaune benthique des six habitats représentés, en abondances moyennes par mètre carré, est dominée par les suspensivores, les prédateurs et les déposivores de surface. Les groupes les plus diversifiés en diversité spécifique totale restent les suspensivores, les prédateurs et, dans une moindre mesure, les déposivores de surface et de subsurface et les nécrophages (figure IV-12).

Dans chaque habitat, tous les groupes trophiques sont représentés, en abondances comme en diversité spécifique, à l'exception des graviers biogènes, qui n'en abrite que cinq. Les structures trophiques sont mieux équilibrées entre les différents groupes fonctionnels lorsque les richesses spécifiques sont considérées plutôt que les densités : il existe une redondance importante d'espèces de même rôle fonctionnel au sein de certains de ces groupes. Dans les habitats de cailloutis, de graviers et de sables, 31 à 38 espèces de suspensivores sont représentées et 13 à 24 de prédateurs ; 9 espèces de microbrouteurs cohabitent dans les cailloutis et sédiments hétérogènes.

Cependant, dans les habitats les plus grossiers et hétérogènes, la structure des peuplements, en termes de densités d'individus, est dominée par les suspensivores et, dans une moindre mesure, par les prédateurs. C'est particulièrement vrai pour le peuplement de graviers biogènes, dominé à plus de 90 % par les suspensivores (*G. glycymeris*). Cette structure reste

semblable si la station n° 21, dominée par *G. glycymeris* (plus de 500 / m²) est retirée de l'analyse.

La structure trophique en pourcentages de richesse spécifique totale de la mégafaune benthique est beaucoup plus homogène entre les habitats : une structure globale émerge de ces résultats pour l'ensemble de la mer d'Iroise, avec en moyenne 43 % de suspensivores, 28 % de prédateurs, 6 % de nécrophages, de déposivores sélectifs et de déposivores non sélectifs, 4 % de microbrouteurs, de détritivores et 2 % d'herbivores (figure IV-13).

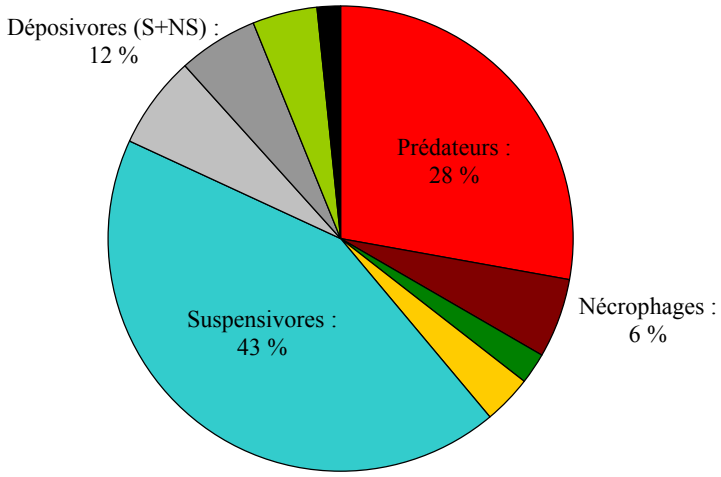


Figure IV-13 : Répartition moyenne des espèces de la mégafaune benthique par groupe trophique : structure globale pour l'ensemble des peuplements de l'Iroise.

Les structures trophiques ont tendance à être complexes en termes de diversité spécifique comme en abondances d'individus, ce qui illustre l'existence d'un réseau complet d'interactions trophiques entre des animaux de modes alimentaires différents, ainsi qu'une redondance des espèces à l'intérieur des groupes trophiques. Les systèmes de chaque habitat peuvent donc fonctionner en réseaux trophiques indépendants dans des zones biosédimentaires différentes et seraient capables d'une certaine résistance en cas de perturbation sur une partie des espèces.

Pour chaque habitat, les espèces dominantes (en pourcentage de la densité totale) sont données dans le tableau IV-7. Ainsi, dans tous les habitats gravellicoles, ce sont exclusivement des espèces suspensivores qui dominent. Par contre, dans les peuplements des habitats sableux, deux autres groupes trophiques sont bien représentés : les prédateurs et les déposivores de surface.

Parmi les suspensivores des graviers et cailloutis, quatre espèces se retrouvent aux premières places : un crustacé (*Pisidia longicornis*), une ophiure (*Ophiothrix fragilis*), un prochordé (*Branchiostoma lanceolatum*) et un bivalve (*Glycymeris glycymeris*) ; les graviers biogènes sont entièrement dominés par des bivalves suspensivores.

La dominance de la structure trophique du peuplement de sables fins envasés est partagée entre les prédateurs (*Halcampa chrysanthellum* et *Mangelia rugulosa*) et les suspensivores (*Amphiura brachiata*, *Angulus tenuis*), tous de petite taille. Dans les deux autres habitats sableux, les prédateurs laissent place aux déposivores sélectifs (*Owenia fusiformis* et *Labidoplax digitata* ou *Abra alba*) dans la dominance de la structure trophique, toujours partagée avec les suspensivores (*A. brachiata* et *Ophiothrix fragilis* ou *Pisidia longicornis*). L'ophiure *A. brachiata* occupe une des premières place dans la dominance des structures trophiques des trois habitats sableux.

Tableau IV-7 : Dominances d'espèces (dans l'ordre décroissant du pourcentage de la densité totale) dans les habitats gravellicoles (a) et sableux (b) ; S = suspensivores ; C = prédateurs ; DS = déposivores sélectifs ou de surface.

a **HABITATS GRAVELLICOLES**

CSH	GL	GRB
Pisidia longicornis (S)	*Ophiocomina nigra* (S)	*Glycymeris glycymeris* (S)
Ophiothrix fragilis (S)	*Branchiostoma lanceolatum* (S)	*Tapes rhomboides* (S)
Branchiostoma lanceolatum (S)	*Clausinella fasciata* (S)	*Dosinia exoleta* (S)
Goodalia triangularis (S)	*Glycymeris glycymeris* (S)	*Clausinella fasciata* (S)

b **HABITATS SABLEUX**

FV	SHV	SL
Angulus tenuis (S)	*Owenia fusiformis* (DS)	*Amphiura brachiata* (S)
Amphiura brachiata (S)	*Labidoplax digitata* (DS)	*Abra alba* (DS)
= *Halcampa chrysanthellum* (C)	*Ophiothrix fragilis* (S)	*Pisidia longicornis* (S)
Mangelia rugulosa (C)	*Amphiura brachiata* (S)	*Owenia fusiformis* (DS)

IV-3-3- Données complémentaires de macrofaune et de mégafaune surdispersée

L'analyse des échantillons non quantitatifs fournit des listes d'espèces présentes dans les habitats, qui complètent les données quantitatives obtenues grâce aux bennes Hamon. De même, la macrofaune des bennes Hamon, déterminée pour une partie seulement des échantillons, permet de préciser la description des peuplements définis en Iroise.

Au total, 160 taxons de mégafaune (dont une partie est commune avec la liste quantitative) et 195 de macrofaune ont été déterminés sur l'ensemble des échantillons récoltés avec tous les types d'engins : bennes Hamon, dragues à coquilles, dragues Rallier du Baty, petits chaluts à panneaux (annexe C).

La validité des résultats doit cependant être nuancée par les différences très importantes dans le nombre d'échantillons considérés entre les différents habitats : en particulier, les données obtenues pour les graviers biogènes et les sédiments hétérogènes envasés proviennent de deux et cinq échantillons seulement. De plus, l'absence d'une espèce dans un habitat n'implique pas qu'elle y est absente, l'effort d'échantillonnage ayant pu être insuffisant pour l'observer. Cependant, les espèces ayant un coefficient de présence, défini par le rapport entre le nombre d'observations et le nombre d'échantillons de l'habitat, supérieur à 0,5 sont présentes de façon régulière dans l'habitat et en sont donc représentatives.

Les crustacés et les bivalves exploités, comme le tourteau (*Cancer pagurus*), l'araignée (*Maja squinado*), la coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*), le pétoncle blanc (*Aequipecten opercularis*) et l'amande de mer (*Glycymeris glycymeris*) figurent en bonne place dans ces listes d'espèces. La proportion d'espèces d'épifaune peut également être considérée et comparée entre les différents habitats. Un grand nombre des espèces rencontrées appartiennent à l'épifaune vagile (crustacés, ophiures, oursins réguliers, gastéropodes rampants, *etc*...), elles sont présentes dans tous les habitats. Les espèces d'épifaune sessile, comme les éponges, les bryozoaires, les anémones, les gastéropodes fixés, polychètes serpulidés, *etc*..., sont beaucoup plus représentées dans les sédiments riches en cailloutis et en graviers. Cependant, certaines espèces, souvent de petite taille, sont également présentes dans les habitats constitués de sédiments fins, ce qui témoigne une fois de plus de la présence de particules grossières qui leur servent de supports de fixation dans quasiment tous les sédiments de la mer d'Iroise. Ce rôle de support peut être rempli par des coquilles vides de lamellibranches, plus ou moins érodées.

IV-3-4- Discussion

IV-3-4-1- Description générale des peuplements de la mer d'Iroise

Les fonds durs, essentiellement représentés en Iroise par les plates-formes rocheuses et les zones de roches, n'ont pas été échantillonnés faute de moyens adaptés. Cependant, étant donné les caractéristiques proches des conditions hydrodynamiques dans ces deux zones, il est probable qu'ils sont comparables aux fonds circalittoraux décrits par Cabioch (1968). Ils constituent des fonds accidentés, parcourus par des courants souvent turbulents, qui regroupent une mosaïque de peuplements. En effet, les pointements rocheux, porteurs d'épibioses sessiles, alternent avec des étendues sédimentaires qui en sont pratiquement dépourvues dans la plupart des cas et où les échantillonnages à la benne ou à la drague Rallier du Baty sont à nouveau possibles. L'épifaune spécifique de ces fonds de roche est majoritairement sessile, c'est le "peuplement des fonds durs à *Axinella dissimilis*", riche en spongiaires, bryozoaires dressés et cnidaires (Cabioch, 1968), observé également par Toulemont (1972) dans les zones rocheuses de la baie de Douarnenez à celle d'Audierne.

Les étendues sédimentaires, y compris celles recouvertes de cailloutis et graviers, ont par contre été étudiées de façon satisfaisante dans ce travail. L'ensemble des résultats, obtenus à l'échelle de l'Iroise, permet de décrire précisément les peuplements rencontrés en Iroise et de les comparer à ceux observés dans d'autres zones marines. Six peuplements principaux se sont dégagés de l'ensemble de ces données, dont certains présentent déjà plusieurs faciès à cette échelle d'analyse de l'ensemble du milieu marin de l'Iroise.

IV-3-4-1-1- Les graviers biogènes (GRB)

Le peuplement des graviers biogènes est très différencié de ceux des autres habitats gravellicoles. Il est caractérisé par la présence de gros bivalves suspensivores, vivant en surface du sédiment : *Glycymeris glycymeris*, *Tapes rhomboides*, *Dosinia exoleta* et *Clausinella fasciata*, accompagnés des crabes *Liocarcinus arcuatus*, *L. pusillus* et *Ebalia tuberosa*, appartenant à l'épifaune vagile.

Un faciès à *Glycymeris glycymeris* et *Tapes rhomboides* est représenté à la station n° 21 (nord de l'anse des Blancs Sablons), différencié par des densités très élevées de ces deux bivalves (respectivement 528 et 92 individus / m²). : ce faciès pourrait se rapprocher de la "strate des *Glycymeris*" décrite par Hily (1989) dans les dépressions du secteur central de la rade de Brest.

L'assemblage d'espèces identifié par les analyses multivariées et constitué des quatre espèces *T. rhomboides*, *D. exoleta*, *C. fasciata* et *Branchiostoma lanceolatum*, avec *Circomphalus casina* caractérise le mieux ce peuplement, qui se rapproche du "faciès type du peuplement des sédiments grossiers à *Venus* (= *Clausinella*) *fasciata*" décrit par Cabioch (1968) en Manche Occidentale, avec une épifaune vagile assez bien développée. La faune des stations n° 19, 22 et 23 comporte de nombreuses espèces, observées parmi la mégafaune et constituant l'épifaune vagile des fonds grossiers ou durs, qui ont été signalées par Cabioch (1968) comme des espèces accessoires dans le "faciès type" du "peuplement de maërl" qu'il décrit, (*Aequipecten opercularis*, *Pecten maximus*, *Pisidia longicornis*, *Inachus phalangium*, *Ebalia tuberosa*, *E. tumefacta*, *Galathea intermedia*, *Gibbula tumida*,…). Une bonne partie des graviers de ces stations était effectivement constituée de maërl vivant et mort et constitue donc un faciès de maërl. Le peuplement du maërl apparaît cependant ici comme assez pauvre comparé aux descriptions données par Grall (2002), ce fait étant dû au faible effort d'échantillonnage réalisé dans ce faciès.

Les espèces caractérisant ce peuplement sont majoritairement des bivalves et des crustacés vagiles, en accord avec leur position en surface d'un substrat graveleux hétérogène. L'ensemble de ce peuplement est totalement dominé par des gros bivalves suspensivores.

IV-3-4-1-2- Les cailloutis et sédiments hétérogènes (CSH)

Le peuplement de l'habitat de cailloutis et sédiments hétérogènes est constitué majoritairement d'espèces de l'épifaune de fonds caillouteux, très diversifiée en espèces vagiles ou fixées (bivalves, étoiles de mer, galathées, crabes, isopodes, opisthobranches, gastéropodes, anémones, chitons, éponges, bryozoaires). Plusieurs gros bivalves du "peuplement des sédiments grossiers à *C. fasciata*" sont également représentées dans la mégafaune (*Arcopagia crassa*, *C. casina*, *G. glycymeris*).

Un faciès à *Pisidia longicornis* (jusqu'à 328 individus / m²) se différencie à la sortie du goulet de Brest (stations n° 39, 46, 61 et 62).

Un faciès à *Ophiothrix fragilis* est représenté à la station n° 62 (84 / m²), peu profonde, exposée aux courants et jouxtant une zone de roches, mais l'espèce est présente dans le peuplement de base de cet habitat. Dans le peuplement des cailloutis et graviers prélittoraux qu'il décrit, Cabioch (1968) montrait le caractère particulier des fonds à *O. fragilis*, qu'il associait à un "faciès à *Ophiothrix fragilis* et bryozoaires dominants" des fonds de cailloutis dans des zones de forts courants. Selon lui, la présence de ces bancs semble dépendre de trois conditions : une profondeur inférieure à 85 mètres, l'existence de courants suffisamment forts pour que les cailloutis dominent et une configuration des fonds qui soit suffisamment régulière pour que les courants s'écoulent sans trop de turbulences au niveau du substrat. Un autre aspect remarquable de ces fonds à ophiures est leur permanence dans les zones rassemblant ces trois conditions. Toulemont (1972) définissait, en baie de Douarnenez, une "épifaune vagile des roches, cailloutis et graviers à *Ophiothrix fragilis*". Cette espèce est souvent accompagnée d'une autre ophiure suspensivore, *Ophiocomina nigra*, ici en moindre densité. C'est également le cas en rade de Brest, avec de fortes densités d'*O. fragilis*, abondante sur la plupart des fonds de sédiments grossiers peu ou pas envasés d'une vingtaine de mètres (Hily *et al.*, 1988). Elle peut être accompagnée d'*O. nigra*, notamment sur les cailloutis du centre rade et sur le maërl (Guérin, comm. pers.).

Un faciès à Amphioxus (jusqu'à 60 individus / m²) est observé aux stations n° 10 et 32, à une profondeur d'environ cinquante mètres et proche d'un plateau rocheux. Celui-ci est tout à fait comparable au "faciès à *Branchiostoma lanceolatum* des graviers et graviers sableux" décrits au sein de la "communauté à *C. fasciata*" par Toulemont en baie de Douarnenez. Ce faciès s'accompagnerait d'une légère différence dans la composition du sédiment, qui ne serait pas colmaté par une fraction fine. Les courants, assez forts au niveau du fond, peuvent alors créer une circulation d'eau chargée en particules dans les graviers perméables. Les deux stations concernées présentent en effet un sédiment constitué principalement de petits cailloutis et de graviers, avec une proportion de sables grossiers approchant un quart, mais quasiment pas de sables moyens ou fins.

Un dernier faciès à *Goodallia triangularis* se différencie aux stations n° 32 et 70 (jusqu'à 80 / m²). La station n° 32 pourrait représenter un faciès de transition avec les sables dunaires, occupés par un peuplement dominé par *B. lanceolatum* et *G. triangularis*, accompagné d'espèces de sédiments grossiers, comme *C. fasciata*, *A. crassa*, *Echinocardium flavescens* et *G. glycymeris*.

Ce peuplement est donc constitué surtout de crustacés, de bivalves et d'ophiures représentant l'épifaune vagile des fonds durs de cailloutis. Il est totalement dominé par des suspensivores épigés.

IV-3-4-1-3- Les "graviers" au sens large (GL)

Le peuplement de graviers au sens large est surtout représenté par des bivalves de grande taille (*Glycymeris glycymeris*, *Clausinella fasciata*, *Arcopagia crassa*, *Aequipecten opercularis* et *Pecten maximus*) et par l'amphioxus *Branchiostoma lanceolatum*, qui présente des densités allant jusqu'à 68 individus / m² aux stations n° 9, 16, 34bis, 103 et 106, toutes situées sur les graviers propres. Ce peuplement est proche de celui des "graviers à *B. lanceolatum*-*C. fasciata*", ou "graviers à Amphioxus", décrit pour l'étage circalittoral côtier du plateau continental Nord Gascogne par Glémarec (1973), il est particulièrement bien diversifié en bivalves de grande taille. Il représente également un des aspects des "sédiments grossiers à *C. fasciata*" décrit par Cabioch, avec une épifaune réduite au profit des gros bivalves. Glémarec précise que la transition faunistique entre les graviers et les sables grossiers est imperceptible, même si chaque espèce montre une préférence pour l'un des substrats ; ces sédiments sont d'ailleurs souvent considérés comme un habitat unique dont les caractéristiques sont des situations intermédiaires entre ces deux extrémités. Ils appartiennent à la même série sédimentaire "résiduelle puis de charriage" (Chassé et Glémarec, 1976b). Ainsi, dans cet assemblage, la présence de *Gari tellinella*, *Branchiostoma lanceolatum* et *Arcopagia crassa* caractérise les graviers, tandis que *Laevicardium crassum*, *Spisula elliptica*, *Nucula hanleyi*, *Echinocardium flavescens* et les espèces de macrofaune *Echinocyamus pusillus* et *Tellina pygmaea* marquent plutôt l'aspect sables grossiers de cette communauté très largement représentée en Iroise.

Les cinq stations présentant de plus fortes densités de *B. lanceolatum* peuvent être considérées comme des zones du faciès à Amphioxus déjà rencontré dans le peuplement des cailloutis et sédiments hétérogènes.

Un faciès à *Ophiocomina nigra* (jusqu'à 128 / m²) est représenté aux stations n° 117 et 118, en baie de Camaret. En considérant les échantillons supplémentaires de mégafaune, il apparaît que les deux espèces sont le plus souvent présentes ensemble, avec une dominance

pour *O. fragilis* sauf dans les deux stations citées. Elles représentent donc bien un faciès différent de celui observé pour le peuplement des cailloutis hétérogènes.

Un autre faciès à *Pisidia longicornis* est différencié à la station n° 44, dans la sortie du goulet.

D'autre part, la présence de *Spatangus purpureus* marquerait un faciès comparable au "faciès de graviers sales" décrit par Glémarec (1973), tandis qu'*Abra prismatica*, *Goodallia triangularis* et *Glycymeris glycymeris* indiqueraient une connexion avec un faciès de sables moyens dunaires, liée à la fraction sableuse biogène de cet habitat qui compte parmi les plus hétérogènes (stations n° 58, 55 et 118). Ces sables biogènes sont constitués majoritairement par des sables moyens, comme l'atteste la présence des espèces *Moerella donacina*, *Nucula hanleyi*, *Laevicardium crassum* et *Pandora pinna* (Glémarec, 1969, 1973, 1978). La station n° 58 se situe effectivement en bordure d'un banc de sables grossiers, son peuplement marque la transition vers les sédiments fins ("sables à *A. prismatica*" décrit par Glémarec (1965) ; "faciès de transition vers les sables fins à *A. prismatica* et *Glycymeris glycymeris*" du "peuplement des sédiments grossiers à *C. fasciata*" décrit par Cabioch (1968) et "peuplement à *A. prismatica* des sables fins propres bien classés du circalittoral" décrit par Toulemont (1972).

Un autre faciès est identifiable à partir des sables biogènes : il s'agit de sables fins biogènes, riches en bivalves caractéristiques des sédiments fins comme *Dosinia lupinus*, *Chamelea gallina* et *Phaxas pellucidus*. Ce faciès est représenté dans les stations côtières des anses de Berthaume et de Camaret.

Ce peuplement de graviers et sédiments hétérogènes est principalement partagé entre des bivalves, des échinodermes et des crustacés, tous épigés. Le prochordé *B. lanceolatum* y occupe également une place importante en rapport avec le faciès de sables dunaires biogènes. Ce peuplement, comme les deux précédemment décrits, est dominé par les suspensivores.

IV-3-4-1-4- Les "sables" au sens large (SL)

Le peuplement de ces sables au sens large oscille entre deux grandes tendances : une majorité des sédiments est hétérogène et mal triée tandis que quelques stations sont sur de vrais sables fins très bien triés, souvent en zone côtière comme dans la baie de Douarnenez.

Le peuplement des sables les plus hétérogènes est représenté principalement par des espèces sabulicoles tolérantes et sabulicoles-gravellicoles, comme les petits bivalves (*Abra alba*, jusqu'à 144 / m² et *A. prismatica*), l'ophiure (*Amphiura brachiata*, jusqu'à 112 / m²) et l'oursin de sables *Echinocardium flavescens* (jusqu'à 52 / m²). Les espèces qui y sont rencontrées sont représentatives des "peuplements de sables grossiers du circalittoral côtier" décrit par Glémarec (1973), avec par exemple *Spisula elliptica*, *Nucula hanleyi*, *Echinocardium flavescens* et des espèces de la macrofaune *Echinocyamus pusillus* et *Tellina pygmaea*. Une partie des espèces de la mégafaune est d'affinité gravellicole et fait partie de l'épifaune, comme *Pecten maximus*, *Laevicardium crassum*, *Aequipecten opercularis*, *Gari tellinella* et *Antalis entalis*. Ces sables se rapprochent des "sables mal triés" de la Manche, avec un "peuplement à *Abra alba*" décrits par Cabioch (1968).

Un faciès de sables dunaires s'observe aussi grâce à la fraction de sables grossiers présents dans cet habitat. Les espèces caractérisant ce faciès sont *Glycymeris glycymeris*, *Goodalia triangularis*, *Branchiostoma lanceolatum*, *Spisula elliptica* et *Hyperoplus lanceolatus*, accompagnées de nombreuses espèces sabulicoles-gravellicoles comme *Echinocardium flavescens*, *Arcopagia crassa*, *Clausinella fasciata* et *Dosinia* exoleta.

Des lançons (*Hyperoplus lanceolatus*) ont été pêchés en abondance aux stations n° 13, 42 et 63, toutes situées sur des sables grossiers entre 10 et 45 mètres (stations n° 11, 13, 42, 63 et 112). Les sables grossiers, dans lesquels ils s'enfouissent pour chasser à l'affût, correspondent effectivement à leur habitat privilégié. Ce poisson indique donc un faciès de sables grossiers dunaires d'après les caractéristiques sédimentaires des stations.

Le faciès de sables fins est caractérisé par la présence de nombreuses espèces d'affinités sabulicole fine, ce peuplement se rapprochant alors du "peuplement à *A. prismatica* des sables fins propres bien classés" décrit par Toulemont (1972), avec *Echinocardium cordatum*, *Dosinia lupinus* et *Chamelea gallina*. Ils sont également proches des "sables fins de stabilisation", intermédiaires entre l'infralittoral et le circalittoral côtier, décrits dans l'ouest de la baie de Douarnenez par Guillou (1980).

Un autre faciès de sables fins est marqué par la présence d'espèces sabulicoles-vasicoles, qui caractérisent alors des sables fins légèrement envasés (*Amphiura filiformis*, *Ophiura ophiura*, *Fabulina fabula*, *Diplodonta rotundata*, *Lucinella divaricata*, et *Astropecten irregularis*). Ce faciès se rapproche des "sables fins stabilisés" décrits par (Guillou, 1980). Un faciès plus envasé à *Owenia fusiformis* apparaît également à la station n° 15 (64 individus / m²).

Ce peuplement global représente donc un mélange de différents faciès, représentant les transitions vers les sédiments grossiers d'une part ("faciès de transition à *G. glycymeris* et *A. prismatica*" du "peuplement des sédiments fins à *A. alba* et *Corbula gibba*" décrit par Cabioch, avec de plus fortes densités de *Goodallia triangularis* à la station n° 63 et d'*Abra prismatica* à la station n° 69) et vers les sédiments fins et fins envasés d'autre part, vers lesquels ils tendent naturellement. Le nombre d'espèces d'affinité vasicole représentées dans le peuplement des sables hétérogènes est élevé, mais ce n'est pas surprenant : en effet, Cabioch (1968) a montré que le passage d'une communauté de sables fins à des faciès plus ou moins envasés est un phénomène assez répandu, ce peuplement ne représentant en fait qu'un certain état de cette transition très générale. Dans le cas des fonds de la Manche décrits par Cabioch comme en Iroise, le sédiment n'est au plus que faiblement envasé alors qu'il héberge une faune où les espèces d'affinité vasicole sont largement représentées. Une explication simple à ce phénomène est que la turbidité des eaux, dans les mers à fortes marées, compense dans une certaine mesure le caractère faiblement envasé des sédiments (Pérès, 1967 ; Glémarec, 1965 ; Cabioch, 1968).

Un faciès à *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* est observé en station n° 49 : cette station représente un exemple du faciès à ophiures déjà observé dans les cailloutis et graviers hétérogènes, mais les deux espèces présentent ici des densités équivalentes.

Un nouveau faciès à *Pisidia longicornis* (jusqu'à 100 / m²) apparaît en station 45.

Un faciès de sables à zostères (*Zostera marina*) peut être isolé à la station n° 115, les petites espèces de sables fins suspensivores et déposivores y sont bien représentées (*Amphiura brachiata*, *Chamelea gallina*, *Fabulina fabula*, *Lucinella divaricata*), ainsi que les nécrophages (*Hinia reticulata*, *Pagurus bernhardus*).

Le peuplement est principalement constitué de bivalves, d'ophiures et de crustacés, épigés, ainsi que de quelques polychètes, errantes et sédentaires. Il comporte surtout des déposivores de surface et des suspensivores de taille modeste.

IV-3-4-1-5- Les sables fins envasés (FV)

Le peuplement des sables fins envasés est encore constitué d'un mélange d'espèces d'affinités sabulicole et/ou vasicole, selon l'état de transition entre les sédiments fins et les sédiments plus ou moins envasés. De nombreuses espèces sont représentées dans ce peuplement, notamment *Amphiura filiformis*, *Halcampa chrysanthellum*, *Bittium reticulatum*, *Mangelia rugulosa*, *M. coarctata*, *Sipunculus nudu*s, *Phascolion strombus*, *Angulus squalidus*, *Chamelea gallina*, *Phaxas pellucidus*, *Thyasira flexuosa*, *Harmothoë lunulata*, *Ampharete grubei*, *Pista cristata*, *Echinocardium cordatum* et *Eurydice affinis* (Cabioch, 1968 ; Glémarec, 1969).

Certaines espèces deviennent particulièrement denses dans quelques stations : *Amphiura brachiata* aux stations n° 95 et 96 (jusqu'à 100 individus / m²), *Halcampa chrysanthellum* (n° 93, 120 / m²) ou *Sipunculus nudus* (n° 95, 56 / m²). La présence de *Melinna palmata*, *Mysella bidentata*, *Nucula turgida*, *Euclymene oerstedii*, *Leptosynapta inhaerens* confirme l'envasement et rapproche ce peuplement du "faciès d'envasement à *Melinna palmata*" du "peuplement des sédiments fins à *Abra alba* et *Corbula gibba*" décrits sur les fonds de sables fins non calcaires de la Manche par Cabioch. Trois de leurs espèces *leaders* en Iroise ont été indentifiées par les analyses multivariées.

Le petit bivalve *Angulus tenuis*, qui semblait caractériser cette communauté, semble plutôt faire partie d'un faciès marqué par sa forte densité dans la station n° 95 (308 individus / m²).

Enfin, quelques espèces de la mégafaune font partie de l'épifaune vagile des fonds durs et grossiers, comme *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Laevicardium crassum*, *Buccinum undatum*, les ophiures, *Ophiocomina nigra* et *Ophiothrix fragilis*, des crabes, des paguridés, des oursins et des étoiles de mer. Leur présence est à mettre en relation avec la fraction grossière presque toujours associée aux sédiments de l'Iroise, même les plus fins comme ces sables fins envasés.

Ce peuplement se différencie des autres par sa composition taxonomique, riche en bivalves, en échinodermes, en cnidaires, en polychètes sédentaires et sipunculiens. Il est globalement dominé par des carnivores et des déposivores de petite taille.

IV-3-4-1-6- Les sédiments hétérogènes envasés (SHV)

Les fonds hétérogènes envasés forment naturellement la transition entre les sédiments fins envasés et les sédiments grossiers. Leur peuplement est caractérisé en Iroise par trois espèces : deux polychètes (*Owenia fusiformis* et *Sthenelais boa*) et une holothurie (*Labidoplax digitata*), dont les affinités respectivement sabulicole-mixticole-vasicole ou pour les sables hétérogènes faiblement envasés est signalée par Glémarec (1969). La présence des bivalves *Parvicardium exiguum* et *Corbula gibba*, peu abondants mais spécifiques de ce peuplement, le rapproche de celui des sables hétérogènes envasés décrit par Glémarec (1973). Les nombreuses espèces représentées dans ce peuplement, très dense, sont sabulicoles-vasicoles, mixticoles, tolérantes, ubiquistes ou préférantes des sables fins. Les espèces comme *Euclymene oerstedii*, *Notomastus latericeus*, *Mysella bidentata*, *Terebellides stroemi*, *Thyasira flexuosa*, *Amphiura filiformis* et *Phaxas pellucidus* rapprochent ce peuplement d'un faciès d'envasement du peuplement des sédiments fins de la Manche, par leur affinité pour les sables fins envasés ou même les vases (Cabioch, 1968).

Des espèces tolérantes ou préférant les sédiments légèrement envasés le complètent (*Neopentadactyla mixta*, *Halcampa chrysanthellum*, *Cerianthus lloydii*, *Ophiura albida*, *Amphiura brachiata* et *Aphrodita aculeata*).

La présence parmi la mégafaune de nombreuses espèces d'épifaune, vagiles ou même fixées, comme les gros bivalves *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chamelea gallina* et *Tellina serrata*, les ophiures *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*, les oursins *Echinus esculentus* et *Psammechinus granularis*, des isopodes, des paguridés, des crabes et des éponges, rappelle l'hétérogénéité des sédiments et la présence de cailloutis en surface.

Ce peuplement est très différencié des autres habitats hétérogènes, il est constitué essentiellement d'échinodermes (ophiures et holothuries), de polychètes errantes et sédentaires, ainsi que de petits bivalves. Sa structure trophique est partagée entre des déposivores et des suspensivores et sa densité est élevée par rapport aux autres peuplements rencontrés.

IV-3-4-2- Synthèse

La description des peuplements donnée à l'issue de cette partie est basée sur un échantillonnage à échelle globale tout à fait comparable aux méthodes utilisées par les principaux auteurs auxquels il est fait référence dans ces travaux : Cabioch pour les fonds de la Manche (Cabioch, 1968) au nord de notre zone, Toulemont pour les baies de Douarnenez et d'Audierne (Toulemont, 1972) et Glémarec pour le golfe de Gascogne (Glémarec, 1969, 1973), au sud de notre zone.

Les concepts de peuplements et de faciès utilisés dans ce travail sont assez larges, les faciès étant définis comme des subdivisions d'un peuplement à la fois quantitative et qualitative et principalement marquées par la dominance locale d'une ou de quelques espèces par rapport aux autres. Cette approche permet de faire ressortir la partie essentielle de chaque peuplement, commune à tous les faciès et conditionnée par l'environnement édaphique et écologique général.

Les peuplements des trois habitats les plus hétérogènes (CSH - GL - SH) présentent un nombre d'espèces communes important, ce qui explique qu'ils sont mal différenciés par les analyses multivariées. Certains de leurs faciès sont communs également, comme le faciès à ophiures avec *Ophiothrix fragilis* ou *Ophiocomina nigra* dominant selon les zones et le faciès à *Pisidia longicornis*. Ces trois espèces ont un taux métabolique nécessitant un apport conséquent de particules alimentaires et un renouvellement d'oxygène efficace (Ursin, 1960 cité dans Toulemont, 1972) ; elles sont capables de s'alimenter en captant des particules même quand le courant est fort (Hily *et al.*, 1988). Or, ces faciès sont tous situés dans le prolongement du goulet de Brest, où ces conditions sont remplies grâce la canalisation des courants chargés de matière organique dans cette zone de passage rétréci (S.A.U.M., 1980). Ce faciès à *Pisidia* semble être inédit dans les peuplements des côtes Manche/Atlantique françaises.

Un autre faciès commun est le faciès de transition vers les sables grossiers et sables dunaires à *Abra prismatica* et *Goodalia triangularis* qui apparaît avec des sables moyens ou grossiers parfois biogènes. Cette catégorie sédimentaire hydride a une signification géomorphologique, les dunes étant formées dans des zones de divergence de flux accompagnée de perte d'intensité du courant. Les sables dunaires constituent en général des bancs épais, très instables, peu peuplés (comme l'ont montré les descripteurs biologiques des sables grossiers) et à faune très spécialisée. Celle-ci peut être dominée par une espèce,

différente de dune en dune (Chassé et Glémarec, 1976b). Les deux stations de sables grossiers biogènes peuvent être assimilées à ce faciès, en raison du bon classement du sédiment et de la pauvreté de la faune associée. Ces sables moyens et grossiers s'accumulent sur des habitats de cailloutis et sédiments hétérogènes, de graviers et de sables au sens large.

L'épifaune des fonds durs et grossiers est particulièrement bien représentée sur toute la surface de l'Iroise : sa répartition dépasse largement les limites des fonds de cailloutis et de graviers. En effet, celle-ci est observée sur tous les types de fonds, associée à une couche superficielle de sédiments très grossiers. D'autre part, une épifaune sessile appauvrie est souvent observée sur les blocs, les coquilles ou toute structure offrant une surface disponible en tant que support. Finalement, la structure des peuplements de la mer d'Iroise est organisée en trois couches superposées avec, de la surface au sédiment, une épifaune sessile fixée sur des structures dures, une épifaune vagile pouvant elle-même servir de support à l'épifaune sessile et une endofaune. Ainsi, la richesse relative des deux dernières couches est déjà un indicateur de la nature granulométrique et de l'hétérogénéité du sédiment. Cette structure en couches est la marque des sédiments hétérogènes, les plus couramment rencontrés en Iroise et déjà observés en Manche et en baie de Douarnenez par Cabioch (1968) et Toulemont (1972).

Une faune de sédiments envasés se différencie très nettement dans les quelques zones de l'Iroise où le dépôt et l'accumulation de particules fines est possible (Pierres Noires, centre-nord de la baie de Douarnenez, anse de Camaret). Celle-ci est marquée par l'apparition d'espèces inféodées aux fonds montrant un taux de pélites représentant au moins quelques pour cent.

Comme l'avait remarqué Cabioch pour les peuplements de la Manche, le nombre des espèces caractéristiques des peuplements est souvent relativement faible par rapport à celui des espèces accessoires (Cabioch, 1968) : ce n'est pas surprenant dans une mer où les courants de marée offrent aux larves des possibilités de dispersion exceptionnelles.

D'autre part, la domination des réseaux trophiques par les suspensivores dans l'ensemble de la mer d'Iroise, indiquée par ces données de mégafaune, indique que ses eaux sont suffisamment bien alimentées en particules fines pour satisfaire aux besoins alimentaires de ces filtreurs, dont le rôle et la place dans les chaînes alimentaires apparaissent comme primordiaux. Cette caractéristique est aussi une marque de mer à fort hydrodynamisme qui, en Iroise, est dû aux houles et surtout aux courants de marée.

D'après Cabioch, (1968), le caractère permanent et régulier de ces courants de marée qui déterminent en grande partie la structure et la distribution des différents peuplements, ainsi que leur prédominance sur les autres déplacements d'eau, assureraient aux peuplements de la zone Manche-Atlantique une remarquable stabilité par rapport aux mers à marées faibles ou nulles, comme la Méditerranée, où des bouleversements catastrophiques des fonds, causés par les courants temporaires résultant d'actions météorologiques, sont des remaniements d'observation courante.

IV-4- VARIABILITÉ DES PEUPLEMENTS À ÉCHELLE FINE

Après cette approche des peuplements à l'échelle globale de la mer d'Iroise, nous nous sommes intéressés à ceux de quatre zones de surface réduite, afin d'évaluer l'étendue de leur variabilité saisonnière et spatiale. Les zones analysées sont celles dont la couverture sédimentaire avait été précisée grâce à un échantillonnage serré à la benne Smith-Mc Intyre (première partie, § II-3-3).

Une analyse faunistique des bennes Smith a été réalisée sur six des stations des Blancs Sablons et huit de Morgat pour juin 1999, ainsi que pour les huit stations de Camaret et onze des Pierres Noires en novembre 1999 et en avril 2000. Trois réplicats sont effectués sur chaque station, avec une précision maximum de quelques mètres correspondant au type d'engin et à l'équipement GPS du navire océanographique. L'analyse de la faune est étendue à la macrofaune, pour rester cohérente avec la surface échantillonnée, soit 0,1 m² de sédiment ; les échantillons sont donc tamisés sur une maille carrée de 1 mm.

Ces données à échelle fine complètent très largement celles obtenues avec les bennes Hamon et permettent d'avoir une idée de la variabilité de l'abondance et des richesses taxonomiques moyenne et totale de la faune entre 1999 et 2000 pour les sites de Camaret et des Pierres Noires.

IV-4-1- Variabilité spatiale de la macrofaune

IV-4-1-1- Densité et richesse taxonomique

Blancs Sablons

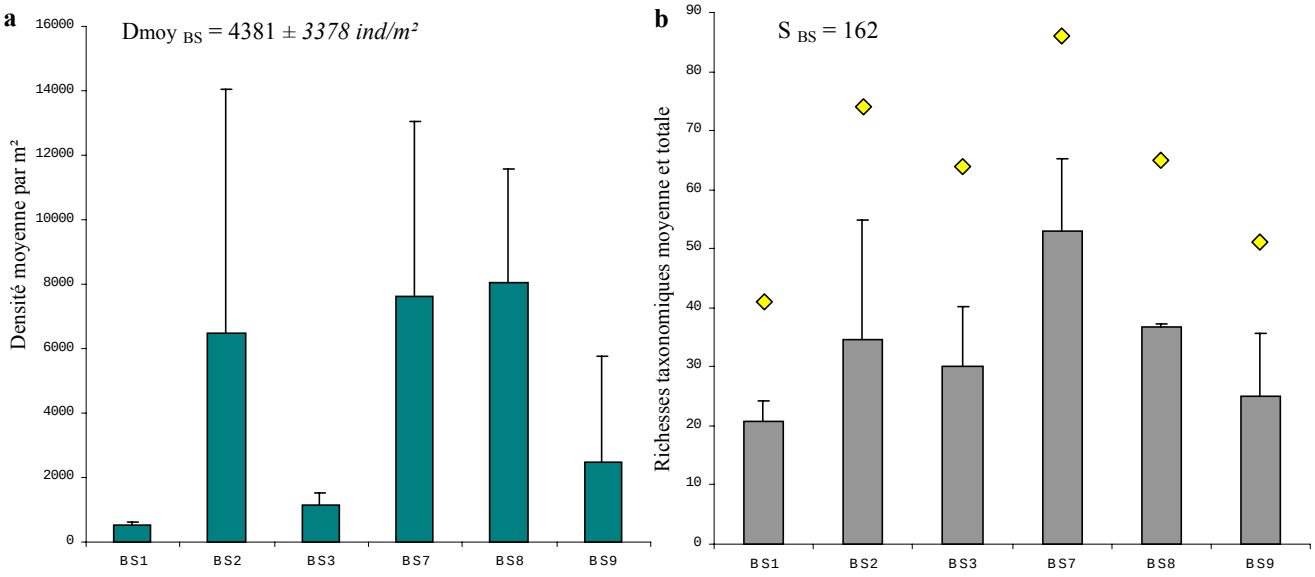


Figure IV-14 : Densité moyenne (individus par mètre carré) (a), richesse taxonomique totale (points jaunes) et richesse moyenne par benne Smith (b) pour la macrofaune dans les stations des Blancs Sablons, en juin 1999. Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

Les densités d'individus sont très hétérogènes entre les stations des Blancs Sablons, allant de moins de 530 (BS1) jusqu'à plus de 8 000 individus / m² (BS7 et BS8). Les écarts types associés sont tout aussi variables, les plus faibles étant observés en BS1 et BS3 et le plus fort en BS2 (figure IV-14a). Les richesses taxonomiques observées représentent de 41 en BS1à 74 à 86 taxons en BS2 et BS7 (figure IV-14b) ; la richesse totale de la zone atteignait 162 taxons en juin 1999 pour six stations (18 bennes).

La richesse taxonomique moyenne par benne, associée à un écart type, renseigne sur l'hétérogénéité de la distribution des taxons au sein d'une station. Les valeurs de ce paramètre suivent la même hiérarchie, avec des écarts types variables. La station BS1 apparaît donc

comme ayant la faune la moins diversifiée et la moins dense, ces critères étant homogènes entre les réplicats. Les stations BS3 et BS9 présentent une faune également peu dense, mais elle est beaucoup plus riche, notamment en BS3 où la valeur de la richesse taxonomique est comparable à celle observée en BS8, station où la faune est la plus dense.

Morgat

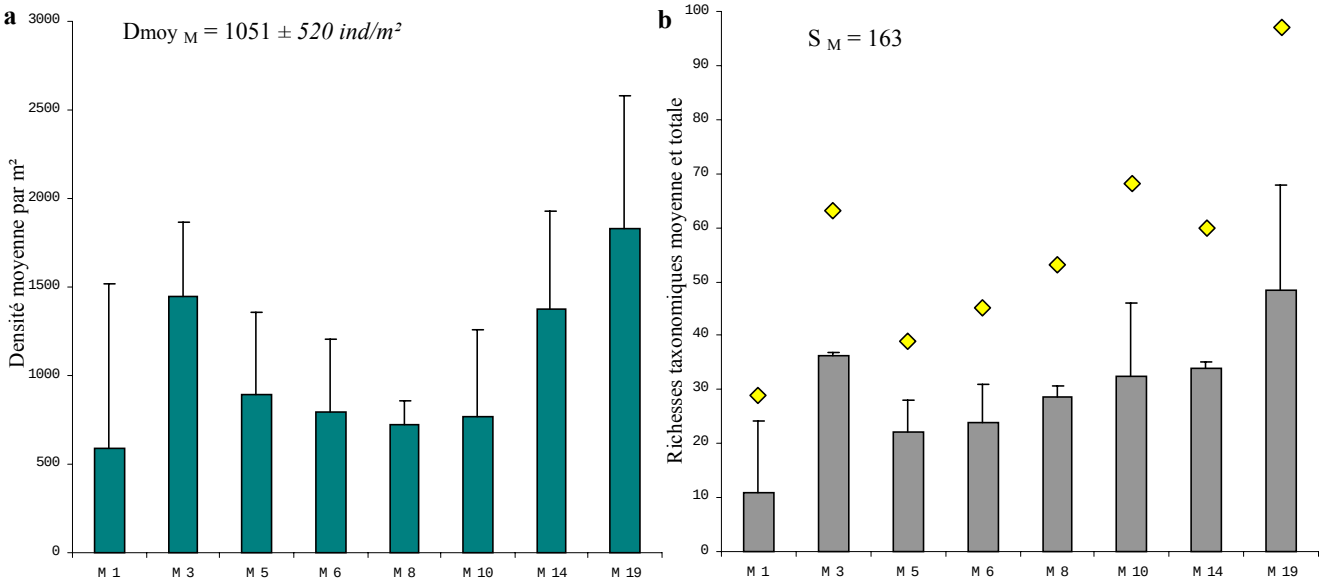


Figure IV-15 : Densité moyenne (individus par mètre carré) (a), richesse taxonomique totale (points jaunes) et richesse moyenne par benne Smith (b) pour la macrofaune dans les stations de Morgat, en juin 1999. Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

À Morgat, la variabilité des densités d'animaux est modérée, avec des valeurs comprises entre 590 individus / m² en M1 et 1 830 en M19 (figure IV-15a). La station la moins peuplée est aussi celle où ce paramètre est le plus hétérogène étant donné le fort écart type associé. Les deux mesures de richesse taxonomique suivent la même hiérarchie entre les stations, allant de 29 taxons en M1 à 97 en M19 (figure IV-15b) ; la richesse totale évaluée s'élève à 163 taxons pour la zone en juin 1999 pour 8 stations (24 bennes).

Les stations M3 et M19 montrent donc les faunes les plus denses et les plus diversifiées.

Pierres Noires

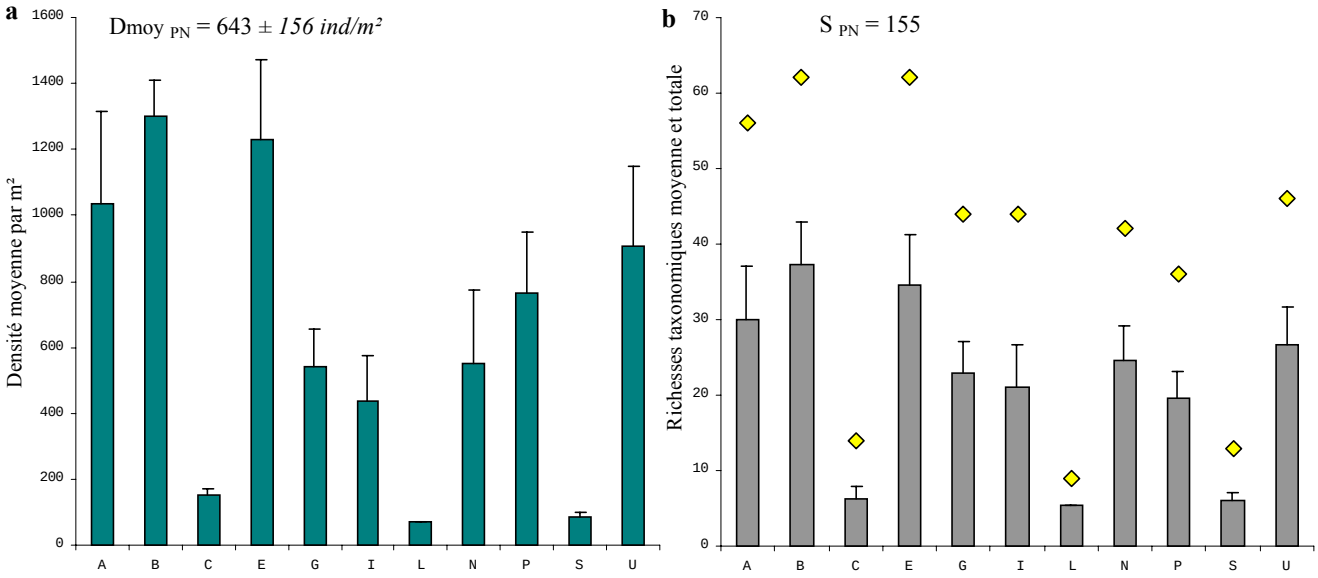


Figure IV-16 : Densité moyenne (individus par mètre carré) (a), richesse taxonomique totale (points jaunes) et richesse moyenne par benne Smith (b) pour la macrofaune dans les stations des Pierres Noires, en novembre 1999. Les écarts types sont représentés par les barres verticales, sauf en L (2 réplicats seulement).

Aux Pierres Noires, la gamme des densités moyennes de macrofaune varie de moins de 200 individus / m² (stations C, L et S) à plus de 1 200 (stations B et E, figure IV-16a). Les richesses taxonomiques totales par station vont de 9 à 62 taxons, la richesse totale du site étant évaluée à 155 taxons pour novembre 1999 pour 11 stations (32 bennes) (figure IV-16b). La hiérarchie des stations est sensiblement la même pour ces deux descripteurs biologiques, avec trois groupes de stations : B, E, A et U, avec de fortes valeurs, C, S et L avec des valeurs faibles, et P, N, G et I, en position intermédiaire. Les stations les plus à l'est présentent donc des valeurs de ces paramètres nettement moins élevées que les autres (figure II-3 p. 32).

L'ordre des stations est légèrement différent d'après la richesse taxonomique moyenne par benne, mais les stations C, L et S restent celles qui présentent les valeurs les plus faibles et B, E et A les valeurs les plus fortes.

La richesse taxonomique moyenne par benne et les densités moyennes sont stables dans toute la zone, puisque les écarts types sont du même ordre de grandeur.

Camaret

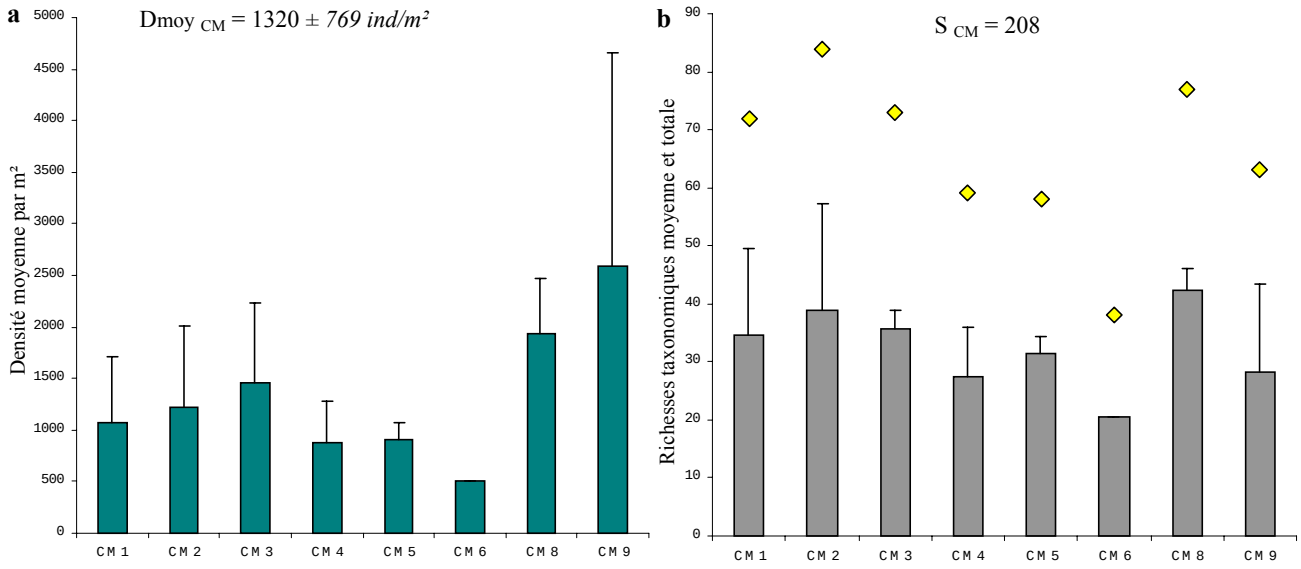


Figure IV-17 : Densité moyenne (individus par mètre carré) (a), richesse taxonomique totale (points jaunes) et richesse moyenne par benne Smith (b) pour la macrofaune dans les stations de Camaret, en novembre 1999. Les écarts types sont représentés par les barres verticales, sauf en BS6 (2 réplicats seulement).

Les valeurs des densités s'étirent entre 510 à 2 590 individus / m² à Camaret : la station CM6, la plus au nord, est la moins densément peuplée tandis que les stations CM8 et CM9, à l'ouest, ont les faunes les plus denses (figure IV-17a et II-3 p. 32). La hiérarchie des stations est légèrement différente d'après les richesses taxonomiques (figure IV-17b) : les stations CM1, CM3 et CM8 abritent plus de 70 taxons, et jusqu'à 84 en CM2, pour une diversité taxonomique totale s'élevant à 208 taxons sur l'ensemble de la zone en novembre 1999 pour 8 stations (23 bennes).

Les richesses taxonomiques moyennes par benne Smith sont particulièrement hétérogènes aux stations CM2 et CM9. La station CM9, avec un écart type également très fort sur les densités, apparaît comme la plus hétérogène.

IV-4-1-2- Dominance d'espèces

Le moyen le plus simple pour visualiser les taxons les mieux représentés dans un assemblage d'espèces est de calculer le pourcentage représenté par leur densité par rapport à la densité totale du peuplement de la station (tableau IV-8a à d).

Les espèces dominantes sont différentes dans chaque station des Blancs Sablons. Le peuplement de BS1 est dominé par trois espèces d'endofaune dont l'une est caractéristique des sables fins (*Fabulina fabula*). Celui de BS3 est dominé par le petit bivalve *Goodallia triangularis*, qui peut indiquer une transition vers les sables dunaires plus mobiles. BS7 a un peuplement dominant d'épifaune de cailloutis et graviers, avec *Ophiothrix fragilis* et *Pisidia longicornis*. D'autre part, les amphipodes sont particulièrement bien représentés parmi les espèces dominantes dans les autres stations.

La situation est très différente à Morgat, où des groupes de stations peuvent être rapprochés par les espèces dominant leur peuplement. Ainsi, les six stations M1, M3, M6, M8, M14 et M5 sont caractérisées par *Halcampa chrysanthellum* et *Paraonis fulgens*, avec en plus un bivalve, *Moerella pygmaea* en M8 et M14 et *Fabulina fabula* en M5. Ces stations sont situées sur des sables fins. La station M19 est caractérisée par une espèce d'épifaune, *Leptochiton cancellatus* et une d'endofaune vagile, *Lumbrineris sp.* Le peuplement de M10 est marqué par deux espèces de cailloutis et graviers (*O. fragilis* et *Ophiocomina nigra*) ainsi que par le polychète *Owenia fusiformis*, préférant des sables fins envasés. Les valeurs de dominance sont moins élevées dans ces deux dernières stations.

Aux Pierres Noires comme aux Blancs Sablons, les stations se partagent un grand nombre d'espèces dominantes, avec des dominances dépassant tout juste 35 %. Les polychètes et les amphipodes sont très bien représentés, ainsi que trois échinodermes (*Echinocardium cordatum*, *O. fragilis* et *Amphiura filiformis*) et un bivalve (*Abra prismatica*), qui indique en S un faciès de sables dunaires. Les peuplements des stations du sud-ouest, E, P, N et U, se rapprochent par la présence du même polychète dominant, du genre *Lumbrineris*, accompagné par quatre espèces d'*Ampelisca* et par *A. filiformis* en E et P.

Huit taxons seulement sont dominants dans la zone de Camaret et les pourcentages de dominance sont souvent peu élevés, sauf dans les stations CM9 et CM4, dont les peuplements sont dominés respectivement par le groupe des némertes (la plus forte dominance observée avec plus de 53 %) et par *Pomatoceros triqueter*, ce qui indique la présence de particules grossières comme des cailloutis ou des coquilles en surface du sédiment vaseux de cette

station. Les deux stations CM2 et CM3 sont dominés par les deux polychètes *Capitella capitata* et *Lumbrineris sp.*, ce qui indique une charge importante en matière organique dans les sédiments. La station CM6 est également dominée par *Capitella capitata*, accompagné par *Pisidia longicornis*. Ce petit crustacé est également très présent en CM1, accompagné d'un autre polychète, *Nematonereis unicornis*. En CM8, le groupe des nématodes domine le peuplement avec *Lumbrineris sp.* tandis qu'en CM5, les némertes et des *Glycera sp.* se partagent la dominance. Les espèces dominantes appartiennent donc à l'endofaune et à l'épifaune vagile.

Tableau IV-8 : Dominance des principaux taxons, en pourcentages de la densité totale, dans les stations des Blancs Sablons (a), de Morgat (b), des Pierres Noires (c) et de Camaret (d). CTX = code taxonomique, CT = code trophique.

a : Blancs Sablons

CTX	Genre	Espèce	CT	BS1	BS2	BS7	BS9	BS8	BS3
ECOPH	*Ophiothrix*	*fragilis*	6		11,44	10,08			
PERR	Syllidae	ind	2				12,72	11,75	
MGAS	*Caecum*	*imperforatum*	9				15,70		
MBIV	*Fabulina*	*fabula*	6	10,13					
MBIV	*Goodallia*	*triangularis*	6						30,00
CRAM	*Hippomedon*	*denticulatus*	7					14,90	
CRAM	*Maera*	*othonis*	5	12,03					
CRAM	*Orchomene*	*humilis*	3		19,54				
CRDEC	*Pisidia*	*longicornis*	6			28,70			
PSED	Sabellariidae	ind	6	13,29					
CRAM	*Socarnes*	*erythrophthalmus*	3		21,79				
PERR	*Staurocephalus*	*sp*	2				9,07		
CRAM	*Urothoe*	*pulchella*	6				10,42		

b : Morgat

CTX	Genre	Espèce	CT	M1	M3	M6	M8	M14	M5	M19	M10
AN	*Halcampa*	*chrysanthellum*	2	18,18	18,94	28,15	19,82	10,41	11,99		
PSED	*Paraonis*	*fulgens*	7	50,57	25,64	12,18	9,68	35,59	34,46		
MBIV	*Moerella*	*pygmaea*	6				10,14	8,23			
MBIV	*Fabulina*	*fabula*	6						11,99		
MCH	*Leptochiton*	*cancellatus*	9							10,04	
PERR	*Lumbrineris*	*sp*	8							10,40	
ECOPH	*Ophiocomina*	*nigra*	6								8,23
ECOPH	*Ophiothrix*	*fragilis*	6								8,66
PSED	*Owenia*	*fusiformis*	7								7,79

c : Pierres Noires

CTX	Genre	Espèce	CT	B	A	G	I	L	S	C	E	P	N	U
PERR	*Lumbrineris*	*sp*	8								13,55	16,16	13,33	16,18
ECOPH	*Amphiura*	*filiformis*	6			11,04					14,09	23,14		
CRAM	*Ampelisca*	*toulemonti*	6	23,33	20,65						10,30			
CRAM	*Ampelisca*	*typica*	6									11,79		20,59
CRAM	*Ampelisca*	*brevicornis*	6									13,54		
CRAM	*Ampelisca*	*sarsi*	6										19,39	
PSED	*Chaetozone*	*setosa*	7		19,35		14,50							
PERR	*Nephtys*	*cirrosa*	2					35,71	19,23					
PSED	*Scoloplos*	*armiger*	8	9,74		13,50								
MBIV	*Abra*	*prismatica*	7						15,38					
ECOUR	*Echinocardium*	*cordatum*	8							30,78				
CRAM	*Hippomedon*	*denticulatus*	7						15,38					
PERR	*Nephtys*	*caeca*	2							30,43				
CRAM	*Urothoe*	*pulchella*	6			9,20								
ECOPH	*Ophiothrix*	*fragilis*	6				9,16							
PSED	*Notomastus*	*latericeus*	8					14,29						

d : Camaret

CTX	Genre	Espèce	CT	CM2	CM3	CM6	CM8	CM1	CM5	CM9	CM4
PSED	*Capitella*	*capitata*	8	11,81	9,57	7,84					
PERR	*Lumbrineris*	*sp*	8	10,99	7,97		9,15				
NEMT	Nemertea	ind	8						8,76	51,55	
CRDEC	*Pisidia*	*longicornis*	6			7,84		11,21			
PERR	*Glycera*	*sp*	2						8,39		
NEMD	Nematoda	ind	8				9,67				
PERR	*Nematonereis*	*unicornis*	2					10,90			
PSED	*Pomatoceros*	*triqueter*	6								43,51

IV-4-1-3- Composition taxotrophique

La répartition des espèces entre les groupes trophiques met en évidence, pour chaque station, des groupes dominants dont il est intéressant de détailler la composition taxonomique. Cette analyse se fait en termes de densités d'individus et de richesse taxonomique, afin de prendre en compte les espèces plus rarement représentées ou au contraire celles qui sont présentes en groupe.

Blancs Sablons

Les groupes trophiques dominants en abondances et richesses taxonomiques aux Blancs Sablons sont les suspensivores et les prédateurs, avec quelques originalités selon les stations, puisqu' aucune ne présente la même structure (figure IV-18-1a). Ainsi, les déposivores sélectifs sont en deuxième position en BS1 et BS8, tout comme les détritivores en BS7 et les nécrophages dominent en BS2. Toutefois, le groupe des suspensivores fait partie des dominants dans tous les cas.

Certains groupes dominent en densités tout en n'étant représentés que par un petit nombre d'espèces, comme les nécrophages en BS2 (deux espèces d'amphipodes, *Orchomene humilis* et *Socarnes erythrophthalmus*), les détritivores en BS7 (*Abludomelita gladiosa*, *Ceradoccus semiserratus* et *Apseudes latreilli*) et les déposivores de surface en BS8 (principalement *Hippomedon denticulatus*). Le phénomène inverse est aussi observé, avec des groupes peu représentés en densités mais très diversifiés : c'est le cas des prédateurs en BS2 et BS7 et des microbrouteurs en BS2 (figure IV-18-1b).

La dominance taxonomique se partage entre les crustacés, les polychètes, les bivalves, les échinodermes et les gastéropodes (figure IV-19-1). Les échinodermes représentent une forte densité en BS2, avec deux espèces principales : *O. fragilis* et *O. nigra*. Les mollusques y sont au contraire très diversifiés mais peu densément représentés. C'est aussi le cas des bivalves et des polychètes en BS7 et des crustacés et des bivalves en BS9. Les polychètes, bien représentés en BS3, le sont surtout par la famille des Syllidae. Les crustacés sont principalement des amphipodes et *Pisidia longicornis*, super dominant en BS7.

Morgat

La structure trophique des stations de Morgat, en termes d'abondances et de richesses taxonomiques est nettement dominée par les déposivores sélectifs et les prédateurs dans toutes

les stations, avec en plus des densités importantes de suspensivores en M5, M8 et M10 et de déposivores non sélectifs en M19 (figure IV-18-2a).

Ces mêmes groupes trophiques dominent également par leur diversité taxonomique, sauf les suspensivores de M8 et M10, représentés par un petit nombre d'espèces (principalement deux bivalves, *Fabulina fabula* et *Moerella pygmaea* en M8 et deux ophiures, *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* en M10 (figure IV-18-2b).

La structure taxonomique est nettement dominée par les polychètes, en termes de densité comme en diversité taxonomique (figure IV-19-2). Les bivalves et quelques échinodermes et crustacés sont également bien représentés dans certaines stations. Les crustacés, en M1 et M19, ainsi que les bivalves en M1, sont très diversifiés bien qu'ils ne dominent pas en densités. Au contraire, les bivalves sont très bien représentés en M3, principalement par quatre espèces : *Fabulina fabula*, *Thracia phaseolina*, *Moerella pygmaea* et *Lucinella divaricata*. En M10, les échinodermes sont peu diversifiés malgré une forte densité (surtout *O. fragilis* et *O. nigra*). Les plus fortes densités de polychètes sont surtout représentées par le groupe des sédentaires.

Les cnidaires occupent une place particulière à Morgat, où ils représentent des densités élevées en M1, M3, M5, M6, M8 et M14 alors qu'ils ne sont représentés que par une seule espèce : *Halcampa chrysanthellum*, présente par ailleurs dans toutes les stations de Morgat.

Pierres Noires

Aux Pierres Noires, trois groupes se partagent la dominance trophique selon les stations : les déposivores sélectifs, les suspensivores et les prédateurs (au moins en termes de diversité taxonomique). Les déposivores non sélectifs sont également bien représentés à la station C (figure IV-18-3a).

Dans toutes les stations, les prédateurs sont très diversifiés même quand ils ne représentent que des densités relativement peu élevées ; c'est également le cas pour les déposivores sélectifs (figure IV-18-3b). Au contraire, les suspensivores, dominants aux stations E, N et P, sont représentés par un nombre limité d'espèces, tout comme les déposivores non sélectifs en C et U : ces espèces sont principalement *Amphiura filiformis* et *Ampelisca toulemonti* en E, *Ampelisca sarsi* en N, *Ampelisca brevicornis* et *A. filiformis* en P, *Echinocardium cordatum* en C et *Lumbrineris sp* en U. Les carnivores dominants en C, L et S sont deux polychètes errantes du même genre, *Nephtys caeca* en C et *N. cirrosa* en L et S.

La structure taxonomique en abondances et richesses taxonomiques est dominée surtout par des polychètes et des crustacés, sauf en C où les échinodermes (*Echinocardium*

cordatum) sont les mieux représentés avec les polychètes (figure IV-19-3). Les polychètes sont partout bien diversifiés, sauf en C, où trois espèces seulement les représentent (dominés par *Nephtys caeca*). Les échinodermes y sont également représentés par deux espèces seulement : *E. cordatum* et *Ophiura albida*. En P, ce sont *O. albida* et *O. filiformis* qui représentent ce groupe dominant. Les crustacés, dans toutes les stations, ont une diversité relativement faible par rapport aux densités qu'ils représentent : ainsi, les espèces les plus rencontrées sont *Ampelisca toulemonti* en A, B, et E ; *A. brevicornis*, *A. toulemonti* et *Urothoe pulchella* en G, *Iphinoë trispinosa* et *Atylus swammerdami* en I, *A. sarsi* en N, *A. brevicornis* et *A. typica* en P, *Hippomedon denticulatus* en S et *A. typica* en U. Ce sont donc presque exclusivement des amphipodes.

Camaret

La zone de Camaret est nettement dominée par les prédateurs, en densités comme en diversité taxonomique, sauf la station CM4 où ce groupe est les suspensivores sont mieux représentés, bien que les prédateurs présentent la plus forte diversité taxonomique. Les autres groupes bien représentés sont les suspensivores et tous les déposivores (figure IV-18-4a).

Les suspensivores sont bien diversifiés dans toutes les stations, mais leurs densités restent faibles sauf en CM1, CM6 et surtout CM4. Au contraire, les déposivores non sélectifs, très denses en CM2, CM3, CM5, CM8 et surtout CM9 ne sont représentés que par un faible nombre d'espèces : ce sont principalement les polychètes sédentaires *Capitella capitata* et *Lumbrineris sp* en CM2, CM3, avec en plus des némertes en CM5, des nématodes en CM8 et des némertes et *Notomastus latericeus* en CM9 (figure IV-18-4b).

La structure taxonomique est dominée en densités par des polychètes, sauf en CM9 où les némertes dominent largement (figure IV-19-4). La structure taxonomique est assez homogène sur toute la zone de Camaret en termes de diversité : les polychètes sont les plus diversifiés, puis les crustacés (*Pisidia longicornis* et quelques amphipodes) et les mollusques. La station CM4 présente de plus fortes densités de suspensivores, représentés en grande partie par des polychètes serpulidés (*Pomatoceros triqueter*) : la structure taxonomique de son peuplement reste donc proche de celle des autres stations.

Ce sont les stations de cette zone qui présentent les plus fortes dominances pour un groupe taxonomique.

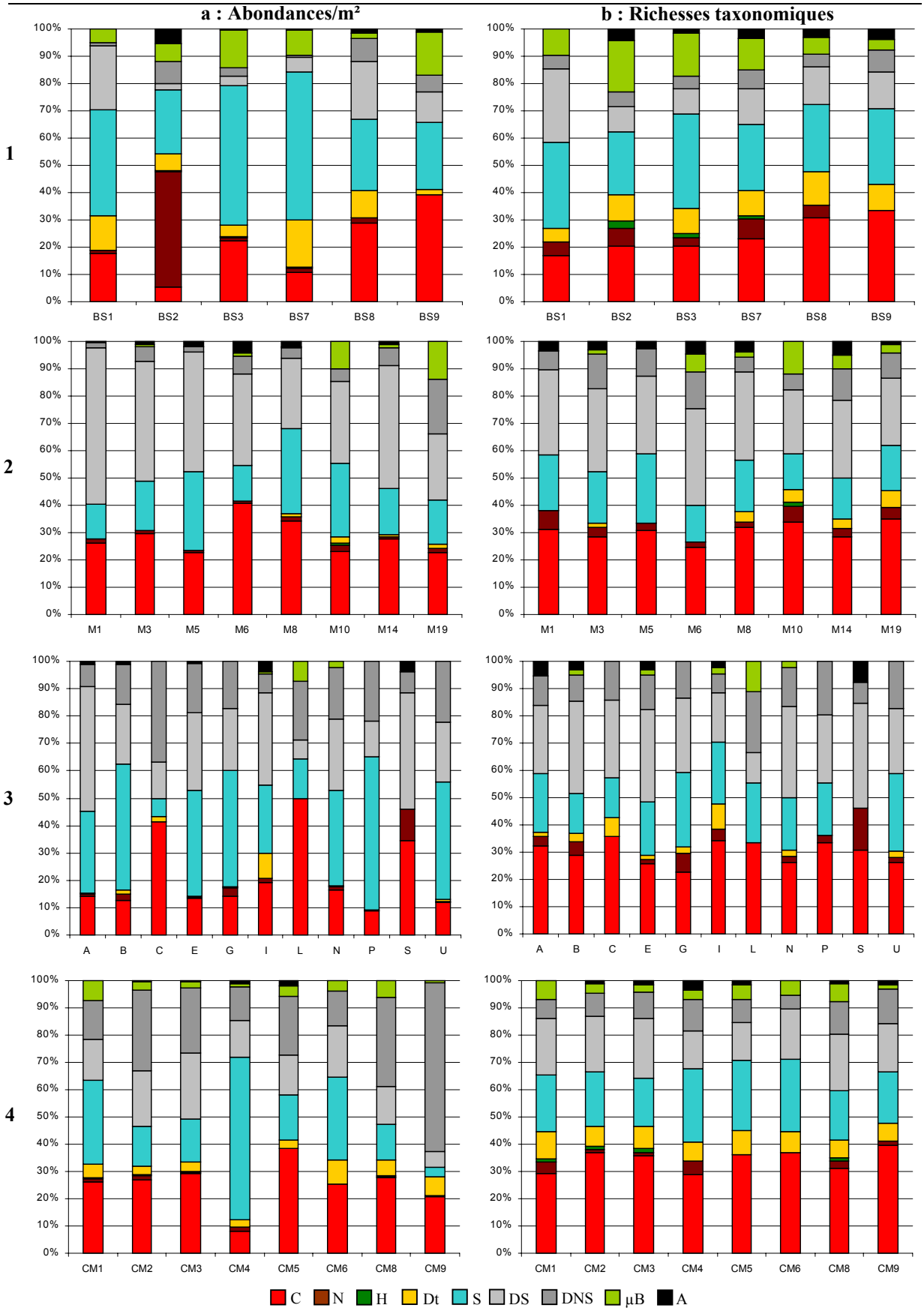


Figure IV-18 : Pourcentages des groupes trophiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations des Blancs Sablons (1), de Morgat (2), des Pierres Noires (3) et de Camaret (4). C = prédateurs ; N = nécrophages ; H = herbivores ; Dt = détritivores ; S = suspensivores ; DS = déposivores sélectifs ; DNS = déposivores non sélectifs ; µB = microbrouteurs ; A = autres.

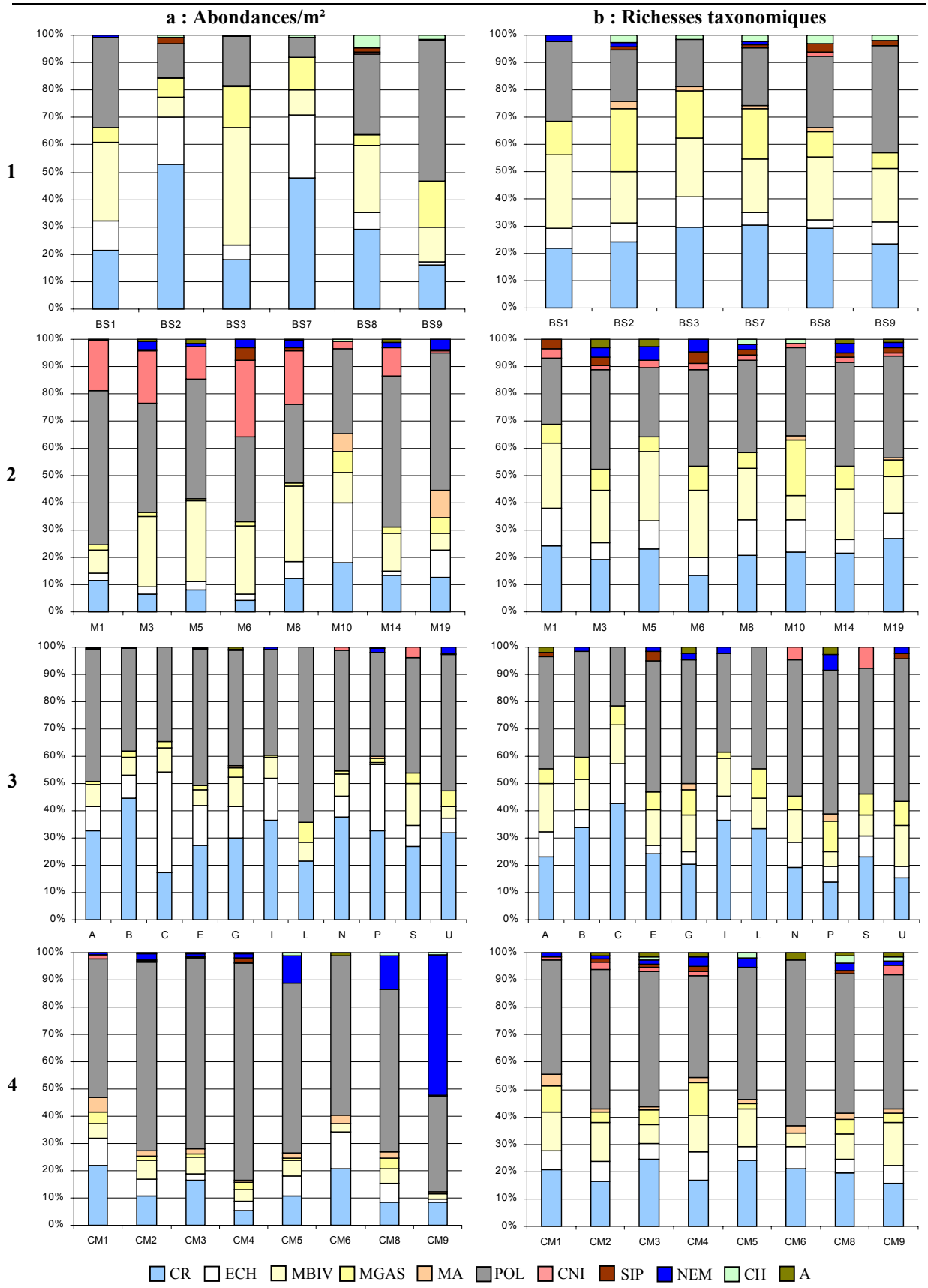


Figure IV-19 : Pourcentages des groupes taxonomiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations des Blancs Sablons (1), de Morgat (2), des Pierres Noires (3) et de Camaret (4).; CR = crustacés ; ECH = échinodermes ; MBIV = mollusques bivalves ; MGAS = mollusques gastéropodes ; MA = mollusques autres ; POL = polychètes ; CNI = cnidaires ; SIP = sipunculiens ; NEM = némertes et nématodes ; CH = chordés et amphioxus A = autres (plathelminthes, phoronidiens, ascidies et foraminifères).

IV-4-2- Indices de variabilité saisonnière de la macrofaune de Camaret et des Pierres Noires

Une deuxième analyse de la faune a été effectuée à quelques mois d'intervalle, dans deux des zones échantillonnées à échelle fine, présentant des caractéristiques contrastées. La zone des Pierres Noires est une grande étendue homogène de sables très fins très bien triés, envasés dans la partie sud-ouest, tandis que l'anse de Camaret est caractérisée par une très grande hétérogénéité sédimentaire avec tous les types de graviers, du maërl envasé, des sables grossiers ainsi qu'une zone de sables fins très envasés et de vases sableuses dans la partie sud de l'anse (première partie, § II-3-3-4).

La comparaison des peuplements de macrofaune échantillonnés en novembre 1999 et en avril 2000 révèle des variations intervenant dans ces deux milieux très différents, l'un éloigné de la côte, subissant la variation des conditions du milieu dues aux changements de saisons et l'autre subissant en plus les impacts anthropiques des activités humaines toutes proches et notamment celui d'un élevage de truites de mer.

IV-4-2-1- Densité et richesses taxonomiques

Pierres Noires

Les densités moyennes de la faune sont globalement supérieures en avril 2000 dans les stations des Pierres Noires, sauf pour les stations B, C, I et N (figure IV-20a). Les différences maximales entre les valeurs des deux saisons sont observées en E et P, avec des augmentations de 195 à 268 % ; à l'inverse, les évolutions de densités en B, I et N représentent des diminutions de 62 à 75 %. Ces différences sont le plus souvent significatives car les écarts types sont beaucoup plus réduits. La gamme de densités moyenne par mètre carré varie ainsi entre 70 et 1 300 individus en novembre 1999 et 96 à 2 400 en avril 2000. Les stations C, L et S font toujours partie des moins densément peuplées. Celles abritant les peuplements les plus denses sont A, E et U aux deux saisons tandis que G se trouve toujours en situation intermédiaire. Finalement, quatre stations changent de catégorie de densité : B passe du peuplement le plus dense de la zone à un peuplement de densité intermédiaire, N et I

passent d'une situation intermédiaire à une densité faible au contraire de P qui passe à une des plus fortes densités.

Camaret

L'évolution des densités est également différente selon les stations de Camaret (figure IV-20b) : CM1, CM2, CM4, CM5 et CM6 ont un peuplement plus dense en avril 2000 (augmentations de 200 à 311 % en CM5 et CM6), tandis que l'inverse se produit en CM3, CM8 et CM9 (diminutions de 46 à 52 %). Les stations CM8 et CM9, qui avaient une faune particulièrement dense en novembre 1999, de même que CM6, où la faune était la moins dense, présentent en avril 2000 des valeurs de ce paramètre du même ordre que dans les autres stations. L'hétérogénéité entre les réplicats est plus faible aux stations CM3, CM4 et CM9, cette dernière s'avérait particulièrement hétérogène en novembre. Globalement, l'hétérogénéité se réduit entre les stations, si bien que la gamme des densités ne s'étend plus que de 700 à 1 963 individus par mètre carré en avril contre 510 à 2 586 en novembre.

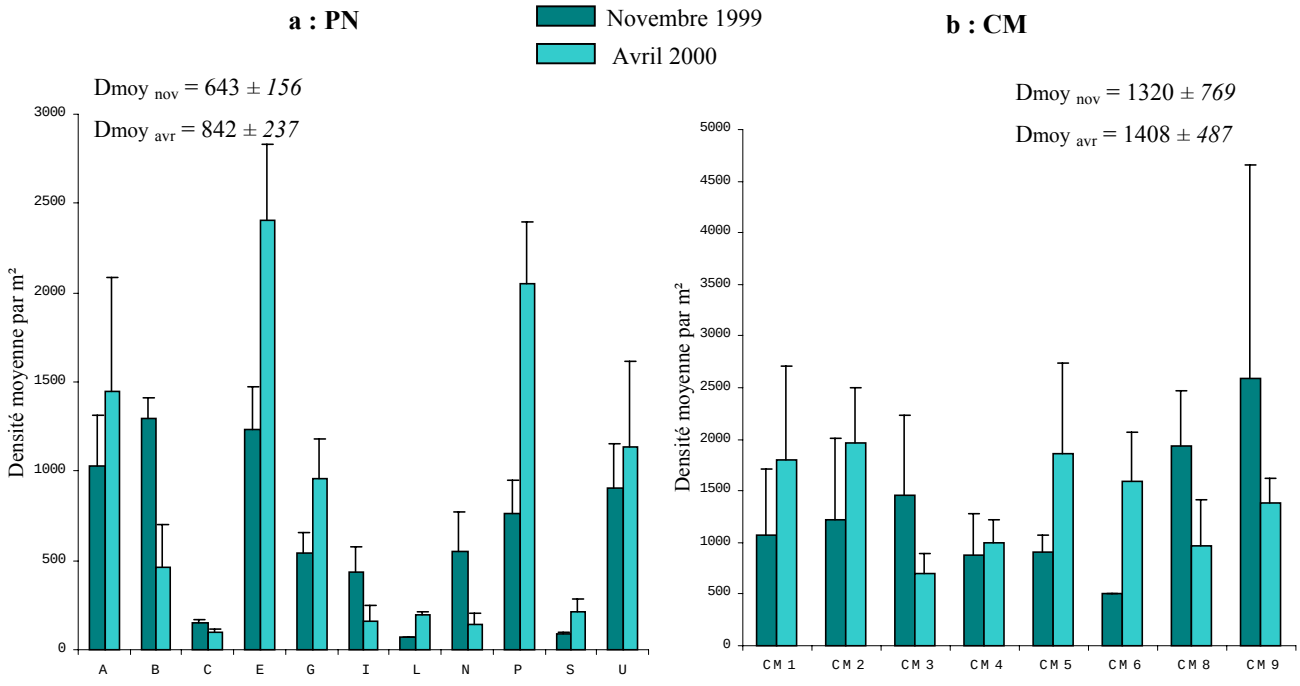


Figure IV-20 : Comparaison des densités moyennes (individus par mètre carré) entre novembre 1999 et avril 2000, pour la macrofaune des stations des Pierres Noires (a) et de Camaret (b). Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

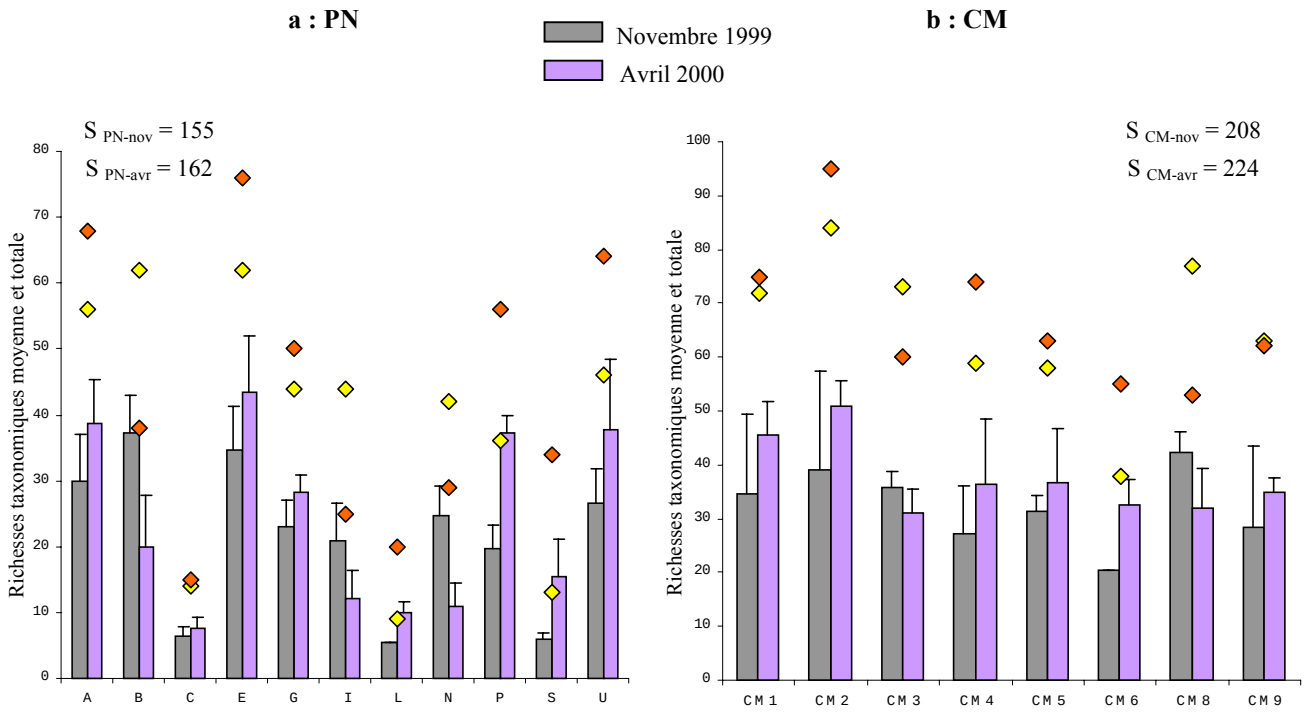


Figure IV-21 : Comparaison des richesses taxonomiques totales (points jaunes : novembre et oranges : avril) et moyennes par benne Smith entre novembre 1999 et avril 2000, dans les stations des Pierres Noires (a) et de Camaret (b). Les écarts types sont représentés par les barres verticales.

Les évolutions des richesses taxonomiques moyennes et totales suivent globalement celles des densités (figure IV-21). Les stations C, L, S restent les moins riches, avec la station N en avril 2000. Le nombre total de taxons observé aux stations CM1 et CM9 reste quasiment identique en dépit des grosses différences de densités et de richesses taxonomiques moyennes observées entre novembre 1999 et avril 2000.

IV-4-2-2- Composition trophique

Pierres Noires

Les peuplements des Pierres Noires sont dominés par des suspensivores et des déposivores sélectifs, ainsi que par des prédateurs et les déposivores non sélectifs dans les stations C, L, N et S, en termes de densités comme de richesses taxonomiques (figure IV-22). Les différences entre les structures des deux saisons ne sont pas très marquées, l'ensemble est assez homogène. La faune des stations C, I, L et S comporte plus de prédateurs et un autre

groupe trophique (nécrophages, détritivores ou microbrouteurs), qui représente une proportion non négligeable, en densité comme en diversité taxonomique.

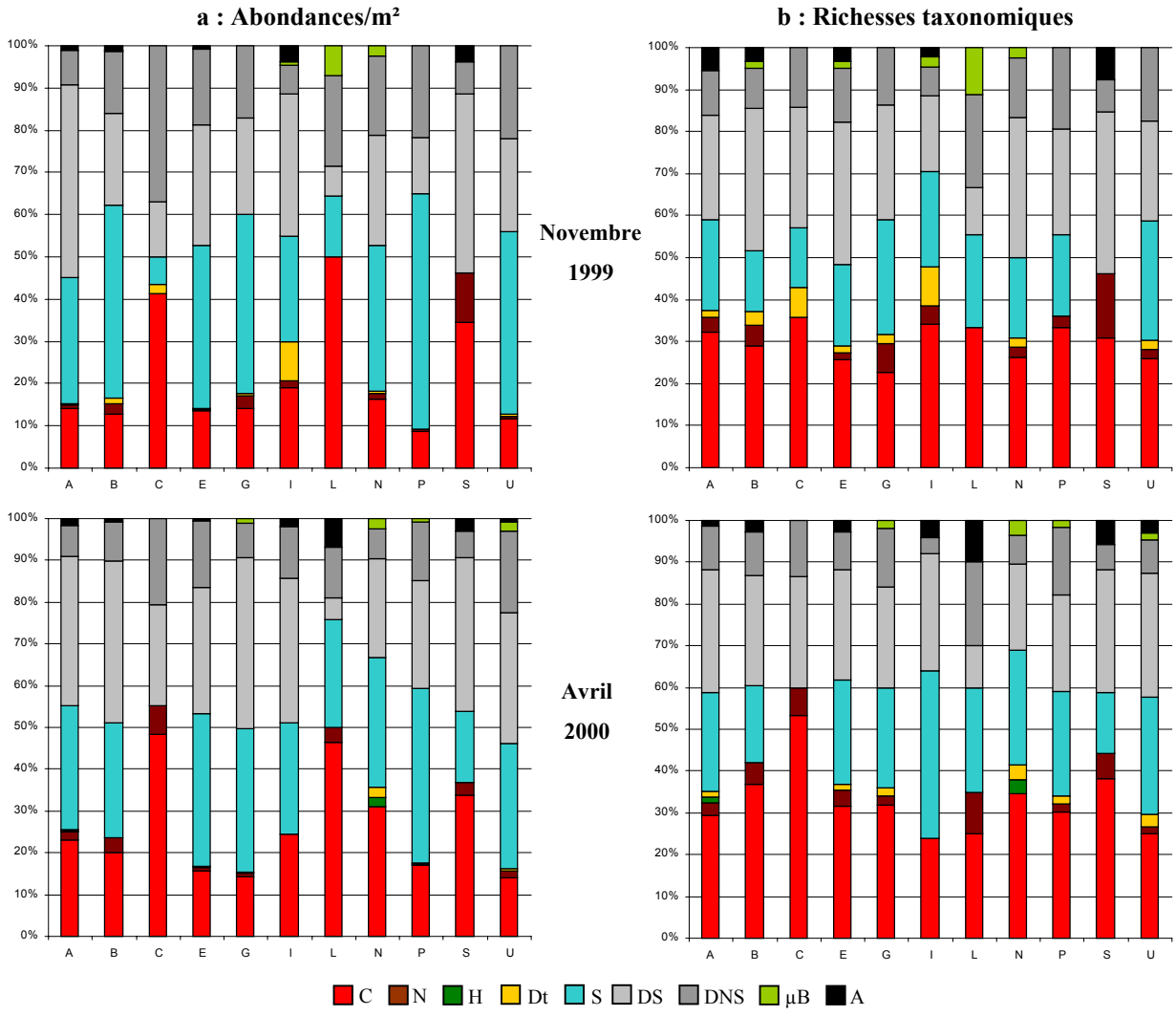


Figure IV-22 : Comparaison des pourcentages des groupes trophiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations des Pierres Noires, entre novembre 1999 et avril 2000. C = prédateurs ; N = nécrophages ; H = herbivores ; Dt = détritivores ; S = suspensivores ; DS = déposivores sélectifs ; DNS = déposivores non sélectifs ; µB = microbrouteurs ; A = autres.

Camaret

Le peuplement de la station CM4, qui se différenciait très nettement de ceux des autres stations par la dominance des suspensivores en novembre, a une structure proche de celles des

autres en avril (figure IV-23a) : la situation de novembre était due à une abondance de *Pomatoceros triqueter* liée à une fraction de coquilles en surface de la vase. Les peuplements aux stations CM9 (novembre), CM5 et CM6 (avril) sont particulièrement riches en déposivores non sélectifs et comportent également plus de taxons de prédateurs (figure IV-23b). L'ensemble des autres peuplements a tendance à être dominé par les déposivores sélectifs en termes de richesses taxonomiques mais les déposivores non sélectifs représentent tout de même de fortes densités dans certaines stations. Les microbrouteurs et les détritivores représentent une part constante de la diversité taxonomique.

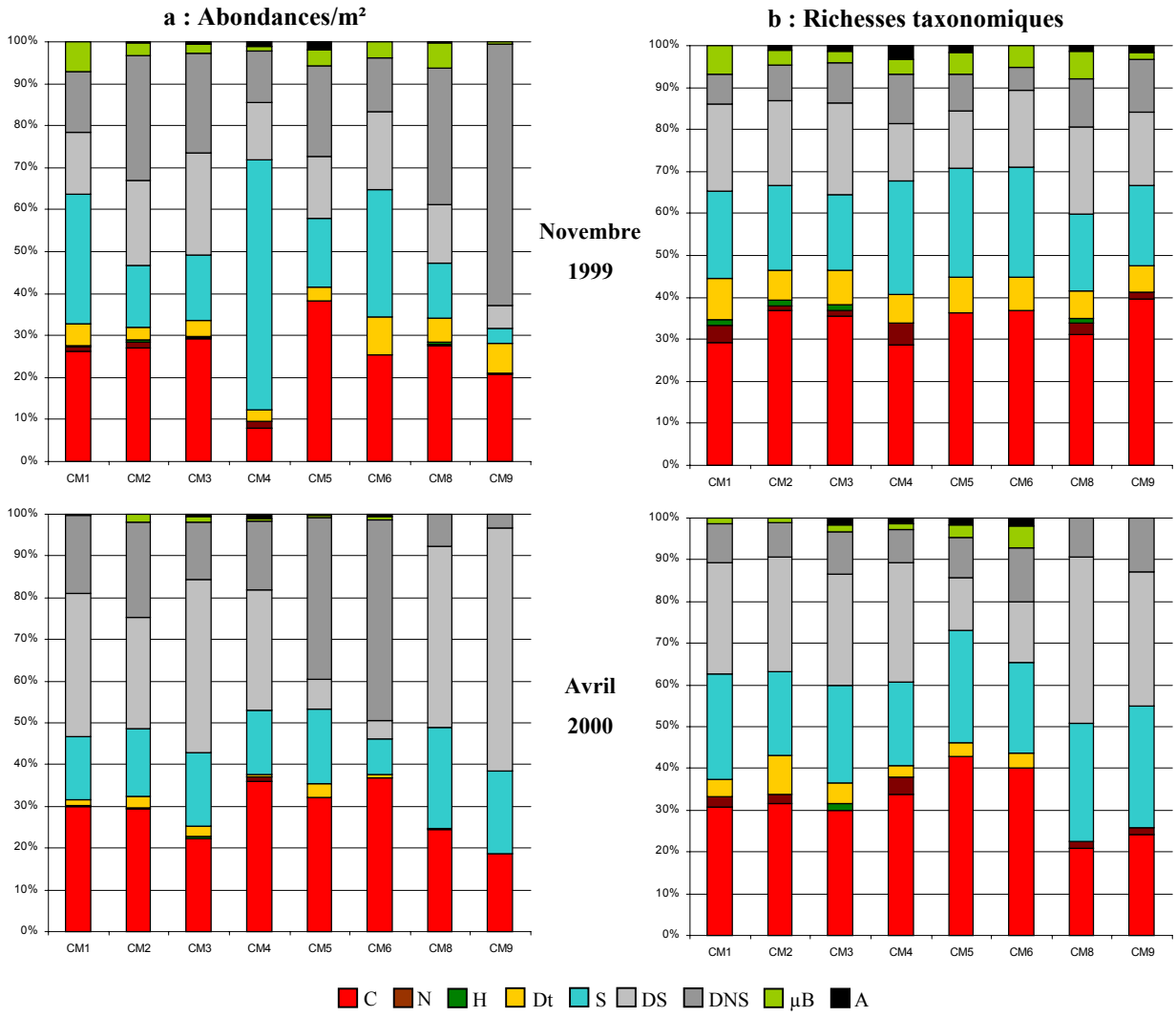


Figure IV-23 : Comparaison des pourcentages des groupes trophiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations de Camaret, entre novembre 1999 et avril 2000. C = prédateurs ; N = nécrophages ; H = herbivores ; Dt = détritivores ; S = suspensivores ; DS = déposivores sélectifs ; DNS = déposivores non sélectifs ; µB = microbrouteurs ; A = autres.

IV-4-2-3- Composition taxonomique

Pierres Noires

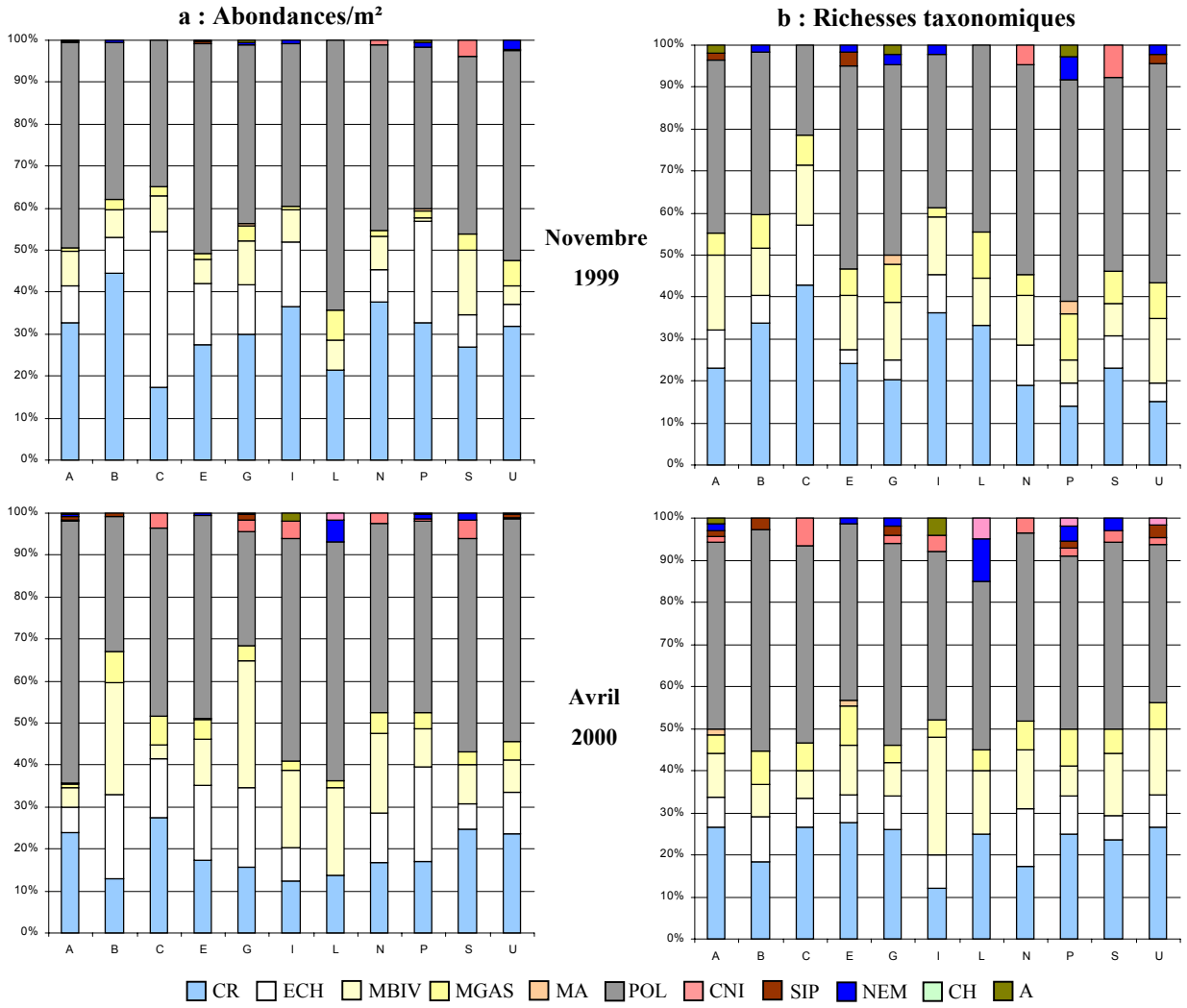


Figure IV-24 : Comparaison des pourcentages des groupes taxonomiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations des Pierres Noires, entre novembre 1999 et avril 2000. CR = crustacés ; ECH = échinodermes ; MBIV = mollusques bivalves ; MGAS = mollusques gastéropodes ; MA = mollusques autres ; POL = polychètes ; CNI = cnidaires ; SIP = sipunculiens ; NEM = némertes et nématodes ; CH = chordés et amphioxus A = autres (plathelminthes, phoronidiens, ascidies et foraminifères).

La structure taxonomique globale reste assez homogène entre les stations et entre les saisons, avec une dominance de polychètes et de crustacés (amphipodes), en termes de densités et de richesses taxonomiques (figure IV-24). La station C comporte en novembre plus de taxons de crustacés (amphipodes) et plus d'échinodermes en densités (*Echinocardium*

cordatum), mais cette station n'est pas densément peuplée. Sa structure n'est plus différente des autres en avril. Les stations B et G ont une importante densité de bivalves en avril : celle-ci est due à une concentration de *Mysella bidentata*, commensal d'échinoderme, également observée en A, E, P et U.

Camaret

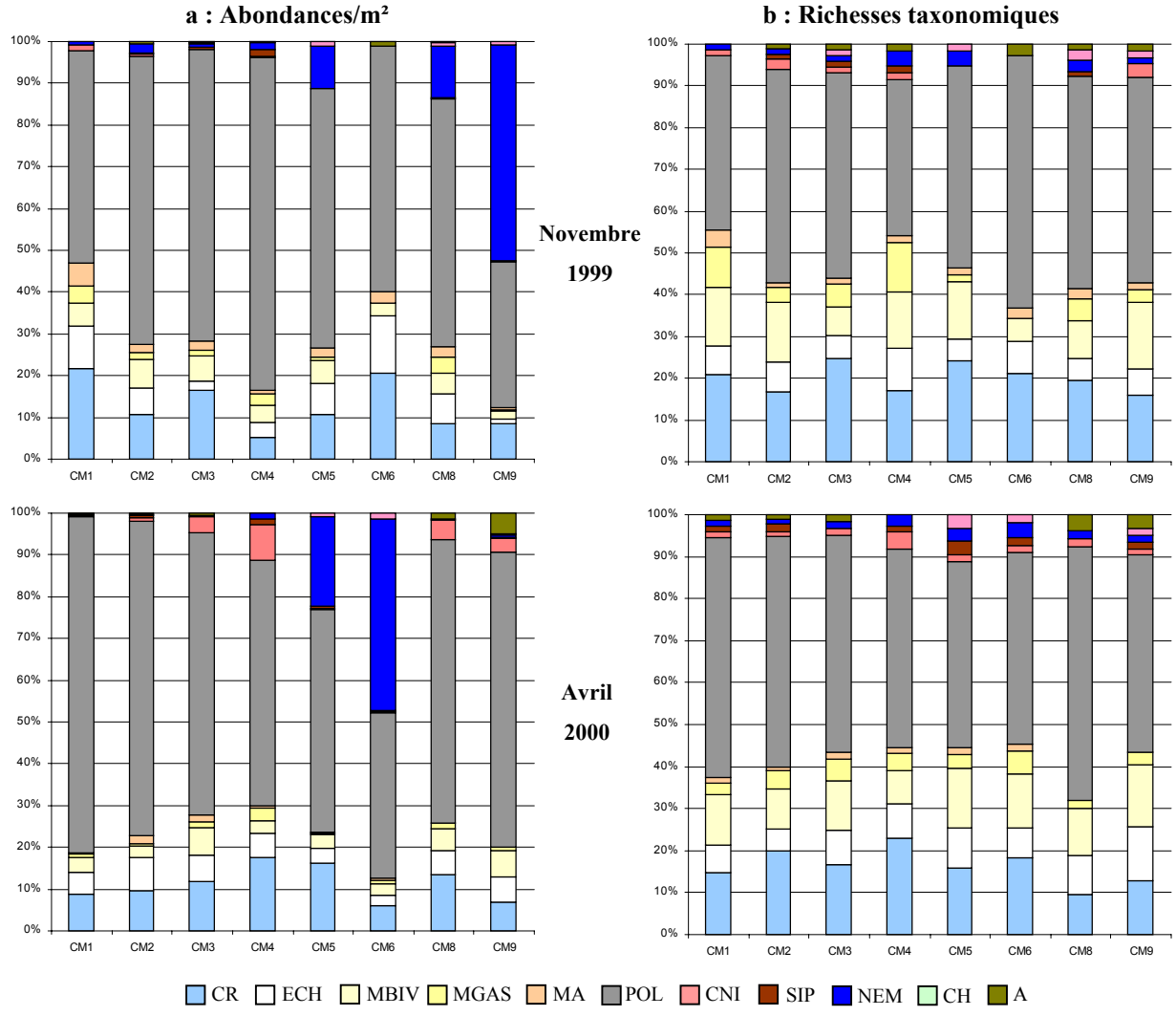


Figure IV-25 : Comparaison des pourcentages des groupes taxonomiques, en abondances moyennes par mètre carré (a) et en richesse taxonomique totale (b), pour les stations de Camaret, entre novembre 1999 et avril 2000. CR = crustacés ; ECH = échinodermes ; MBIV = mollusques bivalves ; MGAS = mollusques gastéropodes ; MA = mollusques autres ; POL = polychètes ; CNI = cnidaires ; SIP = sipunculiens ; NEM = némertes et nématodes ; CH = chordés et amphioxus A = autres (plathelminthes, phoronidiens, ascidies et foraminifères).

Les peuplements de Camaret sont massivement dominés par les polychètes, en termes de densités et en richesses taxonomiques (figure IV-25a). Les stations CM9 (novembre), CM5 et CM6 (avril) présentent une originalité, avec de fortes densités de némertes et nématodes. Les mollusques et les crustacés, pourtant diversifiés en de nombreux taxons (figure IV-25b), ne représentent jamais une part substantielle de la densité du peuplement. Les cnidaires (*Halcampa chrysanthellum*) sont par contre représentés par une à trois espèces et atteignent des densités non négligeables dans les peuplements d'avril aux stations CM3, CM4, CM8 et CM9.

IV-4-2-4- Analyses multivariées

Une Analyse Factorielle des Correspondances a été effectuée sur la matrice constituée des densités transformées en racines carrées ($X' = \sqrt{(X+1)}$) des 390 taxons pour chaque station aux deux saisons échantillonnées. Une deuxième analyse est faite après suppression des lignes contribuant pour moins de 1/390 (figure IV-26). Une Classification Ascendante Hiérarchique est réalisée pour la même matrice, afin de visualiser les regroupements des stations (figure IV-27).

Les taxons et les stations contribuant à l'AFC sont données dans le tableau IV-9. L'observation des dendrogrammes des CAH permet de distinguer trois groupes et six sous-groupes de stations (figure IV-27). Ces groupes ont été reportés sur le plan de l'AFC (figure IV-26) pour permettre l'interprétation de ces analyses multivariées.

L'axe 1 sépare globalement les stations des Pierres Noires de celles de Camaret, les stations L (sédiments les plus grossiers des Pierres Noires), CM3, CM4, CM8 et CM9 (sédiments les plus fins de Camaret) étant en position centrale. Sur le dendrogramme de la figure IV-27, les stations sont séparées en trois grands groupes : le groupe 1 comprend toutes celles de Camaret en novembre, sauf CM4, plus quatre d'avril (CM2, CM5, CM6 et CM9), les groupes 2 et 3 réunissent toutes celles des Pierres Noires réparties en trois sous-groupes et un dernier sous-groupe constitué exclusivement des quatre autres stations d'avril de Camaret.

D'autre part, la proximité des groupes 3a et 3b sur la CAH montre que les peuplements des stations CM4 (novembre et avril), CM3, CM8 et CM9 (novembre) sont proches de ceux des stations de sables fins des Pierres Noires. Or ces stations sont effectivement situées sur des sables fins plus ou moins envasés à ces périodes.

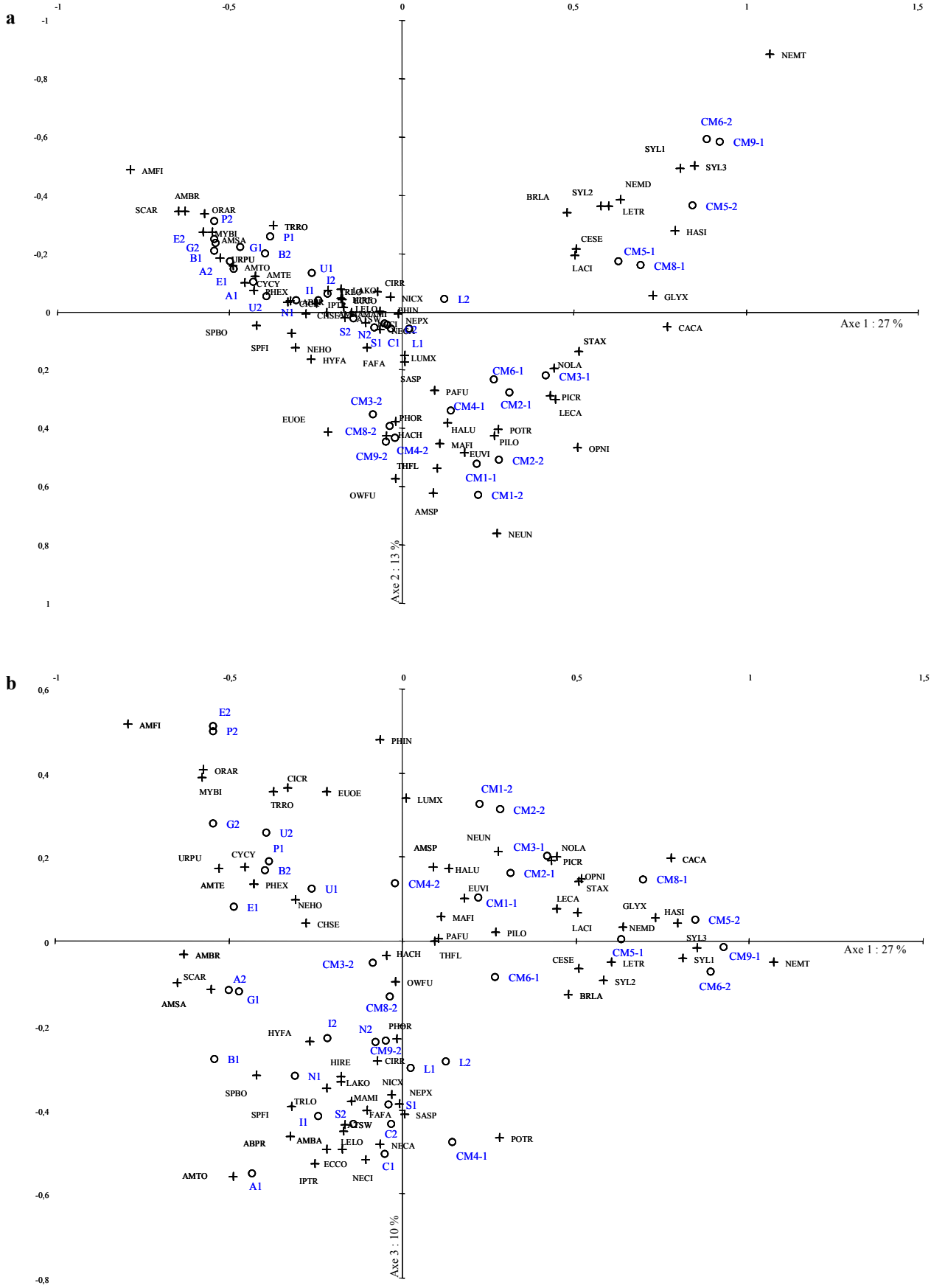


Figure IV-26 : Analyse Factorielle des Correspondances réalisée sur la matrice simplifiée comportant 58 colonnes (réplicats des deux sites aux deux saisons) et 104 lignes (taxons). a : représentation des axes 1 et 2 (40 % de l'inertie) ; b : représentation des axes 1et 3 (37 % de l'inertie).

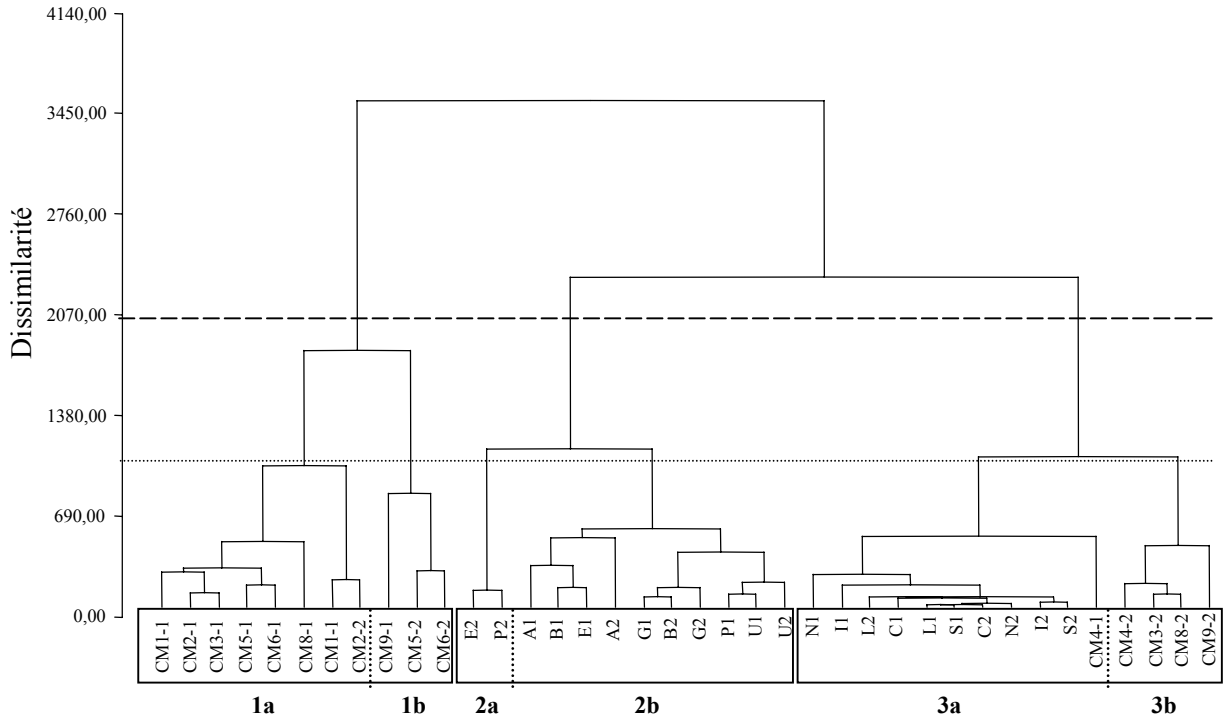


Figure IV-27 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique : regroupement des stations des Pierres Noires et de Camaret pour les mois de novembre (1) et d'avril (2). Définition des six groupes de stations.

Les deux grands ensembles de peuplements différenciés par les analyses multivariées sont donc ceux de graviers (groupes 1a et 1b) et ceux de sédiments fins (groupes 2a, 2b, 3a et 3b). Le groupe 1 se partage en deux faciès, marqués par des différences taxotrophiques (présence en fortes densités de nématodes et némertes, déposivores non sélectifs). Les stations E et P d'avril sont séparées de l'ensemble A, B, E, G, P et U dans le groupe 2 ; ce deuxième sous-groupe présente une structure de peuplement avec de fortes densités de suspensivores (*Amphiura filiformis*) et de déposivores sélectifs (*Mysella bidentata*). Le groupe 3 présente deux faciès, l'ensemble C, I, L, N et S et CM4 (novembre) et le groupe 3b, qui représente les stations de sables fins et envasés de Camaret (CM3, CM4, CM8 et CM9 d'avril).

Tableau IV-9 : Stations et taxons dont les contributions sont significatives dans l'AFC réalisée et présentée en figure IV-26, pour les trois facteurs principaux.

AXES	Contributions négatives	Contributions positives
AXE 1 (25 %)	**B1, E1, A2, E2, G2, P2**	**CM5-1, CM8-1, CM9-1, CM5-2, CM6-2**
	Amphiura filiformis, Mysella bidentata Scoloplos armiger, Ampelisca brevicornis, A. sarsi ; A. toulemonti, A. tenuicornis, Urothoe pulchella, Oriopsis armandi, Spiophanes bombyx, Chaetozone setosa, Cylichna cylindracea, Pherusa sp., Nephtys hombergii	Nemertea ind, *Capitella capitata, Glycera sp., Harmothoë spinifera, Syllidae sp3, Syllidae sp1,* Nematoda ind, *Ophiocomina nigra, Notomastus latericeus, Leptocheirus tricristatus, Laonice cirrata, Staurocephalus sp., Syllidae sp2, Leptochiton cancellatus, Ceradocus semiserratus, Pista cristata*
AXE 2 (12 %)	**CM1-2, CM2-2, CM3-2, CM4-2, CM8-2, CM9-2**	**P2, CM9-1, CM5-2, CM6-2**
	Nematonereis unicornis, Owenia fusiformis, O. nigra, Ampelisca spinipes, Euclymene oerstedii, Thyasira flexuosa, Halcampa chrysanthellum, Eunice vittata, Magelona filiformis, Pisidia longicornis, Pomatoceros triqueter, Paraonis fulgens, Harmothoë lunulata, Phoronis sp.	Nemertea ind, *A. filiformis, Syllidae sp3, Syllidae sp1,* Nematoda ind, *L. tricristatis, A. brevicornis, S. armiger, M. bidentata, H. spinifera, O. armandi, Syllidae sp2, Trichobranchus roseus, Branchiostoma lanceolatum*
AXE 3 (9 %)	**A1, B1, C1, I1, L1, C2, S2, CM4-1**	**E2, P2, CM1-2, CM2-2**
	A. toulemonti, P. triqueter, Echinocardium cordatum, Iphinoë trispinosa, Amphiura brachiata, Abra prismatica, Nephtys cirrosa, N. caeca, Spio filicornis, S. bombyx, Atylus swammerdami, Lepidepecreum longicorne, Fabulina fabula, Sabellaria spinulosa, Cirratulidae ind, *Nichomache sp., Lagis koreni, Magelona mirabilis, Tryphosites longipes, Nephtys sp., Hyalinoecia fauveli, Hinia reticulata*	*A. filiformis, Lumbrineris sp., Pholoë inornata, E. oerstedii, M. bidentata, O. armandi, Cironala cranchii, T. roseus, N. unicornis, N. latericeus, C. capitata*

IV-4-3- Apports de l'analyse à échelle fine dans la connaissance des peuplements de l'Iroise

Dans les sites des Pierres noires et de Camaret, les richesses taxonomiques observées en novembre sont inférieures à celles d'avril. Ce résultat est atypique. En effet, étant donné que l'augmentation la plus forte du nombre d'espèces a lieu au printemps et que les plus fortes mortalités se produisent en fin d'automne et au début de l'hiver (Grall, 2002), le maximum de diversité taxonomique devrait plutôt être observé en novembre dans nos échantillons. Cependant, cette différence de richesses taxonomiques pourrait en partie (voire entièrement) être le résultat direct des progrès réalisés en détermination au cours de ces travaux. Le biais qu'ils représentent est inévitable lorsque les études sont réalisées par une même personne sur une assez longue période.

En termes d'abondances et de richesses taxonomiques, les peuplements de macrofaune des Pierres Noires sont riches en polychètes et crustacés (surtout des amphipodes) et sont dominés par des suspensivores (notamment l'ophiure *Amphiura filiformis*) et des déposivores sélectifs. Deux types de peuplements peuvent être distingués. Le premier s'observe aux stations A, B, E, G, P et U. Il est marqué par de fortes densités (jusqu'à 2 400 individus par mètre carré) associées à de fortes richesses taxonomiques. La structure trophique est complexe, avec quatre à sept groupes trophiques représentés. Les polychètes et les crustacés (amphipodes) dominent mais les bivalves sont également très bien représentés, avec en particulier de fortes densités de *Mysella bidentata*. C'est un peuplement de sables fins qui tend vers les sables envasés, il est très proche du "faciès envasé" du "peuplement des sables fins envasés" observé par ailleurs en Iroise.

Celui observé aux stations C, I, L, N et S est peu dense, présente une faible richesse spécifique et est dominé par les prédateurs. Cependant, sa structure trophique reste complexe, avec quatre à sept groupes représentés sur les huit potentiels. Des groupes trophiques peu courants dans les autres peuplements des Pierres Noires y sont observés, comme les nécrophages ou les détritivores. C'est un peuplement de sables fins, avec un faciès de sables dunaires aux stations L et S (*Abra prismatica*, *Nephtys cirrosa* et *Hippomedon denticulatus*).

Ces fortes densités d'*Amphiura filiformis* et de son commensal *Mysella bidentata* pourrait être la marque d'une réponse de la macrofaune benthique à un front pélagique, comme cela a été observé par Josefson et Conley (1997) dans la zone de Skagerrak-Kattegat,

entre la Suède et le Danemark. Selon ces auteurs, le maximum de chlorophylle produit est constitué de diatomées, dont la taille importante assure un fort taux de sédimentation. Cette production primaire sédimente dans une partie de la zone frontale. De fortes abondances de macrofaune benthique sont observées dans cette zone enrichie en matière organique. Aux Pierres Noires, le groupe de stations "profondes", à l'ouest de la zone, semble bien correspondre à une zone enrichie en M.O. par le front d'Ouessant. Les fortes densités de macrofaune qui y sont observées ont une double origine : en plus de l'effet direct de l'enrichissement en M.O. qui profite directement aux espèces déposivores et suspensivores, une utilisation différente de l'espace limité que représente l'interface eau/sédiment se met en place. En effet, une des implications du commensalisme échinoderme fouisseur-bivalve est le transport de la M.O. fraîche en profondeur dans le sédiment par bioturbation, ce qui améliore considérablement sa minéralisation en permettant une très bonne oxygénation du sédiment, due à l'augmentation de la surface de contact, décuplée, représentée par les "trous" d'ophiures (Josefson et Conley, 1997).

Les blooms phytoplanctoniques provenant de la rade de Brest sont également susceptibles de sédimenter dans cette zone puisqu'elle atteint des profondeurs supérieures à cinquante mètres, ce qui facilite la sédimentation sans remise en suspension. Les deux peuplements observés aux Pierres Noires sont ainsi dus à une réaction différente de la faune dans la zone de sédimentation de la production primaire du front de l'Iroise et des blooms en provenance de la rade de Brest.

D'autre part, les peuplements des Pierres Noires semblent peu sensibles à la saisonnalité, ce qui peut s'expliquer par une plus grande stabilité des paramètres environnementaux dans les profondeurs atteintes à leur niveau (autour de cinquante mètres) ainsi que par l'éloignement par rapport à la côte, ce qui limite certains impacts humains directs liés aux activités côtières.

Les peuplements de Camaret sont globalement tous assez denses (1 000 à 2 000 individus par mètre carré) et sont largement dominés par les polychètes. Trois grands types de peuplements y sont représentés.

Les stations CM1, CM2, et en novembre CM3, CM5, CM6, CM8 représentent un peuplement de graviers hétérogènes, avec la présence de gros bivalves, même s'il ne sont pas dominants en densités (*C. casina*, *C. fasciata*, *D. exoleta*, *G. glycymeris*, *T. rhomboides*) mais le sont en biomasses et la présence d'ophiures *O. nigra* et *O. fragilis*. Ce peuplement semble cependant se présenter sous un faciès envasé, étant donné les grandes quantités de

déposivores représentés. Il s'agirait en fait d'un faciès de maërl envasé. Un autre faciès de graviers atypique est représenté aux stations CM9 (novembre), CM5 et CM6 (avril), dominé par des nématodes et des némertes, déposivores non sélectifs, mais ce faciès pourrait être saisonnier ou représenter une réponse de la faune à un effet de pollution (égouts, rejets industriels). En effet, les assemblages de nématodes sont utilisés pour détecter des pollutions diffuses dues à la mauvaise qualité des eaux, auxquelles ils sont très sensibles (Lambshead, 1986).

Le deuxième type de peuplement est représenté dans les stations d'avril de CM3, CM8 et CM9 : la densité de la faune y est plus faible, mais il n'est pas moins diversifié en taxons. Les déposivores sélectifs dominent et des cnidaires de sables fins sont bien représentés. C'est un faciès de sables fins et envasés qui se rapproche du "faciès appauvri" du peuplement des sables fins envasés des Pierres Noires. Ce peuplement est totalement lié aux types de sédiments sur lesquels il est installé.

Le troisième peuplement est celui observé en CM4 : c'est un faciès de vases sableuses, qui diffère toujours des autres faciès environnants.

Les stations de Camaret sont beaucoup plus sensibles à la saisonnalité, cependant il est délicat d'évaluer son influence sur le peuplement alors que d'importantes variations dans les types sédimentaires ont été observées au niveau des stations.

Le large de l'anse des Blancs Sablons est occupé par un peuplement de graviers hétérogènes très diversifié. Les suspensivores dominent largement, ce qui est une caractéristique de cette zone. Les crustacés, les mollusques, les polychètes et les échinodermes sont les groupes taxonomiques dominants. Le sédiment des stations alterne entre les graviers propres, les graviers sableux hétérogènes et les graviers biogènes, le peuplement s'est diversifié tout en gardant une structure trophique dominée par les suspensivores.

La station BS1 représente un faciès de sables fins peu profonds, avec une faible densité pour un peuplement dominé par les déposivores sélectifs en plus des suspensivores. La faune est assez riche en bivalves de petites tailles (*Chamelea gallina*, *Fabulina fabula*). Ce peuplement n'est pas lié à celui des graviers hétérogènes voisins mais représente plutôt la fin de la plage de sables fins des Blancs Sablons, en zone peu profonde.

Le peuplement de Morgat est globalement un peuplement de sables fins assez peu dense, caractérisé par une dominance des déposivores sélectifs et des prédateurs. Les stations

M5, M8, M10 et M19 tendent vers un peuplement de graviers, dominé par les suspensivores et les déposivores non sélectifs, avec des bivalves et des ophiures très bien représentés.

Ces deux types de peuplement sont mélangés dans toutes les stations qui entourent les Verrès, M10 étant la seule véritable station de graviers sableux hétérogènes.

IV-5- RÉPARTITION D'ESPÈCES ET POPULATIONS REMARQUABLES

La mer d'Iroise étant également une zone originale d'un point de vue biogéographique, certaines des très nombreuses espèces de crustacés signalées sont en limite nord de répartition, comme le cirripède *Pollicipes cornucopiae*, le bernard-l'hermite *Clibanarius erythropus* et les crabes *Pachygrapsus marmoratus* et *Eriphia verrucosa*. Le triton de l'Atlantique (*Charonia lampas*) est quasiment en limite nord de répartition en Iroise (Graham, 1988).

En plus de leur intérêt économique certain, les bivalves sont par ailleurs un excellent outil pour estimer valablement la réalité d'une limite entre les provinces "lusitanienne" et "boréale" au niveau de l'Iroise (Glémarec, 1988). La très grande diversité d'espèces marines observée en mer d'Iroise peut également constituer un indicateur du mélange de divers taxons caractéristiques de plusieurs zones biogéographiques.

IV-5-1- Répartitions bathymétriques inhabituelles

Parmi les espèces rencontrées au cours des échantillonnages réalisés lors de cette étude, certaines se trouvent dans des situations de répartition ou de profondeur qui diffèrent des affinités rapportées par Cabioch (1968) pour la zone voisine de la Manche. Le bivalve *Spisula elliptica*, signalé comme appartenant à la faune boréale ou boréo-arctique, ne dépasse guère, vers le sud, le niveau du golfe de Gascogne. Cette espèce a été rencontrée en de nombreux points de la zone au cours de notre étude, préférentiellement entre 40 et 90 mètres, mais également à moins de quinze mètres. Le polychète serpulidé *Vermiliopsis infundibulum* a été trouvé à deux reprises à moins de trente mètres, fixé du côté interne de valves vides de Lamellibranches. Selon Cabioch (1968), il appartiendrait à la faune profonde (lusitannienne) d'affinité tempérée chaude, qui atteint en Manche sa limite nord de répartition. Cependant, bien que l'auteur signale ce polychète comme rare par moins de quatre-vingts mètres, il semble qu'il soit capable de proliférer très rapidement en aquarium.

L'ascidie coloniale *Diazona violacea* est une espèce du large, assez rare en situation peu profonde : pourtant les deux observations faites au cours de nos campagnes concernaient

des zones d'une profondeur d'environ cinquante mètres. Aucun enregistrement de l'espèce n'ayant été fait à une plus grande profondeur pendant ces échantillonnages, on ne peut pas conclure si l'espèce est largement présente au large et que seuls deux groupes en situation inhabituelle, moins profonde, ont été pêchés ou si sa présence à cette profondeur est le signe d'une remontée bathymétrique en Iroise, qui serait due à l'hydrodynamisme intense qui maintient l'homogénéité verticale des eaux.

Plusieurs individus des bivalves *Pandora pinna* et *Arcopella balaustina* ont également été pêchés entre quarante et quatre-vingt-dix mètres ; ces espèces appartiennent pourtant à l'étage circalittoral du large (Glémarec, 1973).

À l'inverse, plusieurs espèces ont été observées en situation plus profonde que celle correspondant à leur affinité bathymétrique, comme *Angulus tenuis*, *Pseudopythina macandrewi* ou *Venerupis pullastra* (jusqu'à ~50 m).

Ces éléments laissent supposer que l'étage infralittoral pourrait être étendu vers le large et serait peu différent du circalittoral côtier, de telle sorte que les faunes de ces deux étages soient extrêmement proches : elles n'ont d'ailleurs pas été différenciées au cours des analyses réalisées sur nos échantillons. L'étage circalittoral du large est très peu représenté à l'intérieur de la zone choisie pour notre étude, ce qui explique qu'une faune différenciée n'ait pu être mise en évidence. De plus, le brassage important des eaux dans la majeure partie de la zone leur permet de rester assez froides, ce qui peut occasionner quelques remontées d'espèces d'affinité profonde dans le circalittoral côtier.

IV-5-2- Répartitions spatiales

Parmi les espèces rencontrées au cours de l'ensemble des campagnes, certaines populations présentent un intérêt remarquable par leur valeur économique et commerciale ou par leur rôle écologique. Parmi ces espèces, quelques poissons et bivalves commercialisables ont été identifiés, notamment des coquilles Saint-Jacques *Pecten maximus*, des pétoncles blancs *Aequipecten opercularis* et des amandes de mer *Glycymeris glycymeris*. Des cartes de répartition de ces espèces phares ont été réalisées à partir de l'ensemble des échantillons prélevés. Les populations d'autres espèces, tout aussi intéressantes mais échantillonnées en trop faible quantité, comme les pétoncles noirs (*Chlamys varia*), les praires (*Venus verrucosa*), les bulots (*Buccinum undatum*), ne seront pas détaillées ici.

D'autre part, les spisules, pourtant peu échantillonnées au cours de nos campagnes, feront l'objet d'une analyse : en effet, la pêcherie occasionnelle dont elles font l'objet permet de trouver des informations concernant des localisations de leurs populations en mer d'Iroise.

IV-5-2-1- Les coquilles Saint-Jacques

La majorité des coquilles Saint-Jacques a été récoltée dans la baie de Douarnenez (moins de 30 mètres)et dans son prolongement jusqu'au large du plateau rocheux central, à des profondeurs excédant les 80 mètres (figure IV-28). Une autre zone assez riche a été repérée autour d'Ouessant et de l'archipel de Molène, notamment dans la baie du Stiff et à la sortie de la baie de Lampaul. L'anse de Camaret, proche de la sortie de la rade de Brest, abrite également un groupe d'individus. Cependant, les densités rencontrées restent peu élevées, puisque le maximum d'abondance rencontré était de 25 individus pour un trait de drague d'environ 200 mètres.

La limite de taille autorisée est de 102 mm pour cette espèce (largeur de coquille). Dans la plupart des stations, les coquilles pêchées étaient un mélange d'individus exploitables ou non mais une majorité de jeunes coquilles ont été observées dans la baie de Douarnenez tandis qu'au large, les deux catégories de taille sont plus mêlées.

La répartition de cette espèce semble couvrir principalement les graviers hétérogènes de la partie sud de la zone, ainsi que la partie la plus hétérogène de la baie de Douarnenez.

L'âge d'une coquille peut être déterminé grâce aux marques d'arrêt de croissance d'hiver, visibles en particulier sur la valve plate, une trace marquant un hiver. Les individus récoltés dans une même station étaient le plus souvent âgés de 2 à plus de 5 ans, pour des tailles allant de 59 à 136 millimètres, la largeur de la coquille étant la valeur de référence (figure IV-29). L'absence de coquilles plus petites s'avère tout à fait logique, étant donné la taille du vide de maille de la drague (55 mm).

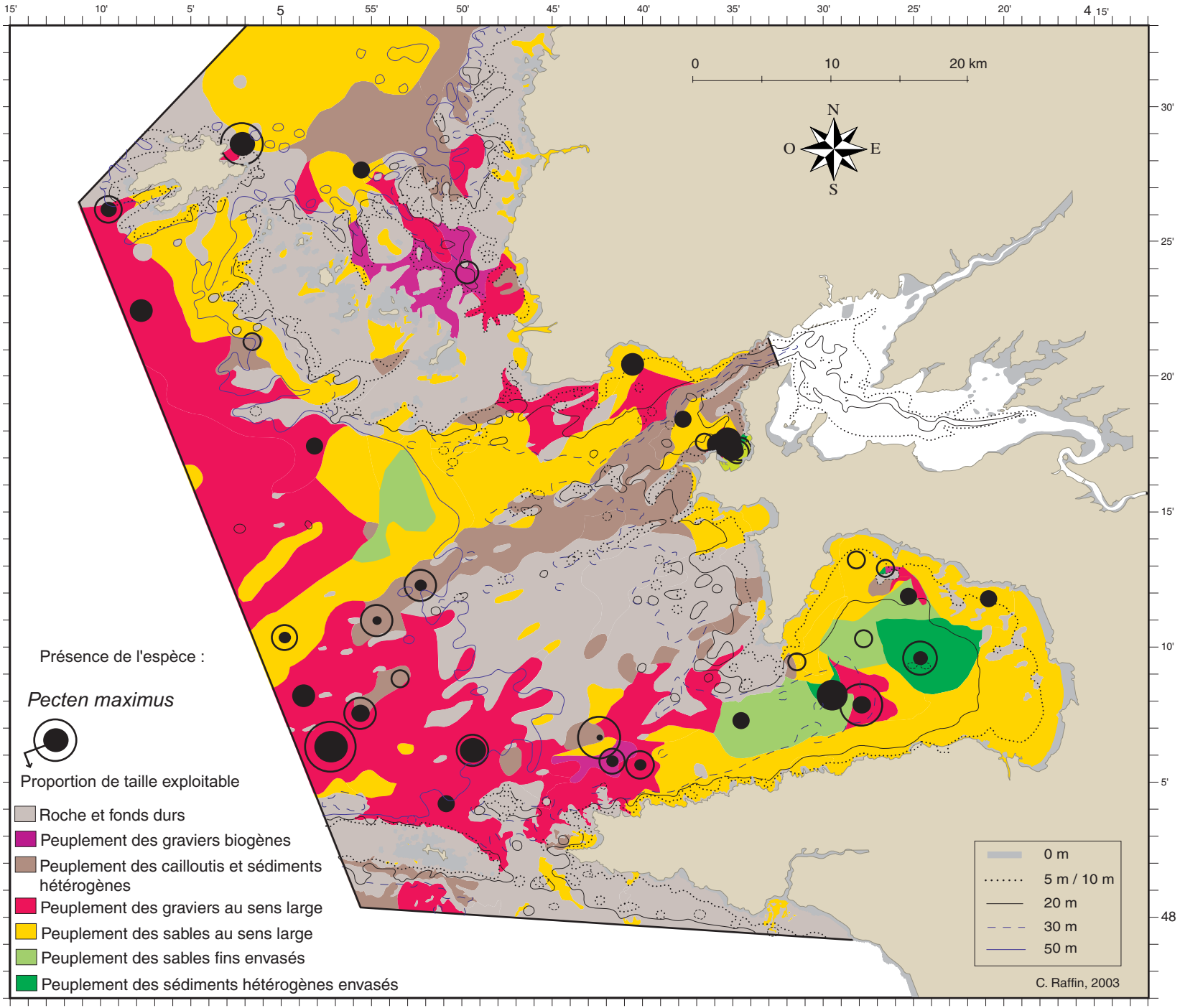


Figure IV-28 : Répartition des coquilles St-Jacques (*Pecten maximus*) récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

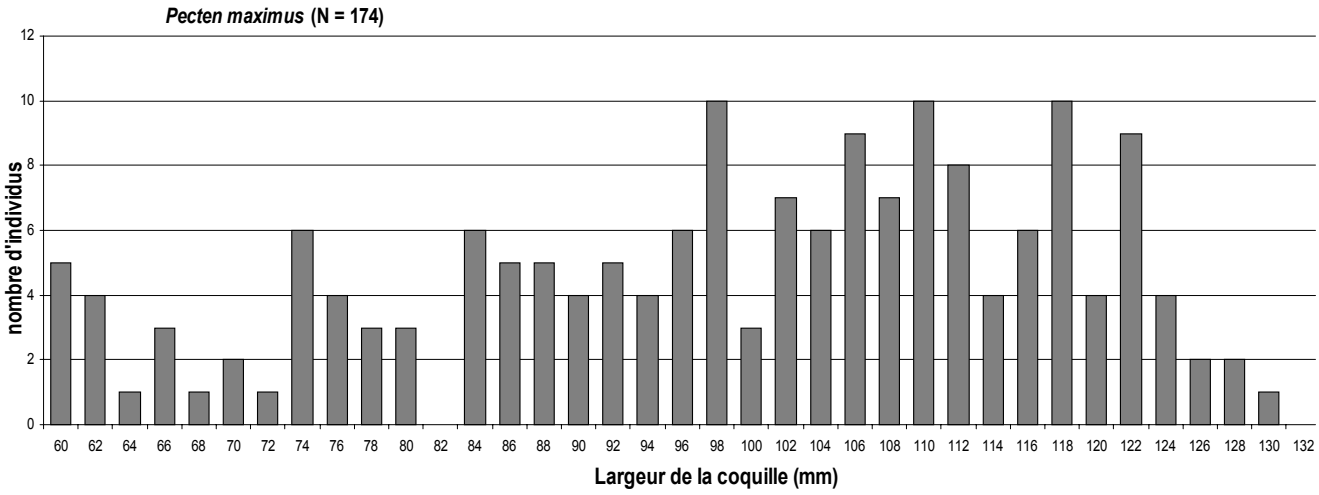
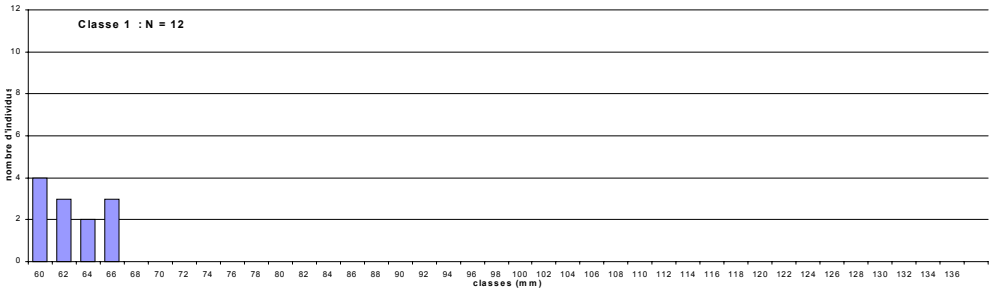


Figure IV-29 : Fréquences des classes de taille (largeur en mm) pour les coquilles de *Pecten maximus* échantillonnées ; le nombre total d'individus mesurés est donné entre parenthèses.

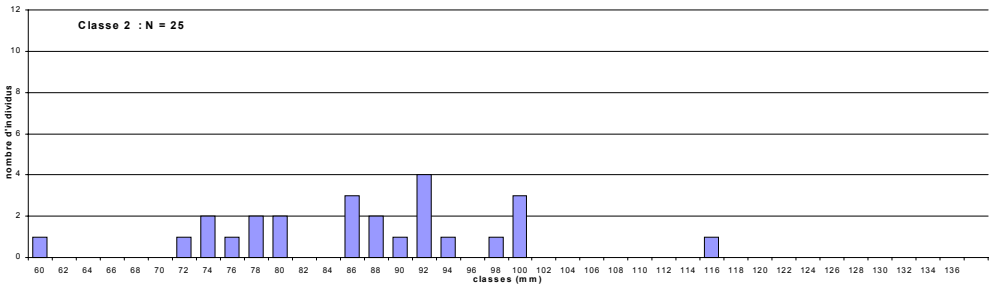
Des histogrammes de fréquences des classes de taille ont également été réalisés pour chaque classe d'âge (figure IV-30a à f). Les gammes de tailles des coquilles augmentent avec leur âge : 58 à 66 mm pour la classe 1, 70 à 100 pour la classe 2, 84 à 116 pour la classe 3, 96 à 126 pour la classe 4, 102 à 130 pour la classe 5 et 104 à 136 pour la classe 5+, c'est-à-dire âgées de plus de 5 hivers. Les 12 individus de classe 1 pêchés (coquilles ayant passé un hiver, la reproduction ayant lieu au printemps), avec des tailles allant de 59 à 66 mm, proviennent pour 11 d'entre elles de la station n° 86, au nord de la pointe du Raz à la sortie de la baie de Douarnenez, et pour la dernière de la station n° 68, située plus au large.

Les résultats de la campagne PERCOL (Fifas, 1998) donnent une idée de la répartition de cette espèce à une plus large échelle : la zone explorée allait en effet jusqu'en bordure du plateau continental. Le gisement le plus important repéré était situé à des profondeurs de 150 à 200 m, en zone inexploitée par la pêche, autour du 48ème parallèle nord. Notre zone d'étude correspond à la partie modérément exploitée de la zone (moins de dix navires), moins profonde. Les densités maximales y ont été observées juste en bordure de notre zone, à l'ouest et au sud-ouest (gisement d'Ar Men) et au nord, ainsi que de part et d'autre d'Ouessant.

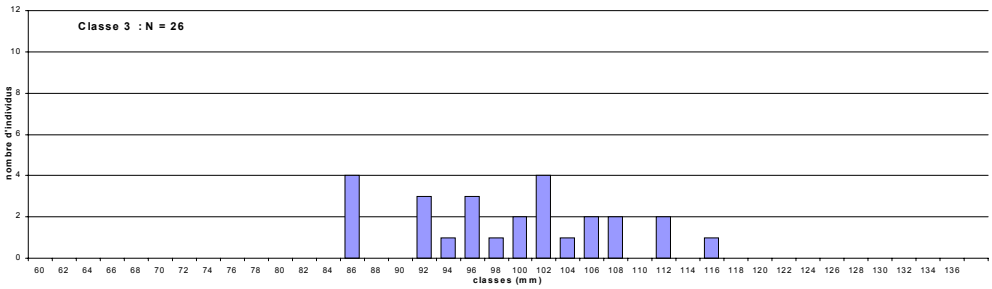
a : cl 1



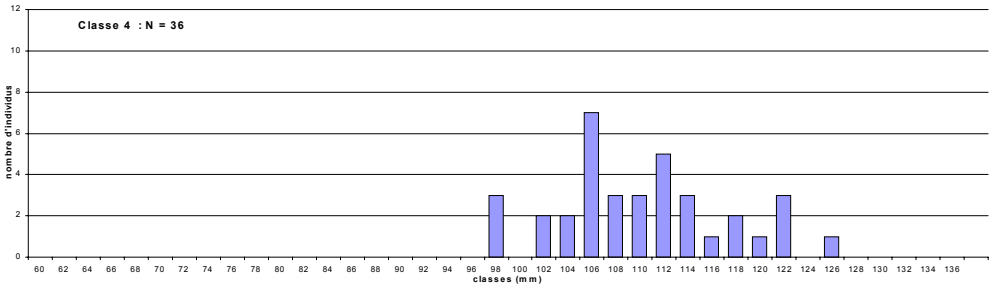
b : cl 2



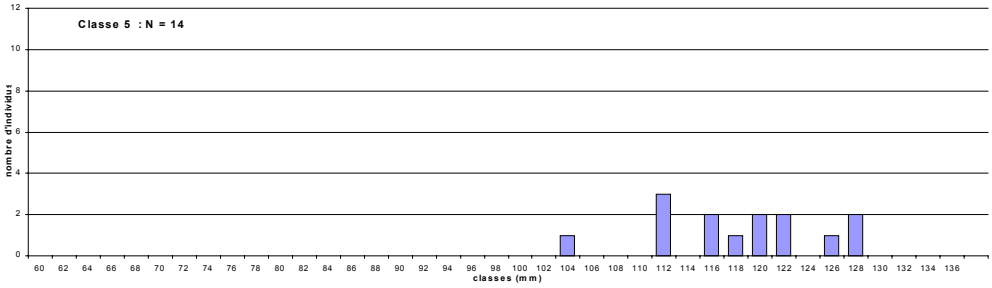
c : cl 3



d : cl 4



e : cl 5



f : cl 5+

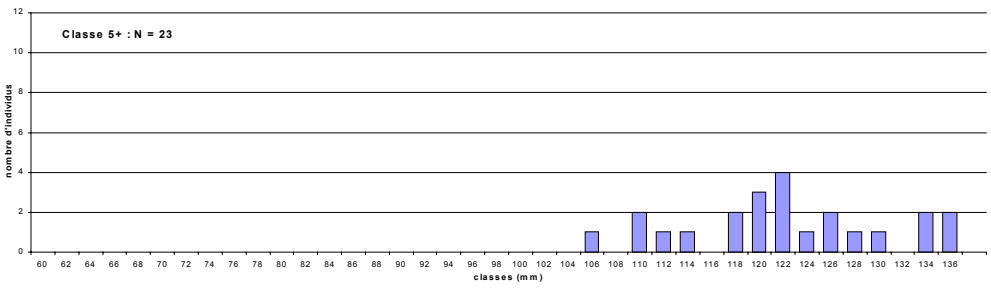


Figure IV-30 : Histogrammes de fréquences des classes de taille réalisés pour chaque classe d'âge des coquilles S^{t}-Jacques (*Pecten maximus*) collectées. a = cl 1, b = cl 2, c = cl 3, d = cl 4, e = cl 5, f = cl 5+.

IV-5-2-2- Les pétoncles

Cinq espèces de pétoncles ont été échantillonnées durant les campagnes : 1 *Chlamys septemradiata*, 1 *C. distorta*, 1 *C. varia* (pétoncle noir), 3 *C. tigerina* et 463 *Aequipecten opercularis* (pétoncle blanc). Les pétoncles noirs, très représentés et exploités en rade de Brest, sont donc rares en mer d'Iroise, du moins aux profondeurs échantillonnées, sans doute trop importantes pour ce bivalve dont le preferendum bathymétrique se situerait plutôt par moins de 10 mètres de profondeur.

La répartition des pétoncles blancs dans la mer d'Iroise est plus restreinte que celle des coquilles Saint-Jacques. Ils ont été observés principalement dans la moitié ouest de la baie de Douarnenez et dans son prolongement jusque vers le large de la zone (même zone que pour les *Pecten*), ainsi que dans l'anse de Camaret (figure IV-31). Ils semblent confinés dans des zones de graviers hétérogènes, traversées par de forts courants et à des profondeurs supérieures à 20 mètres, sauf dans la baie de Camaret, abritée et moins profonde.

D'après les mesures réalisées sur les individus récoltés, les pétoncles de taille commercialisable, soit 35 mm de longueur de coquille pour cette espèce, se trouveraient plutôt dans le prolongement de la baie de Douarnenez, jusqu'au large (station n° 81), ainsi que dans l'anse de Camaret (figure IV-32).

Les densités rencontrées restent cependant assez modestes, puisqu'elles ne dépassent pas la soixantaine d'individus capturés pour un trait de chalut de plus de 600 mètres. La grande majorité des individus a été pêchée à la drague ou au chalut.

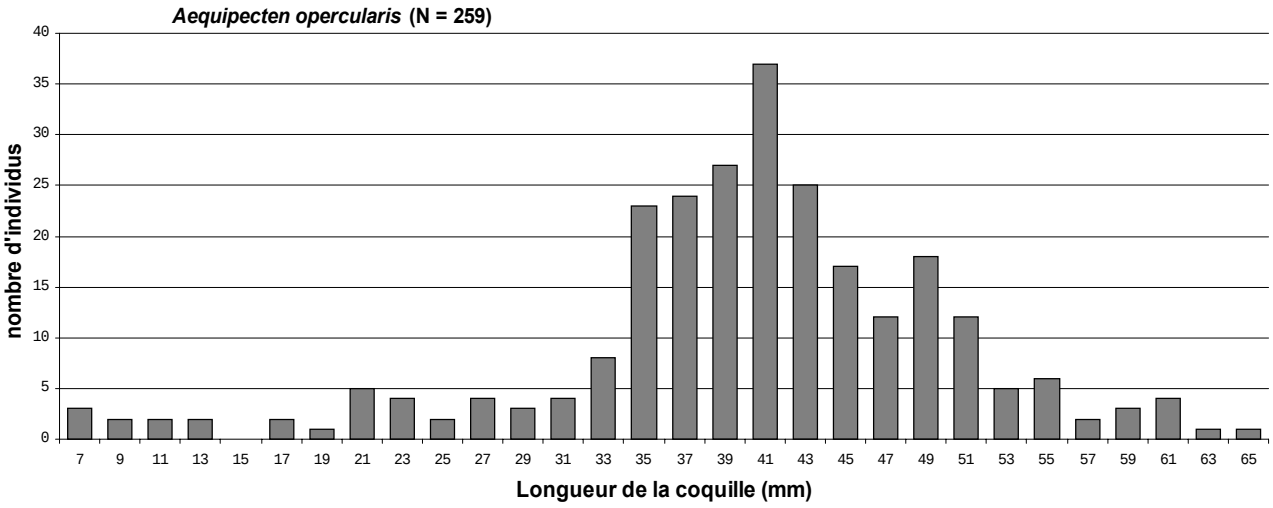


Figure IV-32 : Fréquences des classes de taille (longueur en mm) pour les coquilles d'*Aequipecten opercularis* échantillonnées ; le nombre total d'individus mesurés est donné entre parenthèses.

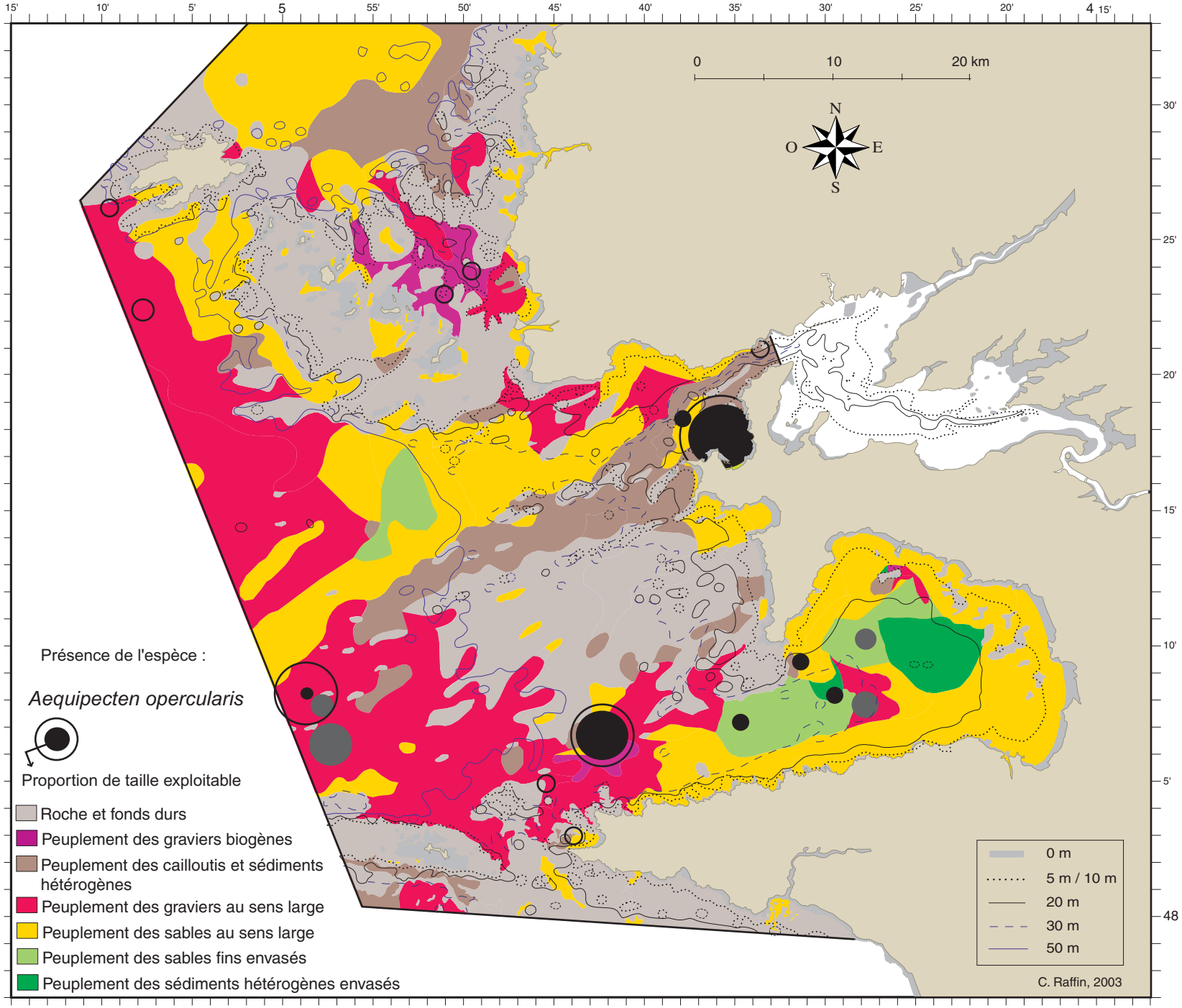


Figure IV-32 : Répartition des pétoncles blancs (*Aequipecten opercularis*) récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-5-2-3- Les amandes de mer

Les amandes de mer (*Glycymeris glycymeris*) sont une richesse très commune en mer d'Iroise. La répartition de cette espèce couvre l'ensemble de la zone d'étude, excepté la partie la plus au nord (figure IV-33) : c'est le bivalve le plus fréquemment rencontré au cours de cette étude, tout comme il l'avait été dans l'étude des peuplements des parages de Sein faite par (Hinschberger *et al.*, 1967) en 1967. Les *Glycymeris* sont présentes à des profondeurs très variées (de moins de 10 à plus de 80 mètres). Les plus fortes densités ont été rencontrées dans les anses des Blancs Sablons, de Berthaume et de Camaret, à l'entrée de la baie de Douarnenez (Saint-Nicolas), ainsi qu'au nord de la pointe du Raz et de l'île de Sein. Les populations de *Glycymeris* forment, aux Blancs Sablons, des couches très denses, allant jusqu'à 131 individus par benne Hamon, soit une densité estimée supérieure à 520 individus par mètre carré. Elles occupent principalement les graviers hétérogènes du large de la zone et les parties les moins abritées des anses. Cependant, les courants dans ces zones n'atteignent pas les valeurs extrêmes enregistrées dans les parages de Sein, où Hinschberger *et al.* (1967) la localisait préférentiellement dans la région la plus stable des bancs de sables, sur les pentes abritées des courants dominants.

L'analyse des classes de taille des individus pêchés montre l'existence de deux lots : des "jeunes" dont la taille est inférieure à 35 mm, et des "adultes", avec des tailles allant jusqu'à 77 mm (figure IV-34). Ces deux populations sont le plus souvent présentes en mélange ; avec une prédominance des adultes, observation qui peut être due aux engins utilisés, en particulier la drague dont le maillage est supérieur à 35 mm.

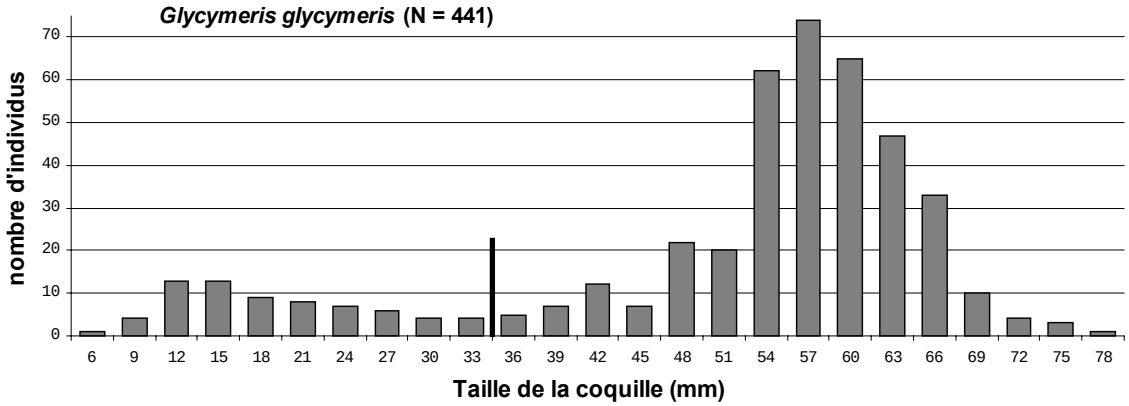


Figure IV-34 : Fréquences des classes de taille (plus grande longueur en mm) pour les *Glycymeris glycymeris* échantillonnées ; le nombre total d'individus mesurés est donné entre parenthèses. Le trait noir représente la limite entre les deux catégories de taille retenues.

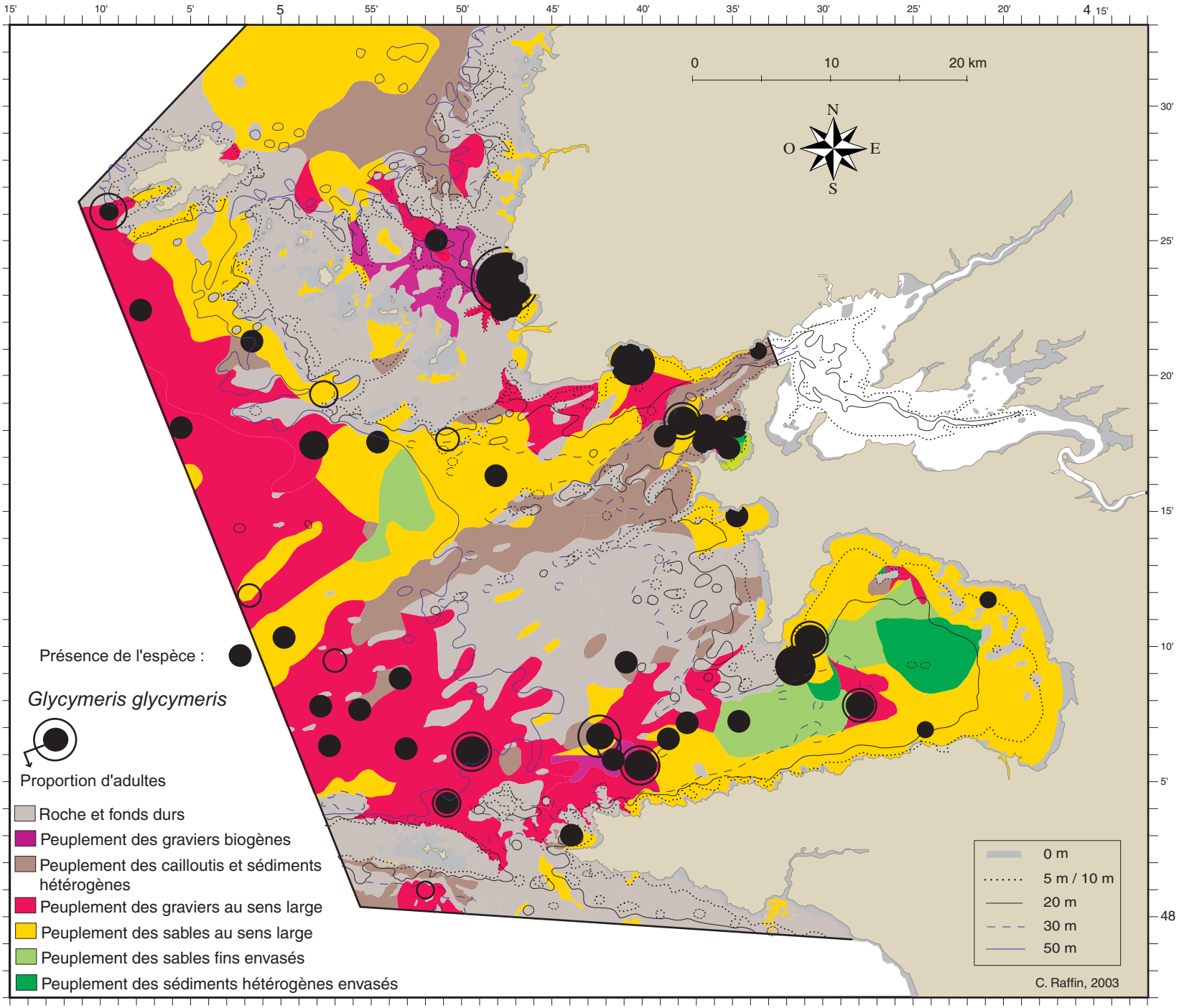


Figure IV-33 : Répartition des amandes de mer (*Glycymeris glycymeris*) récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-5-2-4- Les crabes

La répartition des tourteaux et des araignées (*Cancer pagurus* et *Maja squinado*) capturés a également pu être observée. Les deux espèces résident sur l'ensemble de la zone (figure IV-35), mais semblent marquer une préférence pour les alentours des plateaux rocheux (archipel de Molène, île d'Ouessant, Sein, plateau central). Les tourteaux capturés se trouvaient presque tous sur des fonds de graviers et de cailloutis hétérogènes, tandis que les araignées occupaient aussi les sables hétérogènes. Des individus ont été récoltés à des profondeurs dépassant 80 mètres au large de la mer d'Iroise.

Cependant, les résultats de l'échantillonnage ne reflètent pas forcément les lieux de vie de ces crustacés vagiles épigés, quelle que soit la méthode utilisée : la localisation de ces espèces prédatrices très mobiles est effectivement plus liée à leur comportement alimentaire qu'à la nature des sédiments ; de plus, les prélèvements ont été effectués à des saisons différentes selon les zones.

Tous les tourteaux avaient une taille marchande, soit plus de 90 mm de largeur de carapace ; le sex-ratio était de 9 femelles pour 7 mâles. Par contre, 20 % des araignées n'atteignaient pas la taille marchande de 120 mm ; le sex-ratio était également équilibré : 15 femelles pour 19 mâles. Les jeunes araignées étaient séparées des adultes dans la plupart de nos captures mais la taille des échantillons est insuffisante pour analyser séparément les valeurs pour différentes saisons. Cependant, sachant que les araignées effectuent des migrations pour se rapprocher des côtes au moment de la reproduction (au printemps), puis vers le large à la fin de l'été, après la mue terminale des jeunes qui ont grandi dans des zones de nourricerie côtières, nos observations semblent concerner les deux types d'habitat de l'espèce : les nourriceries et les zones d'hivernage supérieures à cinquante mètres.

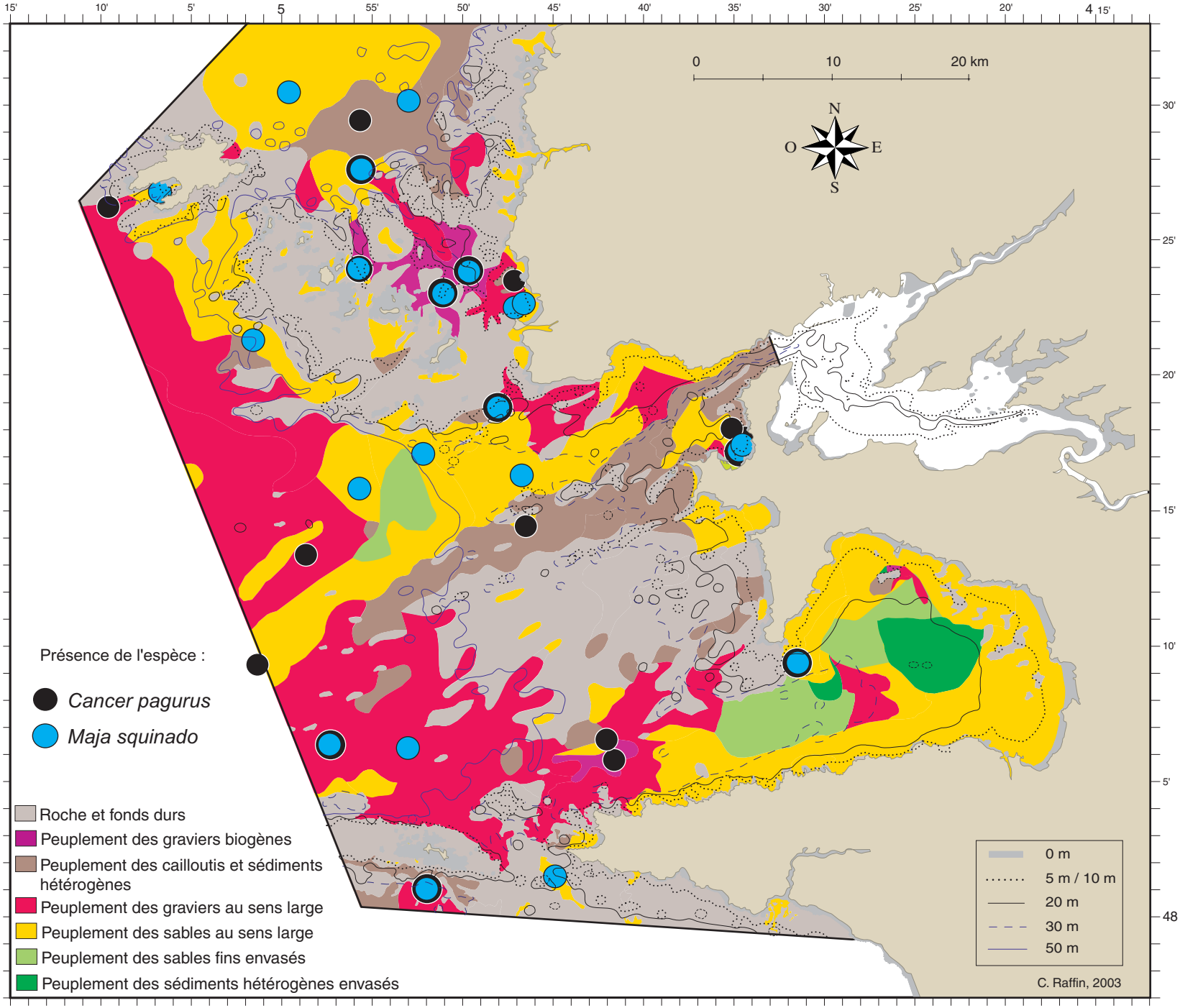


Figure IV-35 : Répartition des tourteaux (*Cancer pagurus*) et des araignées (*Maja squinado*) récoltés par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-5-2-5- Les étoiles prédatrices et super prédatrices

L'abondance des deux étoiles carnivores ubiquistes *Asterias rubens* et *Marthasterias glacialis* a permis de préciser la répartition de ces deux espèces en mer d'Iroise (figures IV-36 et IV-37). Leurs populations avaient déjà été suivies dans la baie de Douarnenez où elles sont connues pour former des agrégats originaux dans le centre de la baie (Guillou, 1985, 1996), qui abrite les plus grandes densités de ces Asteridae répertoriées le long des côtes atlantiques de France. Ces espèces étant plus sensibles aux proies hébergées dans les sédiments qu'à leur granulométrie, les répartitions obtenues d'après les échantillonnages représentent les lieux qu'elles fréquentent au cours de leur recherche alimentaire qui constitue leur activité principale (Guillou, 1985).

Marthasterias glacialis est l'espèce la plus fréquemment rencontrée au cours de cette étude ; le nombre total d'individus pêchés est supérieur pour cette espèce à celui des *Asterias* (592 et 330 respectivement) et elle est rencontrée dans deux fois plus de stations. Les zones côtières abritées, comme le centre-nord de la baie de Douarnenez et l'anse de Camaret sont particulièrement colonisées par ces deux espèces qui y montrent sensiblement la même répartition, contrairement à ce que remarquait Guillou (1985) dans la baie de Douarnenez, à savoir une dominance des *Asterias* dans les sables fins envasés et une dominance des *Marthasterias* dans les sédiments hétérogènes envasés. Elles sont assez peu mélangées dans les autres sites occupés, comme l'anse des Blancs Sablons et la quasi totalité des sédiments meubles de la zone pour *Marthasterias* et les sables fins et envasés des Pierres Noires ainsi que quelques stations de graviers pour *Asterias*, ce qui tend à confirmer le caractère original des agrégats d'étoiles de la baie de Douarnenez décrits par Guillou (1985, 1996).

La saisonnalité est un paramètre important dans l'abondance des stocks d'étoiles de mer, cependant les différences de dates de nos prélèvements n'empêchent en rien la comparaison des deux espèces dans la même station. Les plus grandes densités de *Marthasterias* sont observées dans les anses des Blancs Sablons, de Camaret et dans la baie des Trépassés, avec des densités à peu près équivalentes de 1,4 à 1,1 tous les dix mètres. La zone la plus densément peuplée en *Asterias* est plutôt le centre-nord de la baie de Douarnenez, avec environ une étoile tous les dix mètres (48 pour 490 mètres). Toulemont avait signalé en 1972 la fréquence des *Marthasterias* dans le nord de la baie de Douarnenez, sur les substrats durs ou grossiers, alors que l'espèce est très peu abondante plus au sud, jusque dans la baie

d'Audierne. Dans nos prélèvements, ces étoiles occupent effectivement le plus souvent les sédiments les plus grossiers, cailloutis et graviers hétérogènes, mais sont également présentes sur des sables hétérogènes et des sédiments envasés comme dans la baie de Douarnenez. Les *Asterias* sont par contre beaucoup plus rarement rencontrées sur des sédiments grossiers, préférant les sables hétérogènes et fins envasés.

D'autre part, la répartition des *Marthasterias* est nettement plus étendue vers les zones profondes, à l'ouest de la zone, au contraire des *Asterias* qui semblent rester plus côtières. Une autre différence est l'occupation par *Marthasterias* de la bordure des plateaux rocheux au nord et au sud de la zone : on la rencontre en effet autour du plateau de Molène, jusque dans les stations les plus au nord, ainsi qu'autour de celui de Sein. Cette espèce est la plus grande et la mieux adaptée à l'environnement subtidal, c'est également le carnivore primaire dominant quand la nourriture est peu abondante (Guillou, 1996).

Ces deux Asteridae adoptent un comportement alimentaire opportuniste en privilégiant les populations denses de mollusques épigés ne nécessitant pas un gros effort de capture, comme les moulières, les bancs de pétoncles, de coquilles S^{t}-Jacques, de crépidules (Guillou, 1996). Or, les fonds de sédiments fins sont relativement peu riches en épifaune par rapport à des sédiments plus grossiers et les bivalves, lorsqu'ils sont abondants, sont de petite taille et plutôt endogés, donc moins accessibles aux prédateurs.

Des mesures ont été effectuées sur une partie des *Marthasterias* (262 animaux) et toutes les *Asterias*, la taille étant donnée par la distance entre le centre et l'extrémité d'un des bras. Cependant, il est délicat de tenter de repérer des cohortes à partir des histogrammes de fréquences de classes de taille pour l'ensemble des échantillons : les étoiles de mer sont en effet un groupe où la vitesse de croissance est très variable selon les zones et dépendrait apparemment de la disponibilité et/ou de la qualité de la nourriture (Guillou et Guillaumin, 1984). Les individus les plus petits pour les deux espèces peuvent cependant être considérés comme les plus jeunes ; des coupures marquées dans les histogrammes de fréquences de tailles peuvent alors indiquer la taille limite des jeunes. Pour les *Marthasterias*, il s'agirait des individus de moins de 52 mm (figure IV-38a). Pour les *Asterias*, cette limite de taille semble être 24 mm (figure IV-38b).

Peu de jeunes ont été récoltés, leur localisation n'est donc pas forcément représentative de l'ensemble des populations d'étoiles, mais elle semble tout de même privilégier les zones à proximité de côtes rocheuses relativement abritées, comme les anses des Blancs Sablons, de Camaret et surtout le nord de la baie de Douarnenez. Cette situation favorise en effet

l'installation des larves, contrairement aux plages de sables fins exposées à la houle (Guillou, 1983). Les jeunes se situent majoritairement dans les zones peu profondes, tandis que les adultes peuvent effectuer des migrations les entraînant jusqu'à assez loin au large.

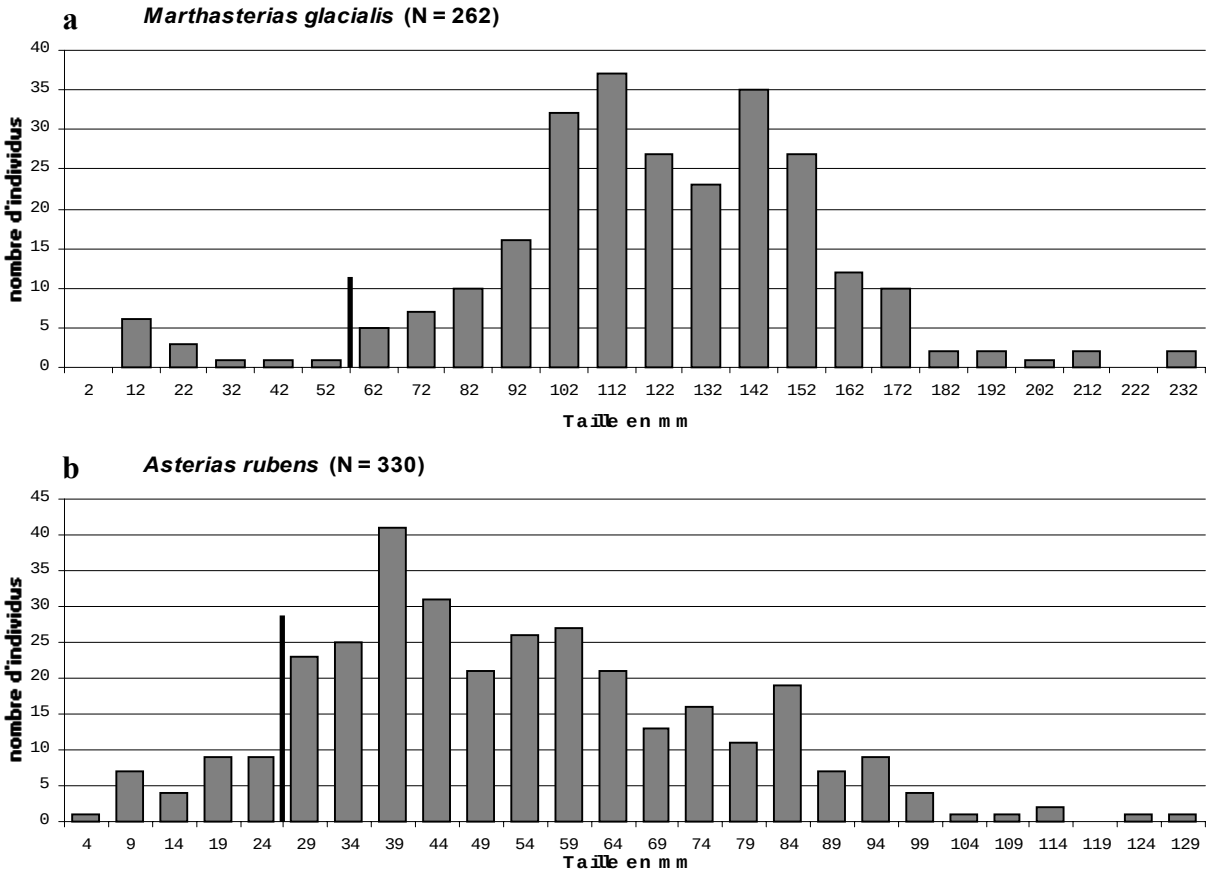


Figure IV-38 : Fréquences des classes de taille pour les *Marthasterias glacialis* (a) et les *Asterias rubens* (b) échantillonnées en mer d'Iroise. Le trait noir représente la limite entre les jeunes et les adultes.

Asterias rubens et *Marthasterias glacialis* sont donc toujours les Asteridae qui représentent les plus fortes biomasses de la baie de Douarnenez. Ces grandes concentrations, sur des fonds apparemment moins propices que les grands bancs de mollusques telles que les zones à crépidules de la baie de Quiberon et de la rade de Brest, s'expliquent par des conditions très particulières qui ont facilité leur prolifération et ralentissent maintenant leur régression. Les étoiles peuvent en effet adapter leur stratégie de développement selon la

quantité de nourriture disponible : si les conditions alimentaires sont favorables et en l'absence d'un prédateur, elles peuvent envahir un secteur relativement abrité, grâce également à leur capacité de prolifération (potentiel reproductif élevé, régénération, migration…). Mais, lorsque la source de nourriture s'épuise, elles entrent en phase végétative (plus de reproduction, croissance ralentie) et peuvent même migrer vers des secteurs plus favorables plutôt que disparaître. Les caractéristiques de la baie de Douarnenez, avec sa situation abritée, ses courants giratoires favorisant le cantonnement des larves en évitant leur dissémination et la présence d'un front thermique annuel limitant encore la dispersion des larves en été, l'ont rendue très favorable à l'établissement d'une biomasse importante à une époque où d'abondantes populations de mollusques épigés occupaient les sédiments hétérogènes envasés du centre de la baie (pétoncles, coquilles S^{t}-Jacques). Il est probable qu'elles s'y maintiendront tant que la disponibilité en nourriture sera suffisante ou qu'un prédateur n'épuisera pas le stock.

Les deux espèces de *Luidia* sont connues pour se nourrir d'échinodermes : les ophiures et les Asteridae font partie de leur régime alimentaire. (Guillou, 1996). *L. sarsi* a une taille moyenne, atteignant quinze centimètres, elle s'enfouit dans les sédiments mous mais fréquente aussi parfois les sols plus durs. *L. ciliaris* est une étoile beaucoup plus grosse (jusqu'à trente centimètres), reconnaissable à ses sept bras, qu'on trouve à la surface des sols sableux mais parfois aussi à moitié enfouie dans le sable. Cette espèce est très mobile et peut se déplacer avec une grande rapidité (trois mètres par minute, Holme, 1984).

La carte localisant les individus pêchés montre que ces espèces ne semblent pas très côtières et chassent préférentiellement sur des zones de sables hétérogènes, dans des zones où elles trouvent à proximité à la fois des concentrations d'étoiles et des ophiures, oursins et bivalves dont elles se nourrissent également (Jangoux, 1982). La mer d'Iroise comporte donc des zones pouvant subvenir aux besoins alimentaires de ces superprédateurs qui occupent le niveau de carnivores secondaires dans la chaîne alimentaire (figure IV-39).

Toutefois, il est probable que nos moyens d'échantillonnage atteignent leur limite d'efficacité avec ces espèces de taille déjà considérable. Le fait que *L. ciliaris* reste en surface et s'enfouisse plus rarement que *L. sarsi* augmente toutefois les chances de détecter sa présence (Holme, 1984). Cela pourrait expliquer en partie le déséquilibre entre le nombre de *L. ciliaris* et de *L. sarsi* pêchées (17 contre 1 respectivement). Cette différence de densités

dans la zone de la baie de Douarnenez avait d'ailleurs déjà été constatée par Guillou (comm. pers.) lors de nombreux dragages effectués, avec un rapport de dix contre une observé fréquemment.

Quatre autres espèces d'étoiles ont également été pêchées, dont deux sont beaucoup moins fréquentes dans les prélèvements (figure IV-40). *Astropecten irregularis* est bien répartie dans la baie de Douarnenez, qui s'impose comme une zone très diversifiée en Asteridae et en Échinodermes en général. *A. irregularis* se répartit sur des fonds de sables fins, comme en baie de Douarnenez ou sur la langue sableuse joignant la sortie du goulet aux Pierres Noires, jusqu'au large, au-delà de 80 mètres. Cette espèce a également été rencontrée sur deux stations de sables fins biogènes, au large de la zone. Cette répartition inféodée aux sédiments fins est en accord avec les préférences de l'espèce données par Guillou (1996).

Henricia sanguinolenta semble montrer une présence marginale en mer d'Iroise, l'espèce n'a été observée qu'en deux occasions. *Anseropoda placenta* n'a été observée que dans la zone de Camaret, en zone très côtière. Cette espèce est inféodée aux milieux rocheux ou de fonds durs très peu profonds, ce qui explique sa rareté dans nos prélèvements. Enfin, trois individus de l'espèce *Stichastrella rosea*, dont la présence en mer d'Iroise n'avait pas encore été signalée à notre connaissance, ont été observés au nord-est d'Ouessant, sur un peuplement de cailloutis hétérogènes à plus de 70 mètres.

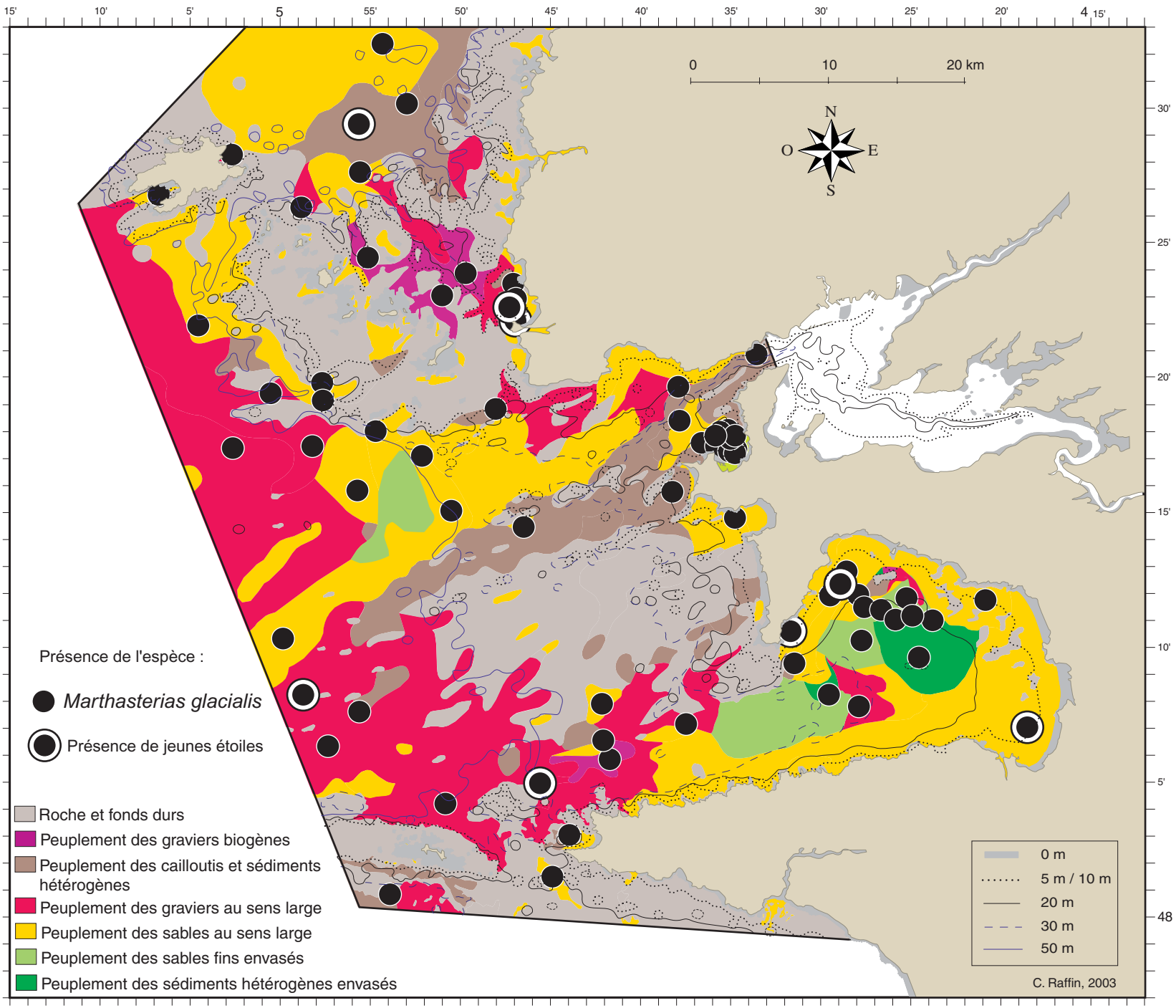


Figure IV-36 : Répartition des étoiles *Marthasterias glacialis* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

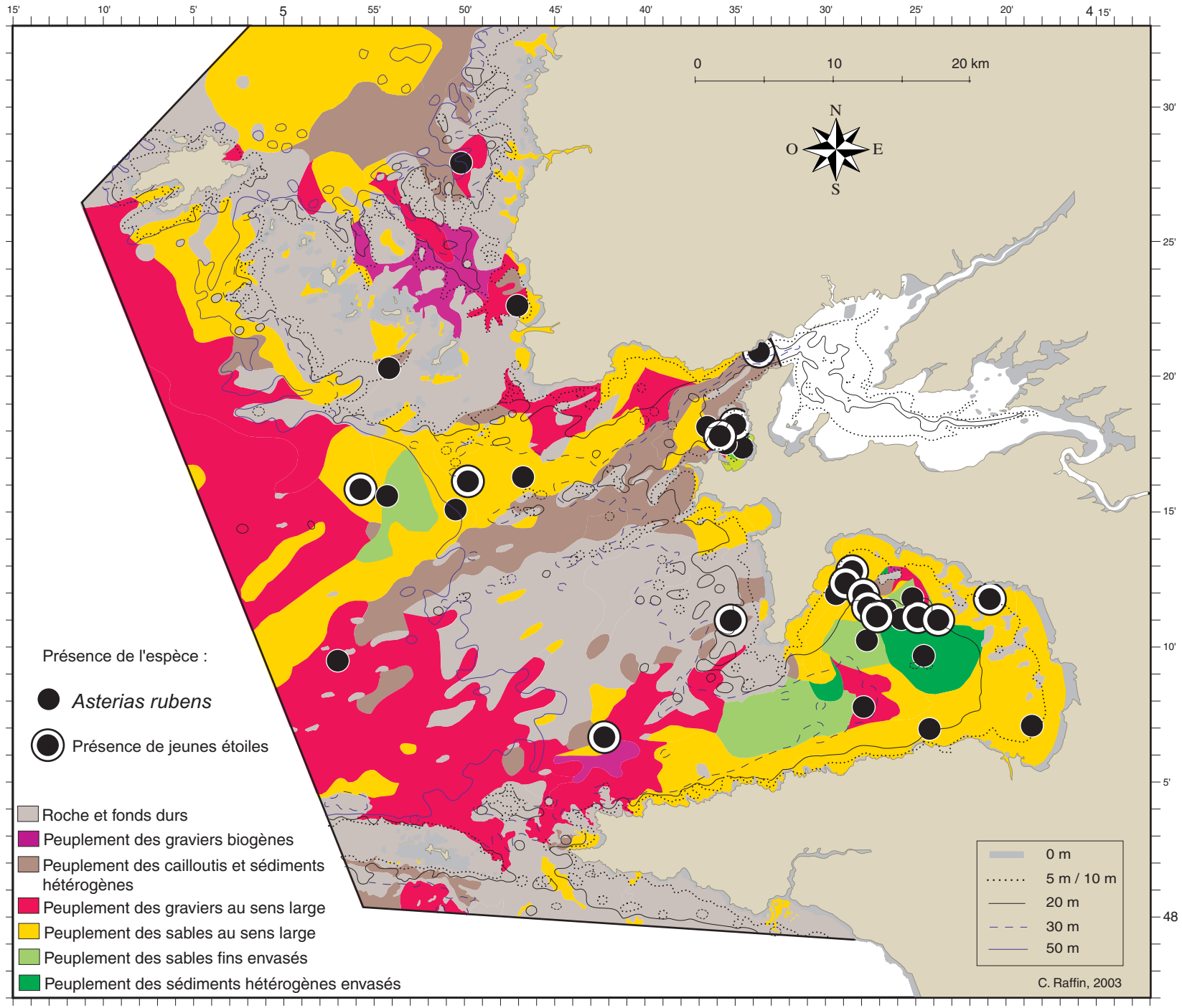


Figure IV-37 : Répartition des étoiles *Asterias rubens* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

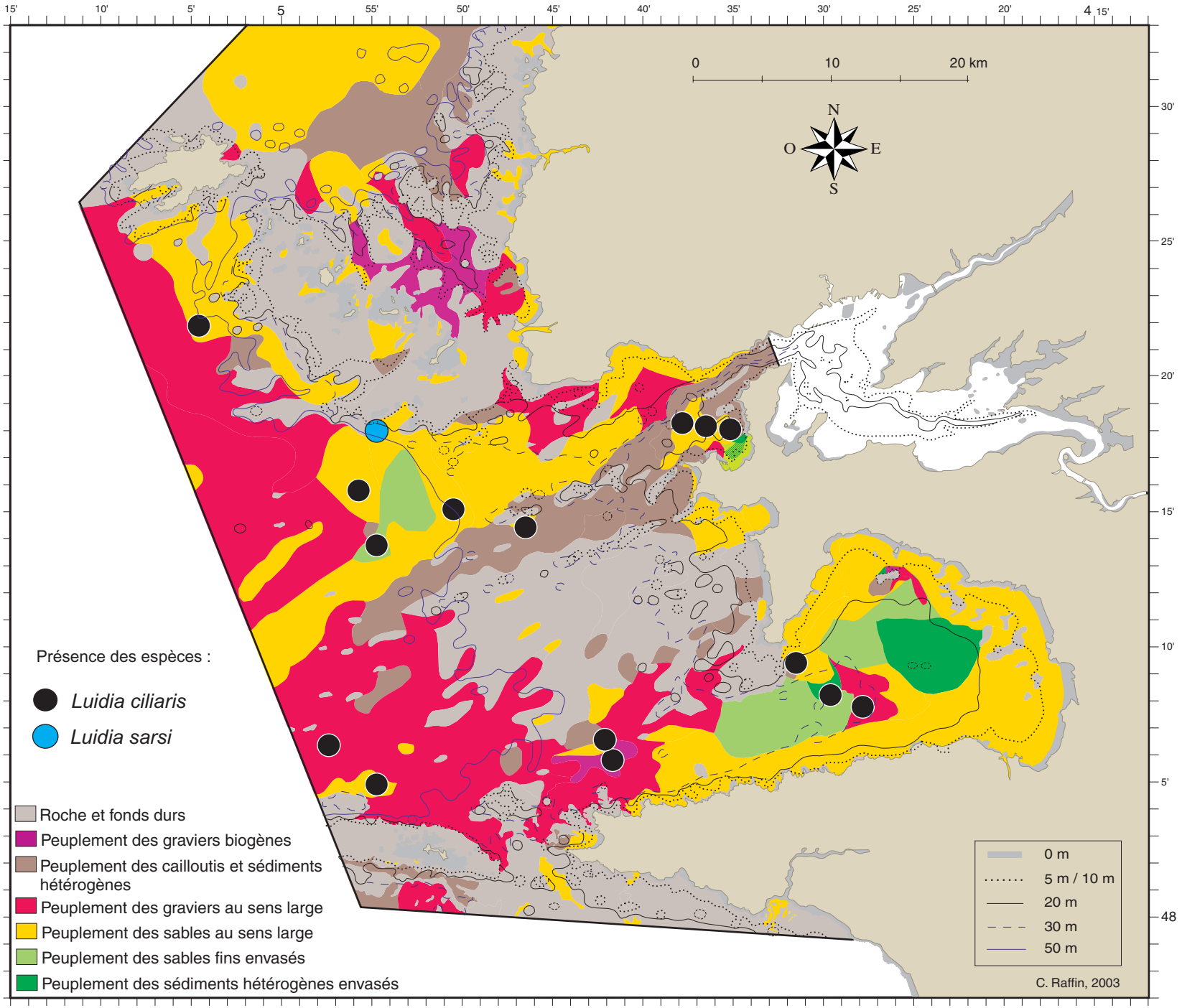


Figure IV-39 : Répartition des étoiles *Luidia ciliaris* et *L. sarsi* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

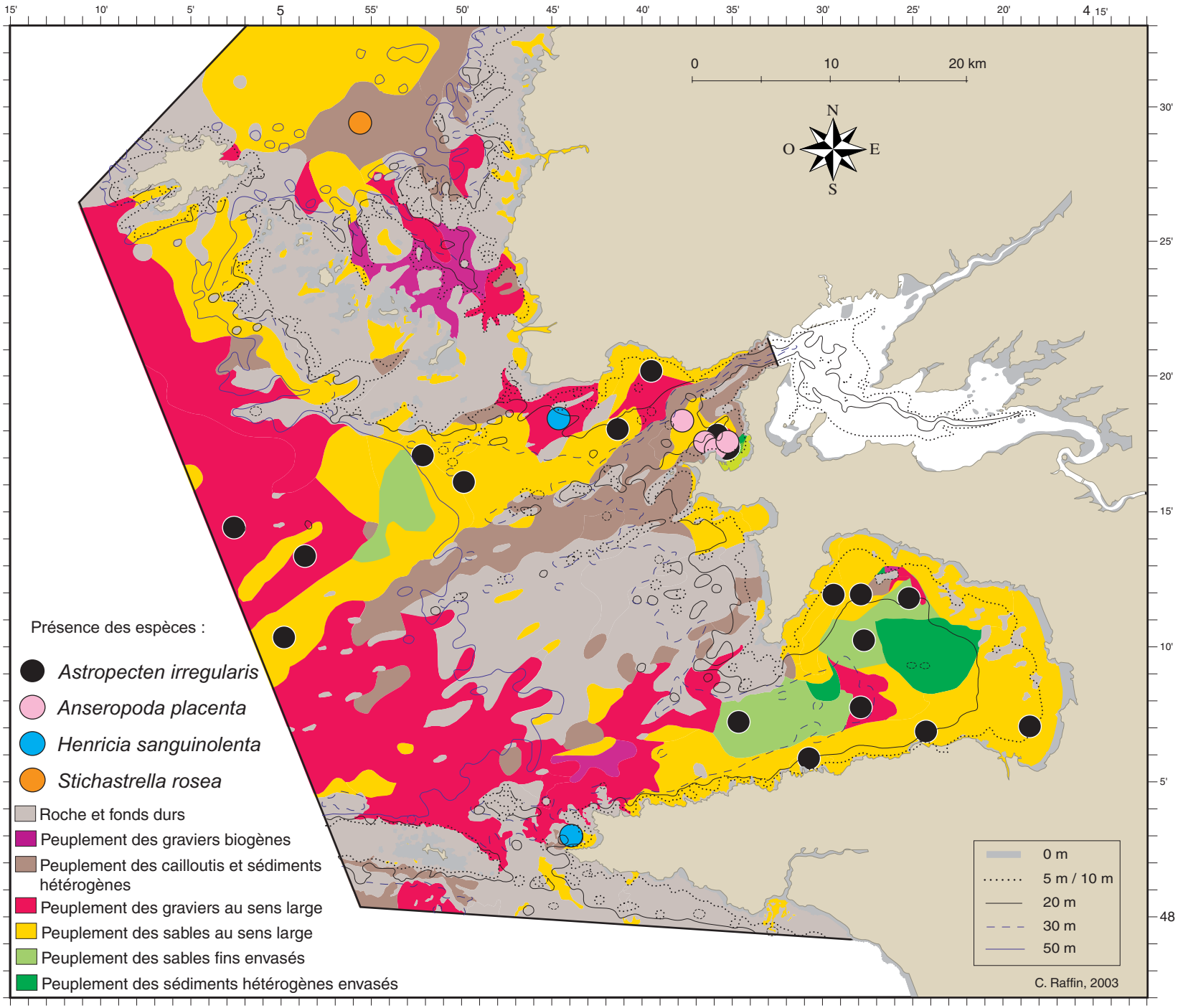


Figure IV-40 : Répartition des étoiles *Astropecten irregularis*, *Anseropoda placenta*, *Henricia sanguinolenta* et *Stichastrella rosea* récoltées en Iroise.

IV-5-2-6- Une espèce introduite : la crépidule

La répartition du gastéropode *Crepidula fornicata*, qui a très largement colonisé les côtes atlantiques européennes, a pu être précisée pour la mer d'Iroise. Celle-ci mérite d'être surveillée de près en raison des exceptionnelles facilités d'adaptation de l'espèce, pouvant mener à une véritable invasion biologique dans les milieux qu'elle colonise. La rade de Brest, en contact avec la mer d'Iroise, a vu "débarquer" cette espèce d'Amérique dans le milieu des années 1940, les causes de cette introduction étant toujours actuellement matière à discussion. Elle a proliféré et a envahi progressivement les chenaux et les banquettes adjacentes, jusqu'à occuper une surface équivalente à la moitié des 150 km² de la rade (Chauvaud, 1998). Sa grande efficacité de colonisation est en partie due à l'absence d'un prédateur efficace et à un mode de reproduction très particulier. De plus, les individus sont empilés les uns sur les autres à partir d'un congénère, pouvant lui-même être fixé à un support ou rester libre : la présence de quelques individus pionniers permet donc l'installation de dizaines d'autres puisque la présence de chaînes secondaires partant de la chaîne principale n'est pas rare. Cette particularité donne à la population de crépidules un avantage considérable dans la compétition pour l'espace que se livrent toutes les espèces fixées ou nécessitant une place dans le sédiment meuble.

Or, ce suspensivore rejette des fécès qui provoquent l'envasement des sédiments sur lesquels il est installé, entraînant pour de fortes densités une modification des peuplements qui doivent s'adapter à ces nouvelles conditions environnementales très enrichies en matière organique. Les crépidules peuvent ainsi former de véritables tapis denses épais de plusieurs dizaines de centimètres, dont les interstices sont occupés par de la vase très riche en matière organique.

Sa prolifération étant néfaste au maintien des populations de coquilles S^{t}-Jacques, une des richesses de la rade, la crépidule est devenue un modèle biologique dont on étudie les caractéristiques de reproduction, la structure des populations et l'effet de la prolifération sur les peuplements benthiques locaux, dans le but de maîtriser sa prolifération afin de sauvegarder la pêcherie locale de *Pecten maximus*.

En Iroise, l'espèce est présente à l'entrée du goulet de Brest, au centre de la baie de Douarnenez, dans l'alignement de l'entrée de la baie jusqu'au large et dans la baie des Trépassés (figure IV-41). Elle occupe également très largement la partie sud de l'anse de

Camaret. Un individu a même été pêché au nord de l'île de Sein, à une profondeur de 80 mètres environ, ce qui semble très profond pour cette espèce.

Cependant, les densités observées restent très faibles, avec au maximum cinq individus par trait de drague de plus de 100 mètres, sauf à la station n° 46, juste à la sortie du goulet de Brest, où la densité estimée atteint une quarantaine d'individus par mètre carré. Ces valeurs restent très minimes comparées aux densités dépassant les 2 000 individus par mètre carré constatées dans les strates à crépidules de la rade (Guérin, com. pers.).

Les individus pêchés étaient tous assez jeunes d'après leur taille : 4,5 à 35 mm seulement, pour une espèce dont la taille maximale est de 60 mm environ (figure IV-42).

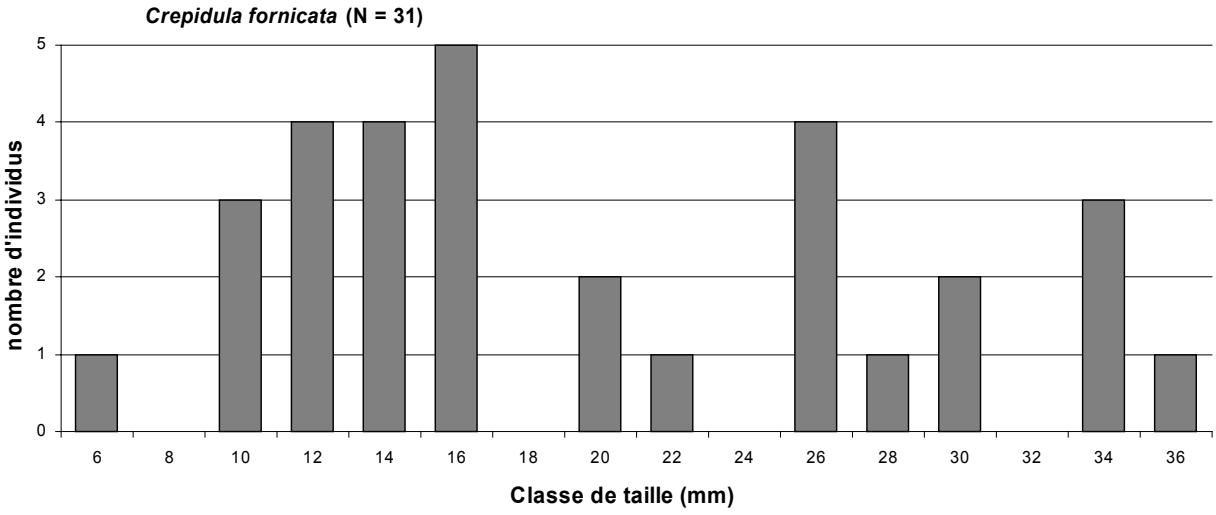


Figure IV-42 : Fréquences des classes de taille pour les crépidules (*Crepidula fornicata*) échantillonnées en mer d'Iroise.

La présence des crépidules en mer d'Iroise a donc été confirmée lors de ces échantillonnages. Cela ne constitue pas une surprise dans les zones très proches de la rade de Brest et côtières, l'espèce ayant tendance à proliférer dans des zones peu profondes. Les observations faites au large, plus inattendues, impliquent toutefois une nécessité de surveillance de l'espèce, afin de suivre l'éventuelle étendue de sa progression au large et d'éviter en particulier qu'elle n'atteigne l'archipel de Molène, dont les fonds peu profonds sont riches en espèces qui pourraient souffrir de cette intrusion.

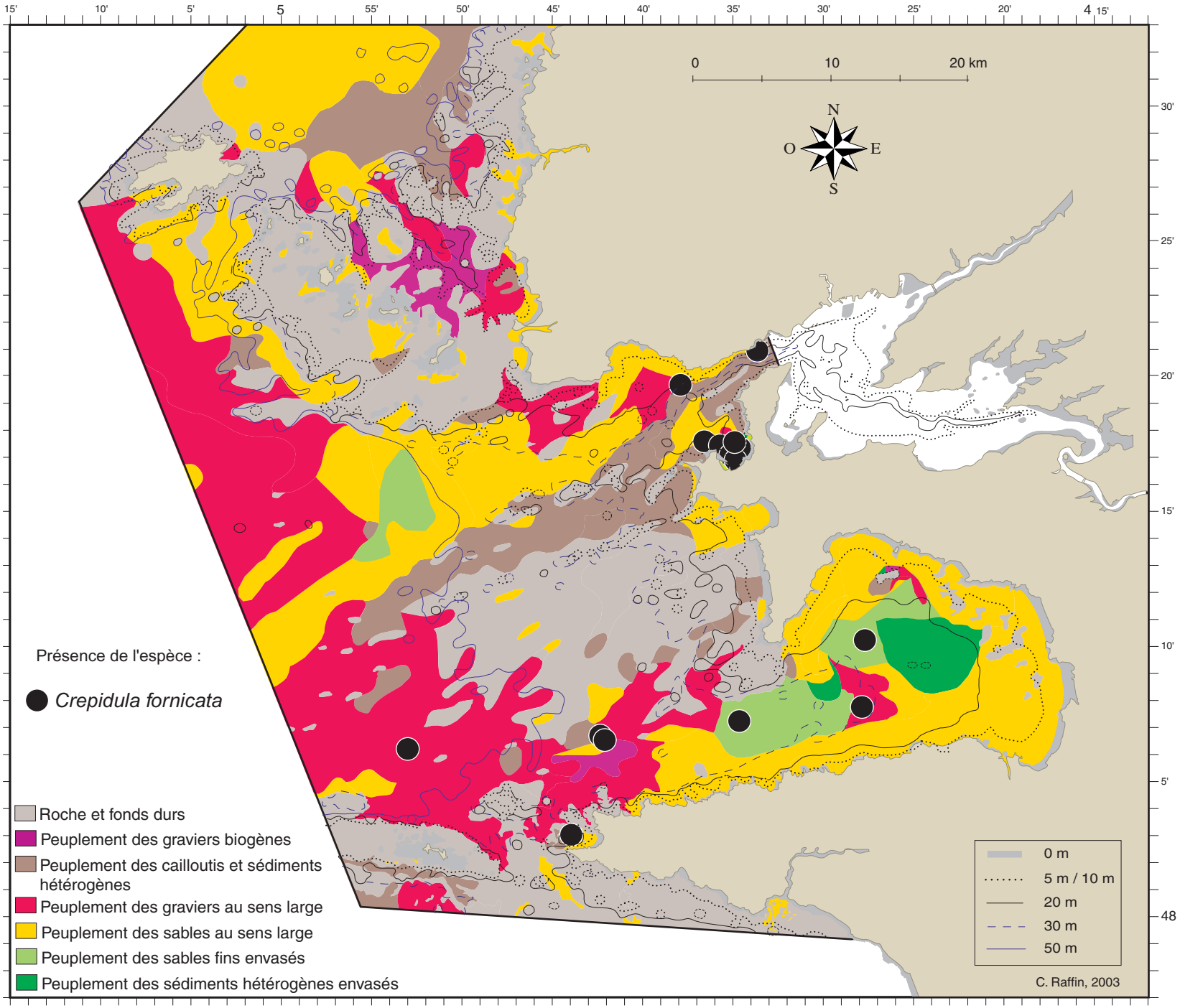


Figure IV-41 : Répartition des crépidules *Crepidula fornicata* récoltées en mer d'Iroise.

IV-5-2-7- Les ophiures

Le groupe des ophiures est apparu bien diversifié (sept espèces) en mer d'Iroise. La répartition des quatre espèces les plus couramment rencontrées a été cartographiée sur les figures IV-43 et IV-44.

Les deux petites ophiures *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* occupent une place particulière dans les habitats de la mer d'Iroise. Elles sont très largement représentées et sont même à l'origine de la différenciation de faciès à ophiures dans les trois peuplements de sédiments hétérogènes. Les deux espèces sont présentes ensemble dans le nord, le centre et l'entrée de la baie de Douarnenez, dans les anses de Camaret et des Blancs Sablons, entre les chenaux du Four et de la Helle, au sud des Pierres Noires et au nord de la pointe du Raz. La répartition d'*O. fragilis* est plus étendue, couvrant l'ensemble des sédiments les plus grossiers de la zone hormis le sud de la Chaussée de Sein et la zone centrale du large. On la trouve jusqu'à des profondeurs supérieures à 90 mètres. Toulemont signalait pour cette ophiure deux noyaux de grande densité en baie de Douarnenez, sur le maërl envasé (nord) et sur les sédiments grossiers de l'entrée de la baie. Cabioch observait que l'espèce est présente jusqu'à environ 100 mètres mais qu'elle ne forme de fortes densités (plusieurs centaines d'individus par mètre carré) que par moins de 85 mètres, sur des fonds plats balayés de forts courants assurant un important transport de particules. *O. nigra* est observée fréquemment et parfois même en fortes densités jusqu'à 30 mètres, mais elle semble assez rare jusqu'à 70 mètres et absente au-delà. Elle se trouve en mélange avec *O. fragilis* dans la plupart des stations.

Les répartitions des *Amphiura* sont assez différentes. La plus courante est *A. brachiata*, très présente en baie de Douarnenez (nord, sud et entrée), dans les anses de Camaret et des Blancs Sablons, ainsi qu'au nord et à l'est des Pierres Noires et dans les sédiments grossiers du nord de la zone. Ces fonds sont préférentiellement des sables fins propres. La répartition d'*A. filiformis* est plus restreinte sur la zone puisqu'elle n'occupe que des fonds de sédiments fins envasés de profondeur supérieure à 25-30 mètres. Elle est donc présente au centre de la baie de Douarnenez et dans et aux alentours de la tache de sables fins envasés des Pierres Noires. Ces préférences sédimentaires correspondent bien à celles observées par Glémarec (1969) avec des "sables envasés à *A. filiformis*". *A. brachiata* y était par contre décrite comme une espèce de sédiments sales ou vaseux, alors qu'elle a été trouvée sur des sédiments sableux hétérogènes propres en Iroise.

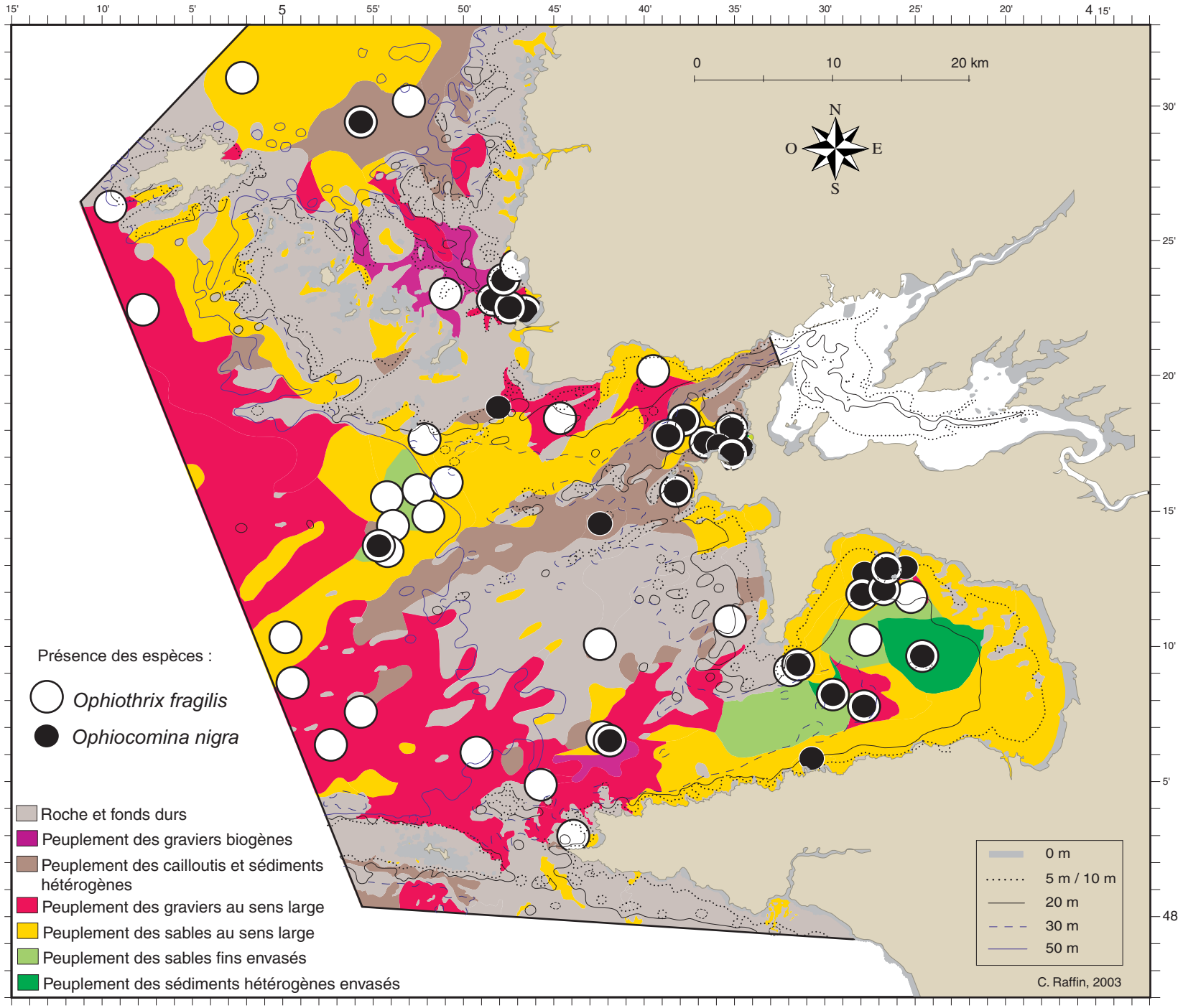


Figure IV-43 : Répartition des ophiures *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

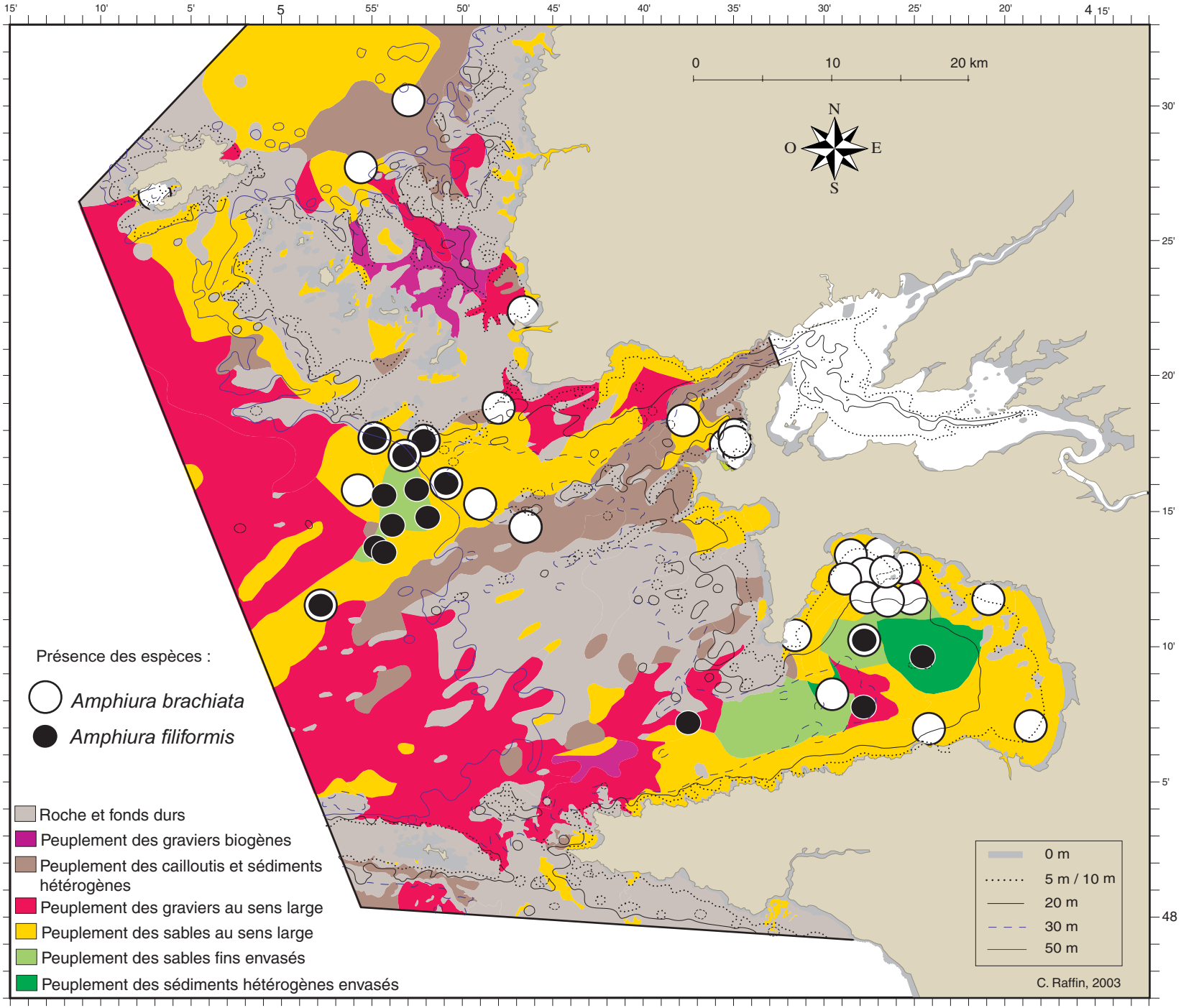


Figure IV-44 : Répartition des ophiures *Amphiura brachiata* et *Amphiura filiformis* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-5-2-8- L'amphioxus *Branchiostoma lanceolatum*

La répartition des amphioxus privilégie très nettement les cailloutis hétérogènes, dont ils forment un faciès du peuplement et surtout les graviers hétérogènes, où ils sont une espèce *leader* du peuplement. Les quelques stations où ils ont été observés sur des sables hétérogènes sont toutes situées sur des sables grossiers (figure IV-45). Ils occupent donc toujours des sédiments grossiers et semblent préférer en Iroise les graviers hétérogènes comportant une grande proportion de graviers. Cette répartition est en accord avec les observations de Toulemont (1972), qui arrivait à la conclusion qu'une espèce s'adapte au spectre granulométrique d'une région en colonisant le type sédimentaire le plus proche de son milieu préférentiel. Dans ses analyses, *B. lanceolatum* occupait toujours le sable le plus grossier de la gamme granulométrique existant dans la zone. Ces préférences seraient liées aux propriétés de l'eau circulant entre les particules du sédiment, ce qui n'est possible que si les interstices ne sont pas colmatés par des sédiments fins.

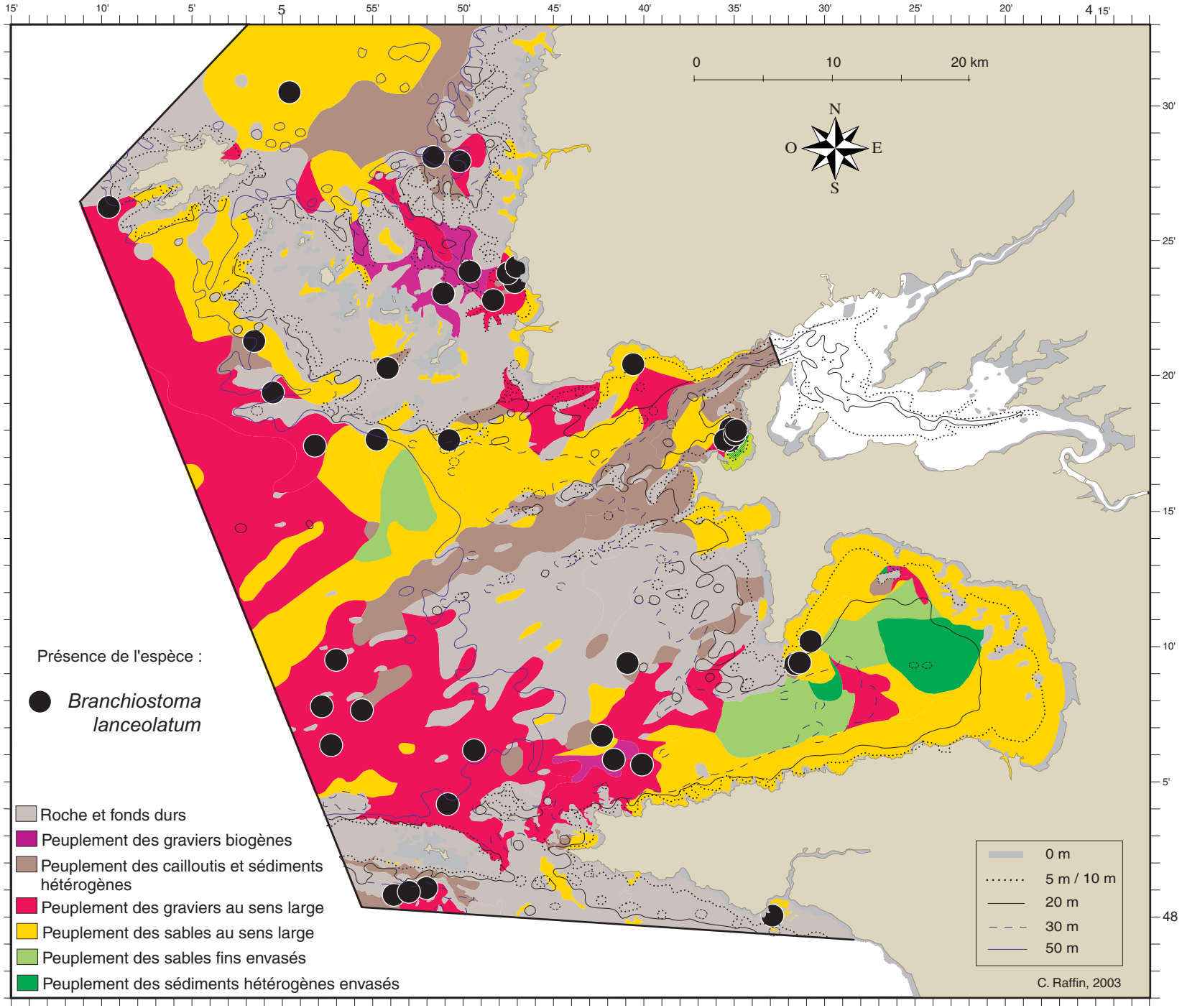


Figure IV-45 : Répartition des Amphioxus *Branchiostoma lanceolatum* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-5-2-9- Autres espèces de bivalves remarquables

Les répartitions de dix autres bivalves ayant un rôle important dans la définition des peuplements observés en Iroise ont également été cartographiées. Il s'agit de *Tapes rhomboides* (figure IV-46), *Clausinella fasciata*, *Circomphalus casina* et *Chamelea gallina* (figure IV-47), *Dosinia exoleta*, *D. lupinus* et *Goodalia triangularis* (figure IV-48) et des trois espèces d'*Abra* (figure IV-49).

On trouve les palourdes roses (*T. rhomboides*) principalement sur les sables et les graviers hétérogènes, des zones très côtières comme l'anse de Camaret ou celle des Blancs Sablons jusqu'à plus de quatre-vingts mètres. Leur répartition n'est cependant pas homogène sur la zone puisqu'elles se situent surtout dans les deux anses citées ainsi qu'autour de la pointe du Raz.

C. fasciata est une espèce très répandue dans tous les graviers hétérogènes et à toutes les profondeurs. Cette aire de répartition est partagée avec *C. casina*, qui occupe en plus les sables hétérogènes de la baie de Douarnenez, des Pierres Noires, des anses de Camaret et des Blancs Sablons et du nord de la zone. *C. gallina* a une aire de répartition beaucoup plus restreinte, on la trouve principalement dans les sables hétérogènes côtiers des deux anses citées, de la baie de Douarnenez et quelques individus ont également été pêchés aux Pierres Noires, à plus de cinquante mètres.

D. exoleta est très répandue dans des sédiments très variés jusqu'à soixante à soixante-dix mètres, surtout aux Pierres Noires et au sud de la zone, mais semble plus rare dans les graviers hétérogènes du centre de notre zone, peut-être trop profonds. *D. lupinus* est beaucoup plus côtière et occupe surtout les sables hétérogènes dans les zones abritées (anses de Camaret et des Blancs Sablons, nord de la baie de Douarnenez) et près des îles de l'archipel de Molène. *G. triangularis* occupe les sables et graviers hétérogènes, essentiellement à la sortie de la baie de Douarnenez, au sud-ouest du plateau de Molène et dans l'anse des Blancs Sablons. Elle accompagne souvent des transitions entre différents habitats.

Abra prismatica et *A. alba* sont les plus fréquemment rencontrées, notamment aux Pierres Noires où l'aire de répartition d'*A. prismatica* s'étire jusqu'au large de la zone, le long de la langue de sables traversant les graviers hétérogènes, tandis que celle d'*A. alba* remonte le long du plateau de Molène et est présente autour de l'île d'Ouessant. *A. nitida* a une répartition nettement plus clairsemée, mais sur une grande diversité d'habitats (SHV, SH, GRH, CH).

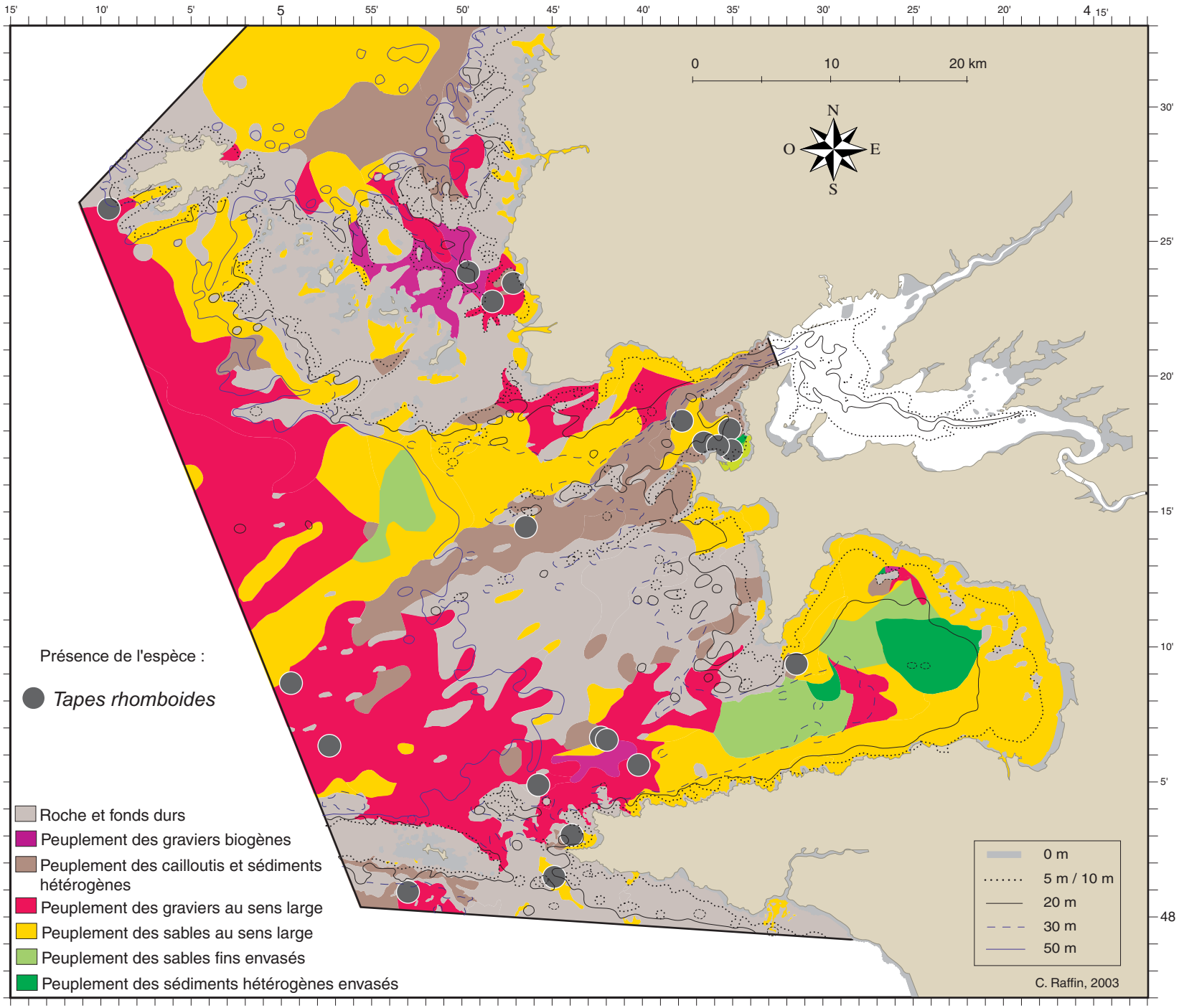


Figure IV-46 : Répartition des palourdes roses (*Tapes rhomboides*) récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

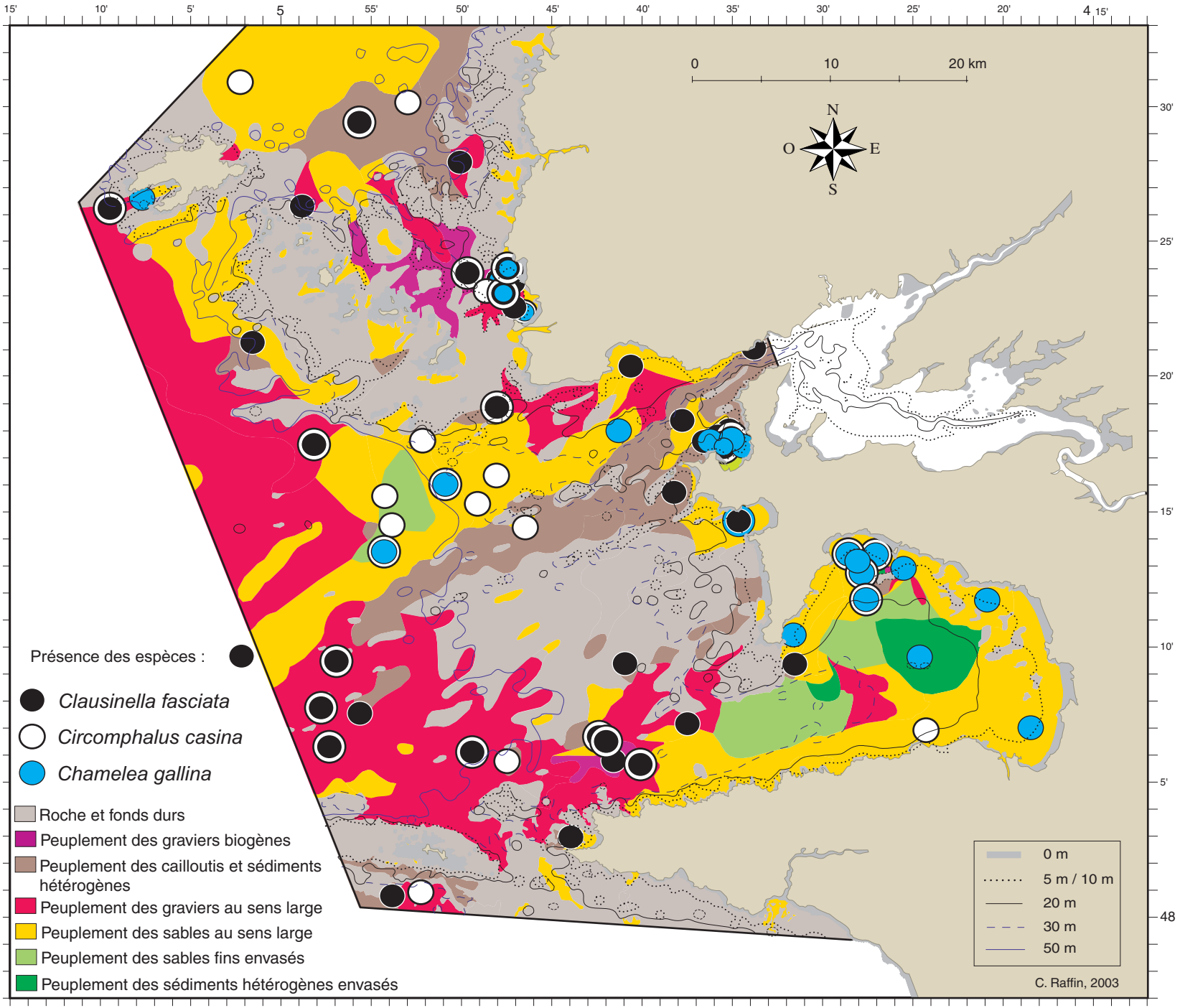


Figure IV-47 : Répartition des *Clausinella fasciata*, *Circomphalus casina* et *Chamelea gallina* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

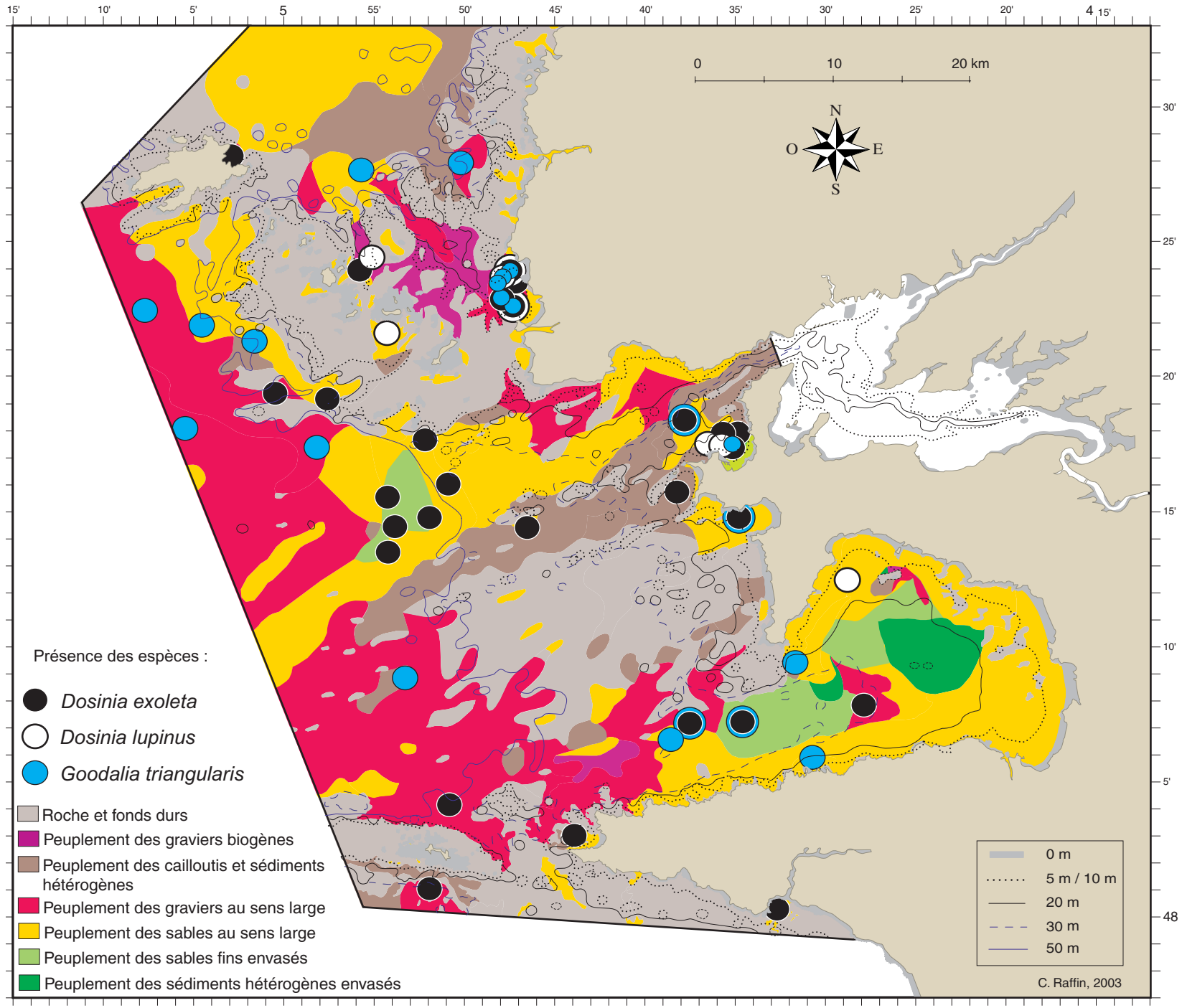


Figure IV-48 : Répartition des *Dosinia exoleta*, *D. lupinus* et *Goodalia triangularis* récoltées par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

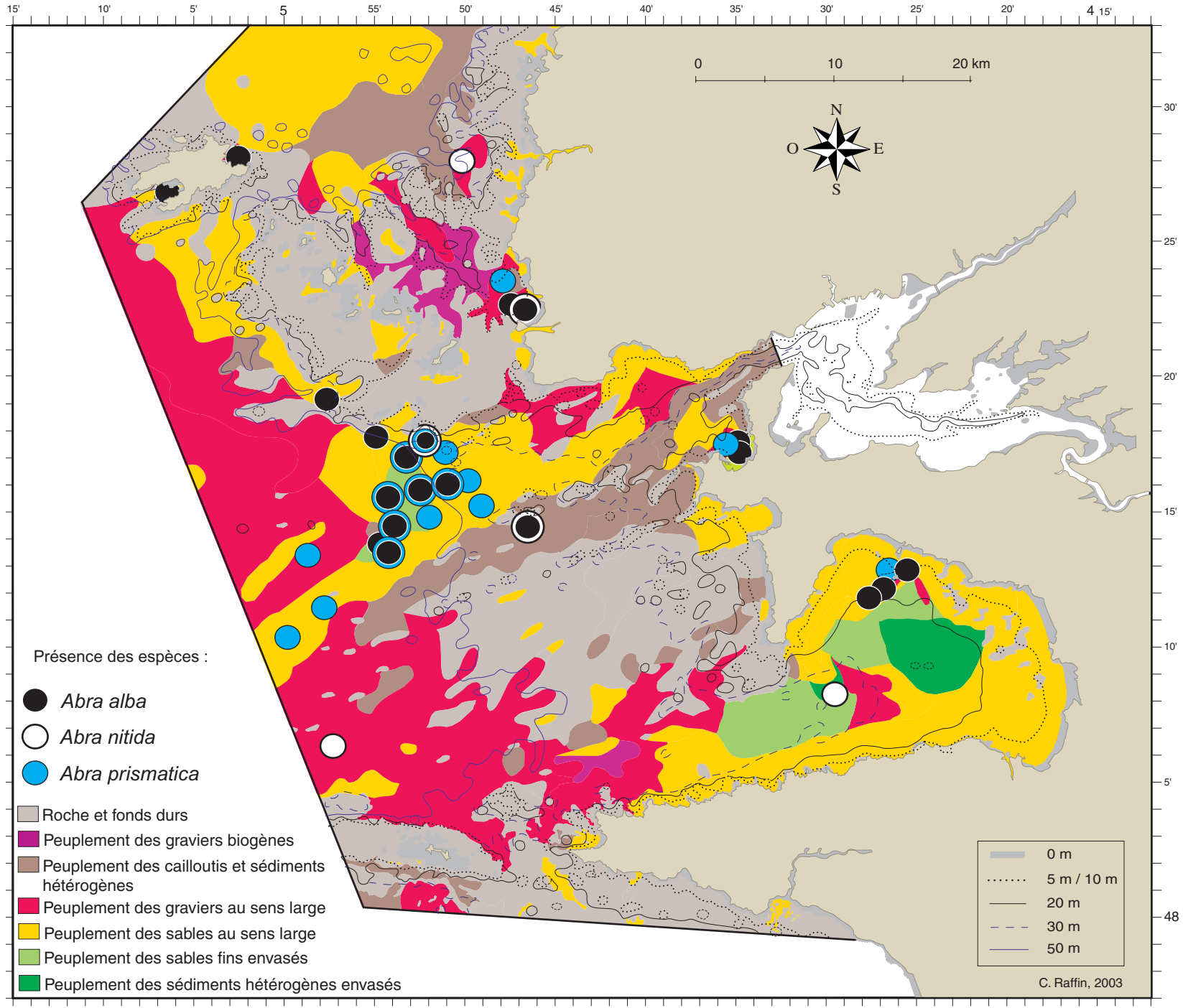


Figure IV-49 : Répartition des *Abra* (*A. alba*, *A. nitida* et *A. prismatica*) récoltés par rapport aux grandes unités de peuplement de la mer d'Iroise.

IV-6- DISCUSSION GÉNÉRALE

Les fonds de graviers et de cailloutis occupent une place très importante à l'échelle de la mer d'Iroise, l'étude des peuplements qui leur sont associés s'est limitée ici à la faune des sédiments meubles (jusqu'aux cailloutis), susceptible d'être remontée par une benne Hamon. L'ensemble des fonds durs et de gros cailloutis n'a pas été échantillonné, la faune fixée les peuplant reste méconnue pour la plus grande partie de la mer d'Iroise. Or, les interactions existant entre les minéraux et ces organismes (bio-minéralogie) peuvent jouer un rôle significatif pour les communautés benthiques, influençant non seulement la colonisation initiale, mais aussi les assemblages qui en découlent. En effet, les caractéristiques de la surface du substrat déterminent la structure des assemblages : certaines propriétés physiques ou chimiques (comme l'alcalinité) peuvent affecter la fixation, la croissance ou encore la survie des organismes. Bavestrello *et al.* (2000) ont montré que la richesse des blocs rocheux en quartz est le premier facteur différenciant la tendance des compositions et dominances spécifiques, les assemblages des roches riches en quartz (comme les quartzites ou les granites) étant toujours moins diversifiés et moins complexes. La présence de quartz est un véritable facteur inhibiteur. Cependant, de nombreux organismes sessiles forment des structures calcaires qui jouent le rôle de substrat secondaire pour les colonisateurs suivants, ce qui annule l'effet du quartz. Or la plupart des algues ne sont pas influencées par la nature minérale du substrat rocheux sur lequel elles s'installent (Cabioc'h *et al.*, 1992). Une fois développées, elles opèrent donc un conditionnement biologique du substrat et sont considérées alors comme le principal facteur structurant les communautés animales.

Les grains de quartz pourraient également permettre le développement de certains organismes inféodés à de fortes concentrations de silice : ils représentent en effet une source minérale de silice prélevée directement dans le substrat (Bavestrello *et al.*, 2000), en plus des diatomées sédimentées sur le fond et des spicules siliceux biogènes.

IV-6-1- Les peuplements et faciès identifiés pour la mer d'Iroise

Les peuplements des fonds meubles ont été déterminés pour la mer d'Iroise. Une liste de ces assemblages d'espèces, ainsi que les stations où elles ont été observées, est proposée. Cette liste a été complétée avec des peuplements déjà connus dans des habitats non explorés lors de notre étude (indiqués en gris, sources : Hinschberger, 1970 ; Le Berre, 1999).

- **Peuplements des fonds durs et rocheux** (non détaillés dans cette étude)

- **Peuplement des graviers biogènes à *Clausinella fasciata*, *Tapes rhomboides*, *Dosinia exoleta*, *Branchiostoma lanceolatum* et *Circomphalus casina*** (stations n° 19, 21, 22, 23 et 87)
  - **Faciès à *Glycymeris glycymeris*** (n° 21)
  - **Faciès de maërl** (n° 19, 22 et 23)
  - **Faciès de maërl envasé** (stations CM1, CM2, CM5 et CM6)

- **Peuplement des cailloutis et sédiments hétérogènes à *Arcopagia crassa*, *Circomphalus casina*, *Glycymeris glycymeris* et à épifaune vagile très diversifiée** (stations n° 1, 7, 10, 29, 32, 39, 44, 46, 51, 60, 61, 62, 67, 70, 71, 73, 75, 76, 78, 84, 86, 91, 105, 120, 124 et 131)
  - **Faciès à *Pisidia longicornis*** (n° 39, 46, 61 et 62)
  - **Faciès à Ophiures (*Ophiothrix fragilis*)** (n° 62)
  - **Faciès à Amphioxus** (n° 10 et 32)
  - **Faciès de transition vers les sables grossiers à *Goodalia triangularis* : sables dunaires** (n° 32 et 70)

- **Peuplement des "graviers" au sens large à gros bivalves : *Glycymeris glycymeris*, *Clausinella fasciata*, *Arcopagia crassa*, *Aequipecten opercularis*, *Pecten maximus*, *Timoclea ovata* et *Branchiostoma lanceolatum*** (stations n° 4, 9, 12, 16, 20, 28, 34bis, 43, 44, 55, 56, 57, 58, 81, 83, 88, 100, 103, 104, 106, 111, 116, 117, 118, 125, 130 et 131)
  - **Faciès à Amphioxus** (n° 9, 16, 34bis, 103 et 106)
  - **Faciès à Ophiures (*Ophiocomina nigra)*** (n° 117 et 118)
  - **Faciès à *Pisidia longicornis*** (n° 44)

- **Faciès de graviers envasés** (n° 20, 58)
- **Faciès de transition vers les sables grossiers à *Abra prismatica*, *Goodalia triangularis* et *Dosinia lupinus* : sables dunaires** (n° 55, 58 et 118)
- **Faciès de sables fins biogènes** (anses de Berthaume et de Camaret)

- **Peuplement des "sables" au sens large**. Ce peuplement correspond en fait au **faciès des sables mal triés à *Abra alba*, *Amphiura brachiata* et *Echinocardium flavescens*** (n° n° 2, 6, 25, 27, 35, 36, 37bis, 38, 43, 52, 60, 85, 91bis, 92, 110, 113, 114, 120, 122, 126, 127, 128, 129 et 132)
  - **Faciès de transition vers les sédiments grossiers à *Goodalia triangularis* et *Abra prismatica* : sables dunaires** (n° 11, 14, 63, 69 et stations S, L, M5, M8) **et sables grossiers à lançons** (n° 11, 13, 42, 63 et 112)
  - **Faciès à Ophiures (*Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*)** (n° 49)
  - **Faciès à *Pisidia longicornis*** (n° 45)
  - **Faciès de sables fins à petits bivalves ou sables fins de stabilisation (*Fabulina fabula*, *Lucinella divaricata*, *Moerella pygmaea*, *Mysella bidentata*)** (n° 54, 59, 97, 99, 101 et stations BS1, M1, M3, M6, M14 C, I, N, CM3, CM8 et CM9)
  - **Faciès envasé à *Owenia fusiformis*** (n° 15)
  - **Faciès à zostères *Zostera marina*** (station n° 115 + autres sites connus)

- **Peuplement des sables fins envasés à *Amphiura filiformis*, *Halcampa chrysanthellum*, *Chamelea gallina, Amphiura brachiata* et *Sipunculus nudus*** (stations n° 48, 89, 93, 94, 95, 96 et 119)
  - **Faciès à *Angulus tenuis*** (n° 95)
  - **Faciès enrichi par le front d'Ouessant (**stations A, B, E, G, P et U)
  - **Faciès de vases sableuses** (station CM4)
  - **Faciès mixte sédiments fins et graviers** (stations M10 et M19)

- **Peuplement des sédiments hétérogènes envasés à *Owenia fusiformis*, *Sthenelais boa* et *Labidoplax digitata*** (stations n° 90 et 95 et station CM2)

- **Peuplement de dessalure des zones d'estuaires abrités et vaseux** (aber Ildut et Ria du Conquet)

IV-6-2- Synthèse cartographique

Une carte de synthèse représentant la répartition de ces six peuplements et de l'ensemble des faciès observés en Iroise est présentée sur la figure IV-50.

Les peuplements de roche et de fonds durs n'ont pas été étudiés mais les observations connues, en particulier sur des sites de plongée, montrent que la faune et la flore fixées sont très diversifiées et présentent des caractéristiques remarquables ; en effet, des espèces rares ou en limite d'aire de répartition ont été signalées, notamment autour de l'île d'Ouessant (Castric-Fey, 1996 ; Le Duff et Hily, 1999). De plus, étant donné l'étendue de la gamme de courants baignant la zone et la superficie considérable représentée par les plateaux et pointements rocheux en mer d'Iroise, il est probable que les peuplements des fonds durs sont aussi variés que ceux décrits par Cabioch en Manche occidentale (1968), avec des faciès de roche infralittorale et circalittorale, de tombants, de grottes, *etc*...

Globalement, les peuplements des sédiments meubles (des sables fins aux cailloutis) semblent plus homogènes au large de la zone. Cette tendance à l'homogénéisation des structures avec les plus grandes profondeurs est une constante en écologie benthique, qui s'explique facilement par une plus grande régularité morphologique des fonds qui s'étendent progressivement et régulièrement vers le bord du plateau continental, avec un effet "tampon" atténuant les variations des conditions environnementales (température, salinité, *etc*...).

Cette partie du large est occupée par un peuplement de graviers au sens large, il fait partie de ceux qui représentent les plus grandes surfaces en Iroise. L'autre est le peuplement de sables au sens large, en particulier avec le faciès de sables mal triés qui occupe le nord de la zone, la bordure sud-ouest du plateau de Molène, ainsi que le prolongement du goulet jusqu'au large, sous forme d'une langue étroite. Des faciès de sables fins ont également été observés, notamment en baie de Douarnenez et dans la zone des Pierres Noires.

Au centre de la zone se trouvent des faciès de transition entre ces sédiments fins et les sédiments grossiers, au contact de ces deux peuplements.

Le peuplement des cailloutis et sédiments hétérogènes reste situé au contact des plateaux rocheux, ainsi qu'en bordure ouest de la côte rocheuse des Abers, au nord de la zone. Les quelques taches qui s'en éloignent sont également proches de pointes de roche.

Les faciès représentés dans ce peuplement occupent de grandes surfaces, notamment le faciès à *Pisidia longicornis* et les faciès à Ophiures, tous situés à proximité de la sortie du goulet de Brest, probablement en rapport avec la richesse en particules des eaux et la force des

courants baignant cette zone. Les faciès à Amphioxus, identifiés à partir des peuplements des cailloutis et sédiments hétérogènes et des graviers au sens large, se situent toujours dans les zones au contact d'un habitat de type sédimentaire plus fin.

Les faciès de sables dunaires sont très représentés, ils constituent le plus souvent des dunes de sables grossiers ou moyens, parfois biogènes. La présence de lançons leur est souvent associée.

Les peuplements qui couvrent les plus petites surfaces sont ceux des habitats envasés, en particulier celui des sédiments hétérogènes envasés, très peu rencontrés au cours de cette étude. En effet, il n'est présent qu'en baie de Douarnenez et dans l'anse de Camaret. Celui des sables fins envasés apparaît dans ces mêmes zones, ainsi qu'au sud des Pierres Noires, juste au-delà de la limite des cinquante mètres, au milieu d'un peuplement de sables présentant lui-même plusieurs faciès. Un faciès important dans le fonctionnement de l'Iroise a été identifié, dans la zone enrichie par la sédimentation de la production primaire formée au niveau du front d'Ouessant.

Le peuplement de vases sableuses n'est présent que sous forme d'un faciès du peuplement des sables fins envasés, dans le sud de l'anse de Camaret.

Le peuplement de graviers biogènes est principalement situé au nord-est de l'archipel de Molène, en zone peu profonde ; principalement sous forme d'un faciès de maërl, ainsi qu'au nord-est de la pointe du Raz, dans une zone plus profonde. Une petite étendue de maërl envasé est également située dans l'anse de Camaret.

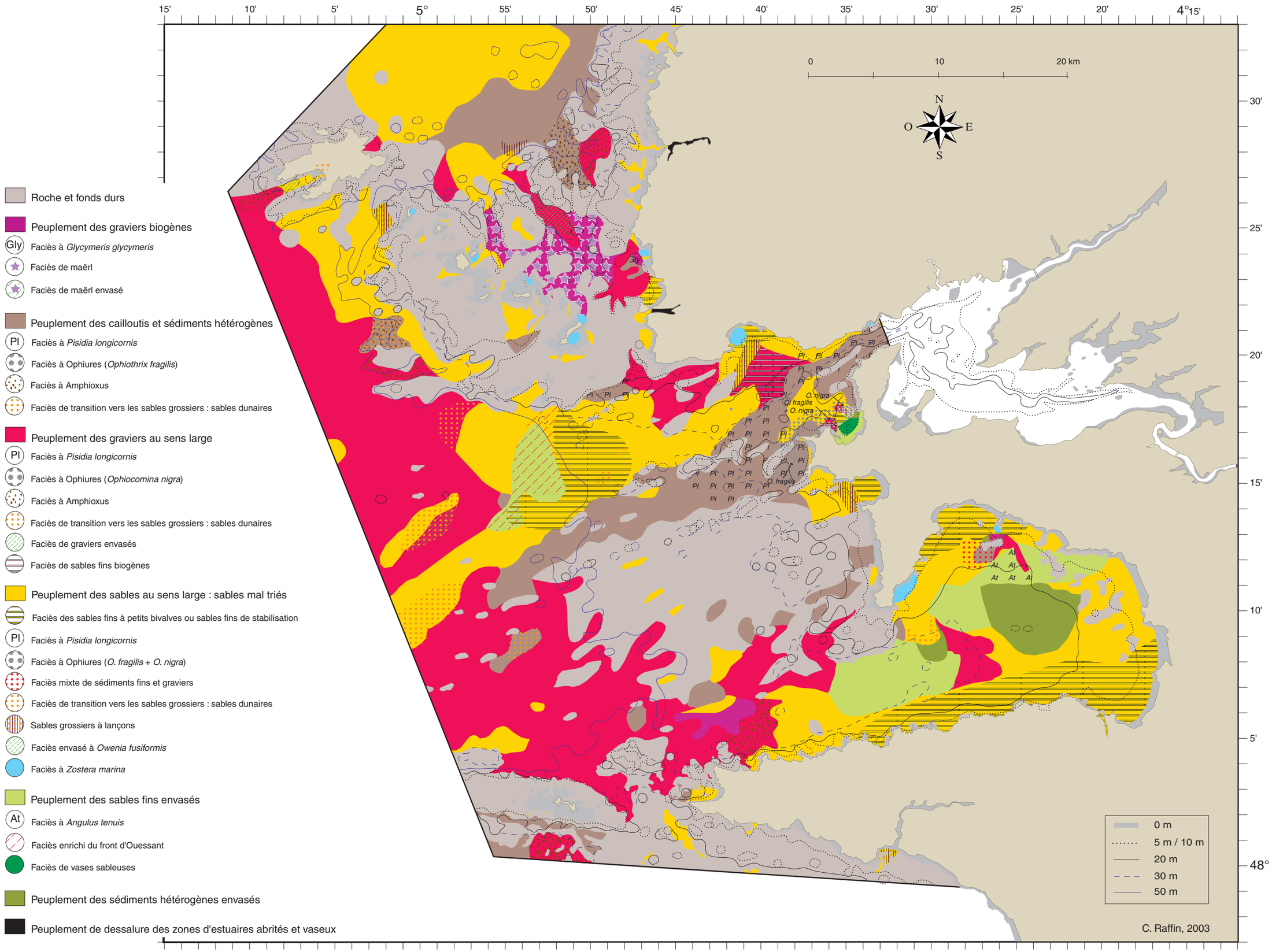


Figure IV-50 : Répartition des peuplements et faciès identifiés pour la mer d'Iroise.

IV-6-3- Place dans le contexte des côtes Manche-Atlantique françaises

Parmi les peuplements et faciès des fonds meubles déterminés pour la mer d'Iroise, certains sont proches de descriptions déjà existantes, faites principalement par Cabioch (1968), Glémarec (1969) et Toulemont (1972) tandis que d'autres sont inédits.

Le peuplement des cailloutis et sédiments hétérogènes est totalement nouveau pour la zone Manche-Atlantique. Il s'apparente toutefois au "peuplement des fonds de cailloutis et graviers prélittoraux" de Cabioch, mais il est ici particulièrement riche en épifaune vagile à dominante suspensivore, ce qui s'accorde à la répartition de l'habitat qui lui correspond, dans cette aire marine soumise à des courants marins puissants, notamment au nord de la zone.

Le peuplement de graviers au sens large, caractérisé par la dominance de bivalves de grande taille, est également inédit sur ce type de sédiments puisqu'il se rapprocherait plutôt d'un peuplement de "fonds de sédiments grossiers", habitat comportant une majorité de sables grossiers.

Les sables au sens large sont extrêmement diversifiés, en accord avec la grande variabilité sédimentaire de ce type de fonds, qui peut tendre vers les sédiments fins comme vers les sédiments grossiers et les graviers. Le peuplement principal correspond aux sables mal triés de la Manche décrits par Cabioch (1968). Une partie des sables fins correspond aux "sables fins de stabilisation" décrits par Guillou en baie de Douarnenez (1980).

Le faciès de sables fins envasés enrichis par le front d'Ouessant est totalement inédit pour les côtes Manche-Atlantique. Il est probable que de tels faciès s'observent dans tous les peuplements proches de fronts importants, comme c'est le cas de la zone de Skagerrak-Kattegat (Josefson et Conley, 1997).

Certains faciès sont rencontrés sur tous les peuplements des habitats hétérogènes, c'est le cas pour le faciès à *Pisidia longicornis* et pour le faciès à Ophiures. Ces espèces ont besoin d'éléments grossiers (cailloutis et graviers) qui peuvent ne représenter qu'une couche en surface d'autres types sédimentaires, la proximité d'un apport constant d'eaux riches mais oxygénées étant primordiale pour satisfaire leurs besoins métaboliques importants.

Le faciès à *Pisidia longicornis*, observé principalement dans le prolongement de la sortie du goulet de Brest, semble également inédit dans les descriptions de la littérature disponible, tandis que des faciès à ophiures, impliquant le plus souvent *Ophiothrix fragilis* mais aussi *Ophiocomina nigra*, avaient déjà été observés par Cabioch (1968), Toulemont (1972) et Hily *et al.* (1988). La localisation particulière de ces faciès pourrait être liée à la

qualité des eaux sortant de la rade de Brest par le goulet. En effet, celles-ci sont enrichies par les apports de l'Aulne et de l'Elorn, deux rivières aux débits importants, qui amènent à la mer des rejets urbains de l'agglomération brestoise et les apports terrigènes d'un bassin versant où l'agriculture tient une place considérable. Les courants moyens à forts de la zone assureraient une circulation régulière des particules autour de ces petits crustacés suspensivores.

Des faciès à *Glycymeris glycymeris* avaient également été décrit par Cabioch dans un "faciès de transition vers les sables fins" du "peuplement des sédiments grossiers à *C. fasciata*", ainsi que par Hily dans les dépressions du centre-rade (1989). Cependant, le faciès identifié en Iroise se différencie à partir des peuplements de graviers biogènes.

Un faciès de sables à *Zostera marina* a également été observé le long de la côte est du Cap de la Chèvre et d'autres sont connus en divers endroits de la mer d'Iroise. Un faciès de maërl est également à signaler parmi le peuplement des graviers biogènes, ainsi qu'un faciès de maërl envasé dans l'anse de Camaret.

Enfin, des peuplements de vases sont connus dans les zones de dessalure très abritées représentées par l'estuaire de l'aber Ildut et la Ria du Conquet (Le Berre, 1999).

Ainsi, cette étude a montré que l'ensemble de la zone abrite une palette presque complète des habitats marins des côtes Manche-Atlantique françaises, depuis les fonds durs et les cailloutis jusqu'aux sables les plus fins, sables envasés, vases sableuses et vases pures. La mer d'Iroise est de ce fait une zone d'accueil pour une très grande diversité d'espèces vivantes, regroupées en peuplements, faciès ou assemblages d'espèces très diversifiés. Ceux-ci peuvent être comparés aux habitats et peuplements décrits le long des côtes Manche-Atlantique françaises, mais ils conservent toujours une originalité dans les assemblages d'espèces et les faciès représentés. Celle-ci est due à la prédominance des sédiments hétérogènes en Iroise : l'organisation sédimentaire la plus courante, en couches superposées, permet ainsi la présence quasi-systématique des éléments les plus grossiers (cailloutis et graviers) dans tous les mélanges sédimentaires, toujours accompagnés de leurs épifaune sessile et faune vagile caractéristiques.

Cette analyse des peuplements de la mer d'Iroise a confirmé la grande richesse de la faune benthique et les liens qui l'unissent au milieu pélagique. La représentation spatiale des peuplements et faciès illustre bien la réalité des fonds marins, mosaïque d'habitats et de peuplements associés, en relation directe avec les conditions de leur environnement et avec les autres compartiments de l'écosystème marin.

La mer d'Iroise s'impose ainsi comme un milieu particulièrement riche, diversifié mais aussi complexe, au niveau de ses habitats comme de ses peuplements animaux. Pour autant, pourquoi la diversité biologique qui y est observée mérite-t-elle d'être protégée ? Et quels sont les moyens dont on dispose pour le faire ? Les réponses à ces questions s'inscrivent dans le cadre d'une réflexion en pleine évolution menée au niveau mondial, qui sera explorée dans le chapitre qui suit.

TROISIÈME PARTIE

LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ : UN CHALLENGE POUR LA MER D'IROISE

- CHAPITRE V -

LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ PAR LA PROTECTION DES ESPACES : CONSTAT AU NIVEAU MONDIAL

V-1- INTRODUCTION

Améliorer la compréhension des relations entre la diversité biologique et le fonctionnement des écosystèmes est un challenge majeur pour les écologues, qui doit permettre de mieux anticiper le moment où les risques croissants de destruction de la biodiversité l'emporteront sur les coûts croissants pour la préserver (Heywood et Watson, 1995). En effet, l'amplitude avec laquelle les activités humaines induisent des modifications de leur environnement à une échelle globale est énorme (Levin, 1997). Les écosystèmes modifiés, gérés et exploités constituent environ la moitié de la surface terrestre libre de glace ; les matériaux mobilisés au service des Hommes et les flux d'énergie rivalisent avec ceux de la nature. La plus grande partie des changements subis dans la plupart des composantes de la biosphère au cours des trois derniers siècles ont été induits par les humains (Heywood et Watson, 1995).

Une réflexion s'est instaurée à l'échelle mondiale depuis la Conférence de Rio (1992) et des programmes nationaux et internationaux, coordonnés à échelle globale, ont été lancés pour tenter de ralentir les processus de destruction de la biodiversité et d'améliorer la situation au niveau de la planète. Parmi les actions proposées pour limiter les impacts humains sur les habitats naturels, la mise en place d'aires protégées est une solution qui peut représenter une option de gestion très intéressante, à court terme comme à long terme (Polacheck, 1990).

Ce chapitre présente une synthèse des réflexions actuelles sur la biodiversité, ses valeurs et les crises qu'elle connaît. Les structures administratives et internationales essentielles mises en place pour sa conservation seront également présentées dans une première partie. Le second thème abordé concerne les aires marines et côtières protégées : un bilan des conditions de leur institution et de leur fonctionnement est proposé au niveau mondial. Une troisième partie détaillera les mesures de protection et les outils de conservation et de gestion existant en France.

V-2- LA BIODIVERSITÉ MARINE ET CÔTIÈRE

Seulement 15 % des 1,4 à 1,8 millions d'espèces décrites à l'heure actuelle sont marines (20 % pour les seules espèces animales). Pourtant les océans abritent au moins 90 % de la diversité au niveau des taxons supérieurs (phylums, classes et ordres) (May, 1988). L'hypothèse avancée pour expliquer ce foisonnement de formes tient à l'origine marine de la vie : l'évolution aura disposé de beaucoup plus de temps pour diversifier les taxons supérieurs dans des conditions d'environnement relativement stables, contrairement à la situation sur terre, où la fragmentation des biotopes et les fluctuations climatiques rapides ont engendré une spéciation plus active (May, 1994).

Plus de phylums animaux se sont finalement développés dans le domaine marin que sur la terre : trente-cinq sont rencontrés dans les habitats marins, dont quatorze n'ont pas de représentants terrestres ou même dulçaquicoles. Seulement quatorze sont comptabilisés en eaux douces -dont aucun endémique de ce milieu- et onze dans les systèmes terrestres avec seulement une endémique (Gray, 1997).

Cette forte diversité décrite au niveau des phylums peut être une indication d'une diversité spécifique plus grande encore que celle connue actuellement. Les écosystèmes de récifs coralliens, particulièrement bien étudiés, sont connus pour être parmi les habitats les plus riches en espèces. Les sources hydrothermales, bien qu'encore méconnues, montrent déjà une diversité unique et ont même obligé les scientifiques à reconsidérer les connaissances des processus biologiques. Des recherches récentes sur les écosystèmes de haute mer indiquent que beaucoup plus d'espèces qu'on ne le pensait doivent exister, avec des estimations allant de 500 000 à 10 millions d'espèces (May, 1994). Ces chiffres impressionnants vont cependant dans le sens de toutes les estimations du nombre total d'espèces portées par la Terre : de 3 à 15 et même jusqu'à 50 millions d'espèces, la difficulté de l'exercice et les différences de méthodes expliquant la grande variabilité des chiffres avancés (May, 1988).

V-2-1- La place de la biodiversité vis-à-vis de l'humanité

Les tendances démographiques de la population humaine illustrent le rôle essentiel joué par la biodiversité marine et côtière pour l'humanité. En effet, environ deux tiers de la population mondiale, soit près de 4 milliards d'êtres humains, vivent dans la zone bordure à moins de soixante kilomètres des côtes, or la population mondiale pourrait avoir augmenté de 75 % en 2020 (Gray, 1997). Les écosystèmes marins et côtiers, ainsi que la biodiversité qu'ils abritent, fournissent des biens directs et indirects aux communautés locales qui utilisent leurs ressources, comme à l'humanité entière. Il est très difficile de quantifier la valeur représentée par la biodiversité, celle-ci est d'ailleurs évaluée selon plusieurs critères, dont deux concernent les aspects concrets des bienfaits que les hommes en retirent et deux autres qui font référence à des notions plus abstraites.

V-2-1-1- Valeurs directes

La biodiversité marine et côtière offre à l'humanité de nombreux bénéfices directs physiques, sociaux et culturels, en tant que sources de nourriture, produits médicinaux, naturels et industriels, ainsi que des lieux pour l'éducation, les loisirs et le tourisme (Ehrlich et Wilson, 1991). Ces valeurs directes de la biodiversité sont les notions les plus concrètes et les plus facilement reconnues par les hommes, du fait de l'intérêt direct dont ils profitent. Ce sont aussi souvent les premières raisons qui les poussent à conserver la biodiversité sous toutes ses formes : quelques simples statistiques donnent une idée de l'importance primordiale des ressources marines et côtières pour l'humanité. Les océans fournissent 16 % de toutes les protéines animales consommées à travers le monde (NOAA, 1998). En 1994, près de 32 millions de tonnes de poissons, représentant 30 % de la production des pêcheries mondiales, ont été utilisés pour la nourriture du bétail (FAO, 1998, cité dans UNEP-CBD, 2001a). Une douzaine d'agents couramment utilisés dans les traitements contre le cancer sont d'origine marine (NCI, 2000) et un quart de toutes les prescriptions médicales à travers le monde sont soit des composants chimiques tirés de plantes ou de micro organismes marins, soit des versions synthétiques dérivées de ceux-ci (Ehrlich et Wilson, 1991).

Le tourisme basé sur la nature est un secteur en développement de l'industrie du tourisme, les destinations côtières sont les principales dans ce secteur en développement. Or, un "écotourisme" bien géré peut être à la fois rémunérateur et protecteur de l'environnement. Cette nouvelle activité, prenant la nature comme source de découverte, pourrait devenir extrêmement bénéfique pour les pays et les zones visitées, en sensibilisant les populations à la diversité de la biosphère, en donnant une valeur patrimoniale à l'environnement et des arguments pour sa protection, en créant des emplois locaux à différents niveaux (conservateurs, gardes, guides, *etc*…), en favorisant la parution de documents de vulgarisation (Francour *et al.*, 2001).

V-2-1-2- Valeurs indirectes

Les valeurs indirectes de la biodiversité pour l'humanité sont réalisées à travers les services environnementaux fournis par les fonctions d'un écosystème en bonne santé. Ces services ont récemment été évalués à 5 200 milliards de dollars US pour les systèmes océaniques ouverts, et à 11 700 milliards de dollars US pour les écosystèmes côtiers (Costanza *et al.*, 1997). Les exemples de ces services incluent le recyclage des nutriments, la protection des régions côtières et des ressources, la détoxication des polluants, l'assimilation des déchets, la stabilisation de microclimats ou encore le stockage du carbone (Levin, 1997 ; Snelgrove, 1998). Les plantes marines produisent par exemple 30 à 50 % des apports globaux d'oxygène (NOAA, 1998) tout en prélevant du CO_2 ; tandis que le "réservoir océan" contient 75 à 80 % du carbone total (Eichbaum *et al.*, 1996).

Les services rendus par les écosystèmes incluent des processus aussi essentiels à l'humanité que le maintien de la composition gazeuse de l'atmosphère, empêchant que les changements dans le mélange de gaz soient trop rapides pour que les êtres vivants ne puissent s'y ajuster. À l'origine, ce sont les organismes photosynthétiques qui ont petit à petit enrichi l'atmosphère terrestre en oxygène, alors que la vie était encore confinée dans les mers il y a 450 millions d'années. C'est seulement grâce à la protection de la couche d'ozone, conséquence de cette production d'O_2, que les plantes, les arthropodes et les amphibiens ont pu coloniser la terre ferme (Ehrlich et Wilson, 1991).

Il est clair maintenant que la technique ne permettra pas de réparer les graves lésions infligées à l'environnement ; rien ne pourra en effet ramener les espèces éteintes ni restaurer

en l'état primaire les écosystèmes détruits. Les mécanismes les plus simples, à la base du fonctionnement du vivant, comme la photosynthèse, sont inimitables par toutes les technologies et restent donc absolument irremplaçables sur la Terre. Les services fournis par les écosystèmes sont réalisés à une échelle si gigantesque et d'une façon si entremêlée qu'il n'y a pas une possibilité réellement envisageable de les imiter et de les substituer, même dans l'hypothèse où la science aurait le savoir nécessaire (Ehrlich et Wilson, 1991).

Ces services sont à la base de l'une des questions fondamentales posée actuellement, celle de savoir quelle fraction des 13,5 millions d'espèces recensées est indispensable pour maintenir le fonctionnement des écosystèmes, afin qu'ils continuent à fournir ces services à l'humanité (Levin, 1997 ; Tilman, 1999). À partir de quelle perte de diversité ces services seront-ils compromis ?

V-2-1-3- Valeurs d'option

Les valeurs d'option (*option values*) de la biodiversité font référence à la possibilité pour une ressource naturelle d'avoir une valeur dans le futur ; chaque extinction représente pour cette raison une perte d'options futures. Ces pertes sont particulièrement regrettables dans des domaines tels que la recherche médicale, les applications pharmaceutiques, voire même alimentaires, cosmétiques, *etc*...

La diversité biologique est l'une des caractéristiques de base du monde vivant et la résultante de l'évolution. Les milliards de génomes existants ont été façonnés au cours des temps et se matérialisent dans la variété morphologique et la parenté des espèces. La destruction et la disparition des espèces de la planète diminuent les chances pour l'humanité de comprendre sa filiation et les circonstances de sa propre émergence. Cette diversité représente un potentiel d'informations sur chacune de ces espèces pour tenter de reconstituer la véritable phylogénie des êtres vivants. La biogéographie évolutive est aussi un élément important dans la compréhension de la vie sur Terre. Dans un immense puzzle spatio-temporel, chaque espèce contribue à expliquer l'ensemble.

Cependant, les espèces courantes et non menacées sont directement impliquées dans les processus évolutifs et les systèmes environnementaux qui génèreront la biodiversité future et nul ne peut dire si elles y joueront un rôle important ou non (Erwin, 1991) ; c'est la raison pour laquelle il ne faut pas les négliger dans l'évaluation de la biodiversité. Au-delà du

présent, la richesse spécifique d'un milieu est une assurance de durée pour l'écosystème qui possèdera plus sûrement en son sein des potentiels évolutifs capables de répondre aux modifications des paramètres de l'environnement (Johnson *et al.*, 1996 ; Power *et al.*, 1996 ; Ives *et al.*, 2000 ; Jonsson et Malmqvist, 2003).

V-2-1-4- Valeurs en soi

La valeur en soi (*existence values*) fait référence à la valeur de savoir simplement que certaines espèces -ou autre composante de la biodiversité- existent. Cette valeur est intrinsèque, ce qui signifie que la biodiversité mérite d'être protégée sans considération de sa valeur pour les humains. La biodiversité marine et côtière et les écosystèmes qu'elle compose apportent des valeurs culturelles et esthétiques à l'humanité et le souci qu'a la société de maintenir ces écosystèmes pour les générations futures démontre la reconnaissance de leur valeur intrinsèque.

En effet, l'homme porte la responsabilité du monde dans lequel il vit au-delà de sa propre existence et se doit de léguer aux générations futures un monde aussi proche que possible de celui qui lui a servi de cadre de vie (Kinne, 2002). Malheureusement, les estimations de l'évolution de la croissance démographique laissent envisager que l'impact de l'homme sur son environnement ira croissant, notamment par surexploitation des ressources, dégradation des zones littorales et pollutions multiples, tandis que la capacité des écosystèmes à se remettre des atteintes occasionnées par les hommes ne progressera jamais au même rythme. Beaucoup pensent que les hommes ont une responsabilité morale absolue les obligeant à protéger leurs *uniques compagnons vivants dans l'univers* (Ehrlich et Wilson, 1991). Les êtres vivants et leur environnement doivent être protégés pour des raisons éthiques et non pour une hypothétique valeur pour l'homme (Dobson, 1996) ; s'il en était autrement, la conservation se réduirait à une forme d'exploitation différée pour son bien-être futur. Il s'agit là d'un problème d'ordre philosophique, puisque la morale en cause est établie uniquement pour et par l'homme et ne s'applique pas aux autres êtres vivants.

L'équilibre entre les prélèvements biologiques faits par l'homme pour assurer sa survie et les abus technologiques, conduisant à la dégradation des écosystèmes et à la disparition des espèces, est extrêmement difficile à trouver ; cependant les concepts d'éthique du vivant et de droit de la biosphère n'ont jamais été aussi indispensables à notre époque où l'espèce humaine,

qui occupe déjà toute la planète et influence profondément son évolution, est devenue capable de manipulations génétiques dont les conséquences sur l'avenir pourraient bien dépasser notre imagination.

V-2-2- La crise de la biodiversité marine

Un rapport de 1995 du GESAMP (groupe mixte d'experts IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) a mis l'accent sur les menaces que font peser les activités humaines sur la biodiversité marine. Pourtant, la grande majorité des études sur la biodiversité s'intéresse au milieu terrestre et très peu de travaux synthétiques à l'usage des gestionnaires concernent le milieu marin. La création d'un groupe de travail international sur les menaces pesant sur la biodiversité marine et leurs conséquences est alors proposée.

En 1997, le nouveau rapport du GESAMP, cette fois entièrement consacré à la crise de la biodiversité marine, de plus en plus nette, avec notamment l'effondrement de stocks de poissons dû à la surexploitation de la pêche, la destruction de grandes zones littorales ou encore des introductions d'espèces aux conséquences parfois dramatiques (GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), 1997). L'ampleur de la crise affectant la biodiversité marine est difficile à évaluer considérant que l'inventaire des espèces marines reste largement incomplet ; cependant, elle est extrêmement préoccupante dans la mesure où elle concerne d'immenses superficies, a une influence sur des processus globaux à l'échelle planétaire et s'exerce à différents niveaux (Gray, 1997).

V-2-2-1- Les extinctions d'espèces

Les espèces sont naturellement soumises à une extinction naturelle. La planète a également subi cinq périodes relativement courtes pendant lesquelles les extinctions ont été massives, marquant des changements d'ère géologique et traduisant des bouleversements environnementaux à l'échelle planétaire (Richer De Forges, 1998). Mais le rythme s'est considérablement accéléré surtout depuis le début du XVII^{ème} siècle : au moins 485 espèces ont été reconnues exterminées et beaucoup sont menacées d'extinction d'après la Liste Rouge de l'Union Mondiale pour la Nature (*UICN = International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) (Erwin, 1991 ; Carlton, 1993).

En milieu marin, ces extinctions récentes ou néo-extinctions semblent avoir été sous-évaluées. En effet, la réalisation d'un inventaire de la biodiversité est un travail extrêmement

long, même à l'échelle d'une région (Ramos *et al.*, 2001) et les lacunes importantes dans la connaissance taxonomique des invertébrés empêchent d'évaluer avec fiabilité le phénomène d'extinction actuel ; certaines espèces pourraient même s'éteindre sans avoir jamais été décrites. Le déclin accéléré de la systématique, de la biogéographie et de l'histoire naturelle à la fin du XX^{ème} siècle laisse peu de chercheurs pour décrire les néo-extinctions des océans (Carlton, 1993).

V-2-2-2- La crise des écosystèmes

Dans le monde entier, des écosystèmes littoraux très spécifiques (herbiers de phanérogames, récifs coralliens, mangroves…) subissent de graves dommages qui peuvent entraîner des disparitions locales d'espèces, particulièrement dans les zones les plus urbanisées. Ces destructions peuvent avoir une origine naturelle avec de grands cataclysmes climatiques comme les tempêtes ou anthropique, avec les marées noires, les aménagements littoraux, *etc*...

Les causes citées dans la synthèse des menaces sur la biodiversité marine réalisée par Gray (1997) sont très nombreuses : perte d'habitats, surexploitation et autres effets de la pêche, pollutions (incluant les effets directs et indirects des produits chimiques, l'eutrophisation et les problèmes qui en dépendent comme les bactéries pathogènes et les algues toxiques), introductions, invasions ou pullulation d'espèces, altération de la qualité d'eau, altération physique des côtes, engraissement et érosion sédimentaire… Ces menaces sont fréquemment liées et tous les phénomènes sont aggravés par la perception limitée que les hommes ont des océans et de la vie marine qu'ils abritent.

L'évolution de la pêcherie mondiale est un exemple flagrant de l'utilisation irraisonnée des ressources naturelles par les hommes. Depuis le XIX^{ème} siècle, l'activité de pêche s'est considérablement développée pour atteindre actuellement environ 92,4 millions de tonnes de poisson pêchés en 2001 (Vannuccini, 2003). Les tonnages ont augmenté régulièrement par extension de l'activité à des zones de pêche vierges, ce qui a masqué en partie la surexploitation des zones côtières, pourtant atteinte à maintes reprises (Lauck *et al.*, 1998). Devant le déclin des ressources des plateaux continentaux, la pêcherie mondiale s'est également étendue en profondeur, sur les talus jusqu'à plus de 500 mètres et même jusque dans la zone bathyale supérieure (800-1 500 m). Malheureusement, la plupart des espèces des

profondeurs ont une croissance très lente et les stocks s'épuisent donc rapidement. Plusieurs siècles de chalutages intensifs ont entraîné la capture accessoire d'espèces pourtant non exploitées et ont détruit les habitats de nombreuses petites espèces benthiques qui ne sont pas non plus des cibles directes (Lindeboom et De Groot, 1998). La pêcherie mondiale a donc finalement un impact non évalué sur les espèces non commerciales capturées et rejetées avec une survie très faible, et dont la diminution perturbe le fonctionnement global des écosystèmes marins (Kaiser et De Groot, 1999).

D'autres évènements catastrophiques de grande ampleur ont alerté les populations sur les dangers de l'utilisation imprudente des ressources et des espaces naturels. Ainsi, les grandes marées noires qui ont touché les côtes à partir des années 1960, avec les spectacles de désolation et de gâchis qu'elles engendrent, ont provoqué une prise de conscience et montré que la course à l'industrialisation et la recherche du profit maximum ne sont pas nécessairement des objectifs justifiant tous les moyens et tous les dégâts causés à l'environnement.

Les problèmes de pollutions urbaines et agricoles sont également devenus extrêmement préoccupants pour la majorité des pays industrialisés, tout comme les conséquences imprévues et souvent catastrophiques des aménagements littoraux menés sans réflexion sur les modifications apportées aux écosystèmes impliqués.

Toutes les estimations sur l'érosion de la biodiversité admettent en fin de compte que la plus lourde menace pesant sur elle est la destruction des habitats (Ricklefs, 1987) et que le moyen le plus efficace pour la conserver est de prévenir leur aménagement ou leur dégradation (Heywood et Watson, 1995). La réduction de la biodiversité s'est largement accélérée à cause de la destruction d'habitats naturels et, si le rythme actuel d'extinction d'espèces continue, un quart -voire plus- des espèces de la Terre pourraient être éliminées d'ici seulement cinquante ans (Ehrlich et Wilson, 1991).

V-2-2-3- Les impacts du *global change*

La notion de *global change* est apparue vers 1980, suite à la découverte de la réduction de la couche d'ozone dans la haute atmosphère au niveau des pôles et de l'augmentation, corrélée aux activités industrielles, du taux de CO_2 dans l'atmosphère. Les conséquences

entrevues sont de deux ordres : d'une part l'augmentation du taux de CO_2 tend à accroître l'effet de serre, provoquant une élévation de la température qui pourrait entraîner la fonte d'une partie des masses glaciaires de la planète et par conséquent une élévation des niveaux marins ; d'autre part, la disparition de la couche d'ozone pourrait mettre en péril les êtres vivants qui seraient alors soumis à un rayonnement ultraviolet intense.

Bien que les nombreux travaux portant sur l'évolution climatique de la planète n'aient pas toujours confirmé les propos alarmistes des premiers temps, cette prise de conscience de la vulnérabilité de notre planète s'est avérée bénéfique. Le terme *global* ne couvre finalement pas uniquement la notion d'espace planétaire, mais aussi le cycle global de l'eau avec des interactions entre les océans, l'atmosphère, les zones glaciaires et la biosphère dont dépend l'évolution de la planète.

La vision humaine de la planète a radicalement changé dans l'inconscient collectif au cours des années 1960, grâce aux images inédites la montrant vue de l'espace, comme une sphère représentant un milieu clos, entouré seulement d'une atmosphère qui a semblé alors bien ténue… Ainsi, la découverte de l'altération de notre atmosphère a également été l'occasion de prendre conscience qu'au cours des derniers siècles, l'espèce humaine a réuni suffisamment de pouvoir pour influencer l'espace à une échelle planétaire, jusqu'à menacer l'ensemble de la biodiversité terrestre (Ehrlich et Wilson, 1991).

V-2-3- Bases administratives, réglementations et structures internationales

V-2-3-1- La Conférence de Rio et la Convention sur la biodiversité

Suite aux inquiétudes suscitées dans l'opinion publique par les crises climatiques mondiales, bon nombre d'États se sont réunis à Rio afin de définir une stratégie internationale visant à réduire l'impact de ces changements sur la biodiversité. Lors de cette Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement et le Développement - sommet Planète Terre (3-4 juin 1992, Rio de Janeiro, Brésil), la Convention sur la diversité biologique fut présentée pour garantir la mise en œuvre d'une action internationale efficace visant à ralentir la destruction des espèces et des écosystèmes. Elle fut signée par 57 pays, dont ceux de la Communauté Européenne. Les États-Unis d'Amérique s'y refusèrent pour ne pas freiner leur développement. Les recommandations principales faites aux États demandent que chaque pays adopte des règles pour la protection des ressources biologiques, pour assurer la conservation de la biodiversité et le développement durable des ressources naturelles.

Cette convention, essentielle pour la conservation de la nature, marque aussi une prise de conscience au niveau international de la valeur économique de la biodiversité ; plusieurs articles concernent en effet la valeur des ressources génétiques, les droits de propriété des substances naturelles extraites de la diversité biologique et leur exploitation.

Elle instaure également une notion primordiale pour la biologie de la conservation : le développement durable de la biodiversité (*sustainable use*). Il est défini dans la convention comme l'*usage des composantes de la biodiversité d'une façon et à un rythme qui ne mènent pas jusqu'au déclin à long terme de la biodiversité, maintenant ainsi son potentiel pour répondre aux besoins et aux aspirations des générations présentes et futures* (UNEP-CBD, 2001b). Cette notion s'est cependant avérée très ambiguë par la suite, car, si pour un biologiste, il s'agit d'empêcher que l'environnement ne soit perturbé de façon irréversible, pour un économiste il s'agit plutôt de permettre que les schémas de croissance des sociétés perdurent. La réussite du développement durable des ressources naturelles est dans tous les cas un challenge majeur à réussir pour l'avenir de l'humanité, et ce malgré la pression démographique actuelle, première cause des déséquilibres et des pollutions.

Ces réflexions conduites au niveau mondial sur l'utilisation des ressources naturelles, comme si elles étaient inépuisables, ont permis de réviser les concepts ancestraux de l'humanité et de réfléchir sur son existence à long terme. Elles ont mis en évidence le décalage existant entre la gestion économique et politique des sociétés, conduite actuellement à court et moyen termes, et l'évolution de leur environnement qui, lui, se fait sur le long terme.

Ainsi le XX^{ème} siècle, malgré l'augmentation du rythme des dégradations causées à l'environnement, aura aussi marqué un tournant dans l'histoire de notre planète, par la prise de conscience du caractère limité de toutes les ressources naturelles et surtout de l'absolue nécessité de leur gestion à long terme.

V-2-3-2- La Convention RAMSAR

Établie en 1971 pour protéger les zones humides, cette convention est entrée en vigueur en France en 1986. Elle a été ratifiée par 79 pays. Il s'agit principalement d'eaux douces et saumâtres, abritant souvent des populations d'oiseaux, mais les textes prévoient aussi la protection de zones marines peu profondes. L'article 1 définit les zones humides comme *des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres* (Richer De Forges, 1998).

L'article 2 de cette convention appelle chaque État contractant à proposer des sites répondant à cette définition, afin qu'ils soient classés sur la liste des zones protégées par cette convention. 1 045 sites sont actuellement inscrits sur la liste des zones humides d'importance internationale (sites *RAMSAR*), dont 479 incluent des habitats côtiers ou marins. Lors d'une conférence en 1999, les États concernés par la convention *RAMSAR* ont cependant reconnu que de nombreux types de zones humides marines ou côtières étaient sous-représentés.

V-2-3-3- Le programme *Man and Biosphere (MAB)* de l'UNESCO

Ce programme *(UNESCO's Man and Biosphere Programme - UNESCO/MAB)* établit des "réserves de biosphère" de types variés à travers le monde. Le "réseau mondial de réserves de biosphère" est constitué de réserves ayant au moins une zone centrale, très protégée, pour conserver la diversité biologique, permettant un suivi d'écosystèmes perturbés au minimum et assurant une recherche non destructive ; entourée d'une combinaison de zones tampons multi-usages et de zones de transition, gérées pour le bénéfice économique des populations locales. L'article 3 du cadre statutaire du réseau mondial des réserves de biosphère fixe trois fonctions à ces réserves : conserver la variété des paysages, des écosystèmes, des espèces et la diversité génétique ; encourager le développement économique et humain s'il est compatible avec un développement durable aux niveaux socio-culturel et écologique ; enfin, servir de support pour des projets de démonstration, d'éducation et de formation à l'environnement, ainsi que pour la recherche et le suivi relatifs aux buts de conservation et de développement durable locaux, régionaux, nationaux et globaux (UNEP-CBD, 2001a).

La combinaison de ces trois fonctions et le modèle de réserve de biosphère sont très appropriés pour les environnements marins, où les frontières sont difficiles à délimiter. Pourtant seules 90 réserves de biosphère, sur près de 400 sites actuellement recensés, possèdent une composante côtière ou marine (Brunckhorst, 2001).

V-2-3-4- La Directive Habitats ou *Natura 2000*

La "Directive Habitats" (*European Commission Habitats Directive*) concerne la conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvage ; elle a été adoptée le 21 mai 1992 par le Conseil des Communautés Européennes. Elle étend les dispositions de la Directive oiseaux à la faune, à la flore et aux milieux et vise ainsi à protéger les espèces les plus menacées, ainsi que certains milieux (landes, zones humides, dunes, *etc*...), par la prise en compte de l'environnement dans les choix de développement. Elle subvient aux besoins des États pour l'établissement d'un réseau d'aires protégées à travers la Communauté Européenne. Référencé communément *Natura 2000*, ce réseau est destiné à maintenir la distribution et l'abondance des espèces et des habitats menacés dans les environnements terrestres et marins.

Les zones appartenant à ce réseau *Natura 2000* sont comprises dans les "aires spéciales de conservation" (*Special Areas for Conservation*). Une aire spéciale de conservation est un site d'importance pour la communauté, choisi par un État membre par l'intermédiaire d'un acte de statut, administratif et/ou contractuel, quand des mesures de conservation nécessaires sont appliquées pour le maintien ou la restauration des habitats naturels et/ou des populations d'espèces pour lesquelles le site a été institué. L'État membre est obligé de contribuer au site *Natura 2000*, dans les proportions de la représentation, à l'intérieur de son territoire, des espèces et des types d'habitat naturel listés dans les deux annexes de la directive (UNEP-CBD, 2001a).

V-2-3-5- La Convention OSPAR

La Convention pour la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR, 1992) a été proposée à la signature au meeting ministériel des Commissions d'Oslo et de Paris à Paris le 22 septembre 1992. Elle a été signée par toutes les parties contractantes. D'après cette convention OSPAR, les États doivent identifier les espèces marines, les habitats ou les écosystèmes qui doivent être protégés, conservés ou restaurés ; ils doivent également promouvoir l'établissement d'un réseau d'aires marines protégées pour assurer le développement durable, la protection et la conservation de la diversité biologique marine et de ses écosystèmes.

V-2-3-6- La Convention d'Helsinki

Cette convention pour la protection de l'environnement marin de la mer Baltique (1992) a été signée par tous les pays bordant la mer Baltique et par la C.E.E. Elle comprend des dispositions pour la conservation de la nature. D'après la Convention sur la biodiversité, les États impliqués doivent établir graduellement un système de zones baltiques côtières et marines protégées.

V-2-3-7- Les zones marines spéciales (*Special Seas Areas - SSA*)

Définies dans les annexes de la Convention Internationale pour la Prévention de la Pollution des Navires *(MARPOL 73/78)*, ces zones sont établies là où existe un souci particulier comme celui dû à un trafic maritime de haute intensité. Des normes plus rigoureuses sont applicables pour le transport de polluants : l'annexe *I* s'applique aux huiles, l'annexe *II* aux substances liquides toxiques, et l'annexe *V* aux déchets. Neuf *SSA* ont été définies. Sous la disposition générale de l'Organisation Maritime Internationale pour les routes des navires, des "zones à éviter" par les navires d'une certaine taille ont été désignées. 21 sont recensées dans le monde, dont 12 établies spécialement pour la protection de l'environnement.

V-2-3-8- Les Programmes *Regional Seas*

Le Programme pour l'Environnement des Nations-Unies (*United Nations Environment Programme = UNEP*) inclut actuellement 12 régions, et deux autres sont en cours de développement. En plus figurent trois programmes *Regional Seas* non gérés par l'*UNEP* : l'Arctique, l'Atlantique du nord-est (OSPAR) et la mer Baltique (HELCOM). Ces 17 *Regional Seas* couvrent actuellement l'environnement marin de plus de 150 États côtiers.

V-2-3-9- Autres réglementations

D'autres réglementations internationales ont été mises en place, parmi lesquelles peuvent être citées :

- La Convention de Berne (1982), qui assure la conservation de la flore et de la faune sauvages et des milieux naturels des pays membres du conseil de l'Europe. Une attention particulière est accordée aux espèces menacées d'extinction ou vulnérables, y compris les espèces migratrices.

- Le programme de protection de l'héritage mondial culturel et naturel de l'UNESCO (*UNESCO's Convention concerning the protection of the World Cultural and Natural Heritage - UNESCO/WHC*, 1972), avec 31 sites ayant des composantes marines ou côtières.

- La convention sur la conservation des espèces migrantes d'animaux sauvages (*Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals - CMS,* 1979), qui est un des cinq traités relatifs à la biodiversité globale.

- Des protocoles des *Regional Seas* concernant les zones et vies sauvages spécialement protégées *(Specially Protected Areas and Wildlife - SPAW)* ont été adoptés par les parties de quatre conventions *Regional Seas* de l'UNEP : la Méditerranée, les Caraïbes, le Pacifique du sud-est et l'Afrique de l'est.

- Le protocole sur la protection de l'environnement du Traité de l'Antarctique (*Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty - Madrid Protocol*, 1991).

- Le programme de protection de l'environnement marin arctique (*Protection of the Arctic Marine Environment - PAME*, 1993).

- La convention baleinière internationale (2 décembre 1946), qui réglemente la chasse à la baleine.

V-3- LES AIRES MARINES ET CÔTIÈRES PROTÉGÉES

Dans un article de synthèse, Gray (1997) remarquait que la mesure quantitative de la biodiversité la plus fréquemment utilisée l'est pour une zone donnée plutôt que pour une communauté biologique. Ce sont ces zones physiques et les composantes biotiques qu'elles contiennent qui sont appelées "habitats". La diversité des habitats est donc finalement un terme plus utilisé que celui de diversité des écosystèmes dans la mesure où les habitats sont plus faciles à visualiser ; ils ont même souvent des frontières nettes.

Cette terminologie est désormais largement utilisée dans les stratégies de conservation de la biodiversité, et la meilleure solution pour protéger des espèces est en fait la conservation de leurs habitats. Cette remarque, généralisable en toutes circonstances, nous amène naturellement à aborder une partie concernant la protection des espaces en milieu marin dans un but de conservation.

V-3-1- La protection des zones marines au niveau mondial

V-3-1-1- Définition d'une aire marine protégée

Les zones marines et côtières ayant un label de protection sont désignées par le terme anglais *Marine and Coastal Protected Area* (*MCPA*, couramment raccourci en *MPA*). Dans l'usage commun, ce terme *MPA* est couramment utilisé, mais les zones ainsi nommées peuvent comprendre différents degrés de protection, allant de zones de réserve intégralement protégées aux zones permettant divers usages.

Pour l'*IUCN*, une *MCPA* est *toute zone intertidale ou subtidale, avec l'eau la couvrant et ses faunes, flores, traits historiques et culturels associés, ayant été mise en réserve par la loi ou d'autres moyens effectifs, pour protéger une partie ou l'ensemble de l'environnement enclos*.

La définition adoptée lors de la Convention sur la biodiversité (Conférence de Rio, 1992) est donnée par l'article 2 : il s'agit d'*une zone géographique bien définie qui est*

réglementée et gérée pour atteindre des objectifs spécifiques de conservation. Les paragraphes a, b, c et d de l'article 8 comportent des références spécifiques aux zones protégées. Le paragraphe a établit le principe d'un système d'aires protégées et de zones où des mesures spéciales doivent être prises pour conserver la diversité biologique. Le paragraphe b développe, quand c'est nécessaire, des directives pour la sélection, l'établissement et la gestion des zones protégées ou des zones nécessitant des mesures spéciales de conservation. Le paragraphe c régule ou gère des ressources biologiques importantes pour la conservation de la diversité biologique, que ce soit dans ou en dehors des zones protégées, dans l'optique d'assurer leur conservation et leur développement durable. Enfin, le paragraphe d encourage un développement environnemental sain et durable dans les aires adjacentes des aires protégées, dans l'optique d'en améliorer la protection.

L'*IUCN* a développé un système de classification pour les zones protégées, basé sur les principaux objectifs de gestion des sites. Six catégories y sont reconnues, sur la base de l'importance relative de leurs principaux objectifs de gestion (tableau V-1).

La catégorie Ia correspond à une **réserve naturelle stricte** (*Strict Nature Reserve*), Ib à une **zone sauvage** (*Wilderness Area*). La catégorie II correspond à un **parc national** (*National Park*), la III à un **monument naturel** (*Natural Monument*), IV à une **zone de gestion d'un habitat ou d'une espèce** (*Habitat/Species Management Area*), V à un **paysage terrestre ou marin protégé** (*Protected Landscape/Seascape*) et la catégorie VI à une **zone protégée de ressource gérée** (*Managed Resource Protected Area*). Cependant, le fait de savoir que telle *MPA* tombe dans une catégorie particulière du système *IUCN* n'est pas nécessairement une indication de sa taille, de son degré de protection ni même de l'étendue totale de ses objectifs de gestion.

La définition d'un parc national, selon l'*IUCN*, est celle d’une zone naturelle de terre et/ou de mer, désignée pour protéger l'intégrité écologique d'un ou plusieurs écosystèmes pour les générations actuelles et futures ; exclure l'exploitation et les activités contraires aux buts de la nomination de la zone et fournir un support pour les activités spirituelles, scientifiques, éducatives, récréatives, de loisirs et de visite, activités devant toutes être compatibles sur les plans environnemental et culturel.

Tableau V-1 : Catégories *IUCN* pour les aires marines et côtières protégées et objectifs de gestion (1 = objectif primaire ; 2 = objectif secondaire ; 3 = potentiellement inapproprié ; - = inapproprié). D'après UNEP-CBD (2001a).

	Catégories *IUCN*						
Objectifs de gestion	**Ia**	**Ib**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Recherche scientifique	1	3	2	2	-	2	3
Protection de l'état sauvage	2	1	2	3	3	-	2
Diversité spécifique / génétique	1	2	1	1	1	2	1
Services environnementaux	2	1	1	-	1	2	1
Traits naturels / culturels	-	-	2	1	3	1	3
Tourisme et loisirs	-	2	1	1	3	1	3
Education	-	-	2	2	2	2	3
Développement durable	-	3	3	-	2	2	1
Symbole culturel	-	-	-	-	-	1	2

V-3-1-2- Nombre et étendue par rapport aux aires terrestres

Fin 1996, la base de données des aires protégées du *World Conservation Monitoring Center* (*WCMC*) contenait 30 350 enregistrements d'aires protégées pour une surface totale de 13 232 275 km². Parmi ceux-ci, 2 149 sites ont au moins un élément marin, par exemple la pleine mer, des champs d'algues ou des formations de corail ; ces sites couvrent un total de 2 552 609 km².

L'interprétation de cette base de données est cependant délicate : en effet, les chiffres incluent 824 enregistrements classés comme île, où l'île entière est protégée, dont 583 ne sont pourtant pas enregistrés en tant que sites marins. En particulier, les deux plus grandes zones protégées incluses comme étant "marines" sont le *Greenland National Park* (972 000 km²), principalement terrestre, et le *Great Barrier Reef Marine Park* (344 800 km²), principalement marin. En excluant le *Greenland National Park* des zones marines, la surface totale des zones marines protégées est de 1 580 609 km² et celle des zones terrestres de 11 651 666 km² (UNEP-CBD, 2001a).

Les coordonnées géographiques de plus de 20 000 aires protégées dans cette base de données sont inconnues, ce qui rend difficile la comparaison entre les parties terrestres et

marines. L'analyse par SIG des 8 055 zones de coordonnées connues donne un total de 552 238 km² de composantes marines, alors que les composantes terrestres couvrent 6 642 121 km² (Green et Paine, 1997). En s'appuyant sur ces données spatiales limitées, la surface marine totale protégée est douze fois moins importante que la surface terrestre. Toutefois le traitement des données en termes de composantes terrestres et marines exclut l'analyse des composantes mixtes marines et côtières.

Un inventaire des sites existants par Kelleher *et al.* (1995, cité dans UNEP-CBD, 2001a) identifie autour du monde 1 306 *MPA* ayant une composante subtidale, mais un grand nombre d'aires côtières protégées possédant des traits terrestres ou uniquement intertidaux n'a pas été inclus.

D'après la base de données du *WCMC*, une augmentation marquée du nombre d'aires marines protégées nouvellement établies est observée à partir de 1970, puis un déclin dans la période 1990-1994. Cependant l'étendue totale des aires protégées a continué à augmenter, ce qui suggère une tendance à établir des aires marines protégées moins nombreuses mais plus étendues ou un regroupement de petites aires pour en former des plus grandes.

V-3-1-3- Représentativité des *MPA* existantes

La représentativité aux niveaux génétique, des espèces et des écosystèmes est une mesure utile pour visualiser à quel point les *MPA* protègent la gamme entière de la diversité biologique.

- Au niveau génétique, les mesures de biodiversité marine et côtière ne sont pas adaptées pour une utilisation sur le terrain, étant donné les disponibilités des ressources et les techniques courantes ; la représentativité à ce niveau biologique est donc très difficile à évaluer et par conséquent peu utilisée à grande échelle.

- Au niveau des espèces et dans les systèmes terrestres, l'estimation de la couverture des espèces-clés est utilisée pour connaître la représentativité et la santé d'un écosystème. Aucune étude de ce genre n'est connue pour les aires marines. Une mesure grossière de la représentativité peut cependant être donnée par l'identification de la couverture des *hot spots* de biodiversité (zones de forte richesse en espèces, en habitats particuliers et variés et sous forte menace).

- L'évaluation de la représentativité des écosystèmes est beaucoup plus problématique, à cause des difficultés pour classifier les écosystèmes ou les unités biogéographiques. Pour l'environnement terrestre, de nombreux systèmes de classification existent couramment, bien qu'aucun ne soit universellement accepté. De tels systèmes préétablis se sont montrés insuffisants quand ils sont appliqués à la nature tridimensionnelle et dynamique de l'environnement marin. En effet, dans un tel environnement, les frontières à la dispersion des organismes existent mais elles sont plus subtiles et les espèces subtidales, d'eaux peu profondes et de pleine mer ne subissent pas les mêmes influences.

V-3-1-4- Systèmes de classification pour évaluer cette représentativité

L'analyse de Kelleher *et al.* (1995) est actuellement le seul inventaire global existant des *MPA*. La zone marine mondiale y a été divisée en 18 régions, elles-mêmes divisées en unités biogéographiques en s'appuyant sur des critères biogéographiques complétés par des considérations politiques. La région de l'Atlantique Nord-Est comprend 41 *MPA*, soit 3,15 % du total mondial des 1 306 *MPA* recensées à travers le monde.

Il n'existe pas de système global de classification communément accepté à ce jour pour la biodiversité marine et côtière, bien que des systèmes régionaux aient été développés. Mais ces systèmes de classification ont été mis en place pour des buts divers et à des échelles spatiales et de résolution hétérogènes, aggravant encore le manque d'unité. Sur les 18 régions mondiales, 17 ont réussi à s'accorder sur un système de classification considéré comme le plus approprié pour leur région marine ; cet accord n'a pas été trouvé pour l'Antarctique.

En Europe, la classification des habitats *EUNIS* (*EUropean Nature Information System*) a été développée pour harmoniser la description et la collecte de données dans toute l'Europe par l'usage de critères précis pour l'identification des habitats (Davies et Moss, 2002).

La France a également entamé un programme d'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF), lancé en 1982 et étendu au milieu marin dès 1988 (Dauvin, 1994).

Le programme *BIOMARE* (*MARine BIOdiversity Research in Europe*), développé pour le Royaume-Uni et l'Irlande, vise à mettre en œuvre et à organiser un réseau à grande échelle et à long terme de la recherche sur la biodiversité marine en Europe. Elle a également

pour objectif la classification des biocénoses marines et leur inventaire autour des îles Britanniques et la mise en place d'un réseau de scientifiques et d'instituts de recherche.

La France a aussi développé des classifications extensives pour les récifs de coraux dans les océans Indien et Pacifique. L'*US NOAA* a développé des schémas de classification d'habitats marins pour la Floride, les Caraïbes et Hawaii. Un système de classification est publié pour les îles du Pacifique (Holthus and Maragos, 1995 cité dans UNEP-CBD, 2001a), basé sur des synthèses des *Regional Seas* de l'*UNEP* et des meetings de la *Pacific Science Association*.

Les *MPA* existantes représentent incomplètement les principaux types biogéographiques dans les 18 régions marines définies puisque seulement 79 % de ces zones (soit 118 sur 150) en comprennent au moins une.

Cependant, bien que l'absence d'un système global de classification rende les comparaisons difficiles, il semble que bien moins de 1 % de la surface totale de chaque zone biogéographique marine est inclus dans des *MPA*. C'est bien inférieur aux recommandations de l'*IUCN*, qui plaide pour que 10 % de chaque région biogéographique du monde soit inclus dans des aires protégées (Reid, 1998). Enfin, bien qu'environ la moitié de la surface terrestre soit occupée par des zones de pleine mer (au-delà de la limite des 200 miles nautiques des Z.E.E. des états côtiers), très peu de *MPA* s'étendent jusqu'à ces zones ou en couvrent une partie.

V-3-2- Les critères de choix pour l'institution d'aires marines protégées

Les raisons poussant à établir des zones marines protégées, les ressources impliquées et les acteurs qui seront affectés influencent tous grandement les *MPA*. En pratique, elles sont développées avec une variété de tailles, de modèles, d'objectifs de conservation, de degrés de protection et de moyens légaux (Bohnsack, 1998 ; Francour *et al.*, 2001).

V-3-2-1- Objectifs

Les raisons qui poussent les sociétés à créer des réserves sont très diverses. Les objectifs les plus courants concernent la protection d'espèces et d'habitats rares et vulnérables, la conservation d'un ensemble représentatif d'une gamme d'habitats, le maintien ou la restauration des fonctions écologiques, la promotion de la recherche et de l'éducation, une réserve permettant de sensibiliser les jeunes à la diversité du vivant et procurant un complément indispensable aux connaissances théoriques. La création d'un refuge concret peut également être un objectif, ainsi que le contrôle du tourisme et des activités de loisir, la mise en place d'un schéma de gestion côtière intégrée, le maintien de valeurs esthétiques et d'usages traditionnels et la valeur culturelle symbolique de ces zones (Jones, 2002). Les valeurs esthétiques et morales regroupent le plaisir d'observer une nature intacte et la satisfaction de la transmettre aux générations futures. Certains objectifs sont ludiques et récréatifs, le public visitant une réserve pour se distraire et découvrir des espèces ou des milieux particuliers difficilement observables ailleurs. La réserve devient un endroit qui échappe au développement.

La situation idéale serait une *MPA* fondée uniquement sur des critères écologiques et scientifiques mais le plus souvent, les réserves sont désignées pour des raisons esthétiques ou politiques, avec un équilibre délicat entre les considérations socio-économiques et les nécessités écologiques, afin de conserver le soutien des acteurs locaux (Airame *et al.*, 2001 ; Badalamenti *et al.*, 2002).

V-3-2-2- Critères de sélection

Une liste de critères est proposée par l'*IUCN* (UNEP-CBD, 2001a) pour aider à la sélection des zones marines à protéger ; ils sont résumés dans le tableau V-2.

Tableau V-2 : Critères utilisés pour la sélection des zones protégées.

Critères de conservation	**Critères de développement durable**
Diversité biologique	Importance économique
Représentativité biologique	Importance sociale
État sauvage primitif	Importance scientifique
Espèce critique	Importance culturelle
Habitat critique	

Pour augmenter les chances de réussite de l'aire marine protégée, les aires choisies doivent contenir une biodiversité importante au sein d'une espèce, entre les espèces ou les écosystèmes ou d'autres diversités reconnues pour être d'importance économique, sociale, scientifique ou culturelle, avec une taille suffisante pour préserver la dynamique de l'écosystème. La représentativité biologique est assurée par un assemblage particulier d'habitats ou d'écosystèmes caractéristiques ou une contribution à la représentation globale de types d'habitats ou d'écosystèmes (Cairns, 2003). Il est également indispensable que les perturbations anthropiques ou les dégradations soient nulles ou négligeables au sein de l'aire choisie (Francour, 1993 ; Day, 2002). L'aire marine protégée peut assurer la sauvegarde d'espèces critiques quand elle abrite des espèces endémiques, rares ou menacées ou des espèces reconnues pour être essentielles à leur survie, soit directement, soit par le maintien du fonctionnement de l'écosystème, c'est-à-dire des espèces clés (Johnson *et al.*, 1996 ; Ives *et al.*, 2000 ; Jonsson et Malmqvist, 2003). Elle peut aussi inclure des espèces d'importance économique, sociale, scientifique ou culturelle. Enfin, la zone doit contenir les habitats considérés comme critiques pour le cycle vital des espèces, comme les aires de ponte, de

naissance, de nurserie, de nourrissage et de repos (Roberts, 1995), les zones sources (Dias, 1996), ainsi que les aires associées à des processus biologiques et écologiques clés, comme la dispersion -larvaire (Palmer *et al.*, 1996) ou des juvéniles (Russ et Alcala, 1998)- et les migrations, toutes deux fréquentes en milieu marin.

La zone choisie représente une importance économique si elle abrite soit les ancêtres sauvages d'espèces domestiquées ou cultivées, soit l'aire considérée comme critique pour le cycle vital de ces espèces. Elle peut aussi receler des espèces à usage médical ou d'autre intérêt, même potentiel. Cette aire peut aussi être utilisée -ou être adjacente à une aire utilisée- pour des usages récréatifs, pour le tourisme ou pour le développement durable. Les critères conférant à une zone une importance sociale sont l'utilisation de cette zone pour l'éducation -ou sa position adjacente à une telle zone, le fait qu'elle soit une aire d'accord de la communauté ou d'accord politique pour la conservation et le développement durable, ou encore qu'elle présente un potentiel pour l'intégration de la conservation et du développement durable. Son importance scientifique est définie par son utilisation -ou utilisation potentielle- comme site de recherche dans la conservation et le développement durable (comme les espèces indicatrices) ou comme site de suivi dans les changements naturels et induits par l'homme. Son importance culturelle émane, quant à elle, d'un usage durable traditionnel par des populations locales ou indigènes, de sa valeur esthétique reconnue ou encore de sa qualité d'héritage naturel.

Il n'existe pas de guide spécifique pour les critères de sélection des sites de *MPA* dans la Convention sur la biodiversité, si ce n'est le paragraphe IV, annexe I de la décision II/10, qui identifie les habitats critiques pour les ressources marines comme un critère important pour la sélection des *MPA* dans le cadre d'une gestion intégrée des zones marines et côtières (aires de pontes, des sites de recrutement, zones-clés de reproduction et de migration et aires de forte productivité).

V-3-2-3- Taille minimale

La création d'une réserve résulte d'une volonté de la société de préserver son patrimoine naturel et suppose donc qu'elle reconnaisse implicitement que ses activités menacent l'environnement. Il ne suffit pas de délimiter une zone protégée si les atteintes à

l'environnement continuent en dehors de ses frontières et risquent de l'affecter indirectement. C'est pourquoi il est très important de savoir si la superficie protégée est suffisante pour assurer la conservation des espèces et des écosystèmes. S'il est théoriquement possible de définir une taille de population minimale la mettant à l'abri de l'extinction, l'estimation numérique des populations en milieu marin est cependant souvent difficile, voire impossible et il sera préférable de protéger une aire minimale plutôt qu'une population minimale. Une réserve doit donc avoir une dimension suffisante pour représenter la diversité spécifique naturelle et pour que toutes les espèces présentes soient représentées par des populations d'effectifs nettement supérieurs au minimum théorique (Mangel, 2000a). La taille des *MPA* dépend donc de deux facteurs principaux : son but et l'écologie des espèces concernées. Cependant, si la localisation et la taille idéales doivent être établies en fonction de chaque espèce cible, il devient difficile voire impossible d'avoir des objectifs large au départ (Planes *et al.*, 2000). De plus, le problème des mouvements de populations et des déplacements à grande échelle se pose pour les grandes espèces, nombreuses en milieu marin (poissons, mammifères…).

Les plus grandes *MPA* existantes incluent le *Great Barrier Reef Marine Park* (Australie) avec 34,4 millions d'hectares, la *Galapagos Islands Marine Resources Reserve and Whale Sanctuary* (Equateur) avec 8 millions d'hectares et la *Milieuzone Noordzee* (Pays-Bas) avec 2 millions d'hectares ; les plus petites sont la *Monaco Red Coral Reserve* et la *Monaco and Doctor's Gully Fish Reserve* (Australie), toutes deux de surface inférieure à un hectare. Sans inclure ces trois réserves, la taille moyenne des *MPA* est de 1,584 hectares (Kelleher *et al.*, 1995, cité dans UNEP-CBD, 2001a).

Malgré la variété de *MPA*, leurs modèles ont généralement suivi deux principales approches : les petites zones qui donnent une protection spéciale à des sites particulièrement précieux et les grandes aires, multi-usages, avec un système de gestion intégrée fournissant différents niveaux de protection à travers plusieurs zones de l'aire globale. Les grandes aires protégées multi-usages peuvent être particulièrement efficaces dans l'environnement marin car elles cherchent à atteindre un équilibre entre la conservation et le développement sur une vaste zone par la gestion intégrée d'écosystèmes complets. Une telle gestion intégrée nécessite cependant de partager et de coordonner les valeurs et les intérêts d'une large gamme d'acteurs à travers l'établissement et la gestion de ces sites (Day, 2002). Lors de la création d'une zone marine protégée, il est donc important de bien évaluer si une seule grande aire protégée est

préférable à plusieurs petites : c'est une des théories les plus débattues en biologie de la conservation (débat *SLOSS* : *Single Large Or Several Small,* Mc Neill et Fairweather, 1993).

La mise en place de plusieurs petites réserves assure la protection de plusieurs écosystèmes ou de certaines zones critiques. Ces réserves représentent également une garantie contre les atteintes régionales de l'environnement en multipliant les sites protégés. Par contre, cette multiplication des parcelles pose des problèmes de frontières, les risques étant multipliés dans les zones de contact entre réserve et non-réserve. De plus, l'absence de gestion dans les zones entourant les réserves risque de compromettre la réussite de la conservation. En effet, le milieu marin est un système ouvert, sans frontière (Steele, 1985), il n'existe donc pas de protection contre la pollution des eaux et les communautés sont influencées par les conditions très variables des masses d'eau (Allison *et al.*, 1998). La plupart des réserves marines ont aussi dans leur périmètre des îlots ou une marge littorale terrestre, or c'est dans ces zones d'interface entre terre et mer que la biodiversité est la plus menacée. Une grande réserve est faite pour protéger la plupart des petites espèces et permettre le maintien d'une variété d'écosystèmes mais elle ne sera cependant jamais assez grande pour couvrir les distances de migration.

Au niveau mondial, les connaissances sur les espèces et les populations sont extrêmement ténues et bien souvent empiriques ; de plus, la majorité des exemples se rapportent à l'écologie terrestre des vertébrés. Il semble donc plus que hasardeux de vouloir appliquer directement ces concepts aux milieux marins et à un large spectre d'invertébrés dont ni la stratégie de reproduction ni le mode de dispersion larvaire ne sont connus. La seule règle qui reste valable est l'augmentation du nombre des espèces avec la superficie. Il semble donc préférable de prévoir des réserves de grandes dimensions pour que leur protection à long terme soit effective sur tous les êtres vivants. On rejoint là le principe de précaution avancé à la Conférence de Rio : il faut créer de grandes réserves même si la connaissance exacte de ce qui est protégé n'est pas atteinte, par manque de modèle théorique et surtout parce que les inventaires sont incomplets (Richer De Forges, 1998).

V-3-2-4- Réseaux d'aires marines protégées

Pour protéger de façon optimale les écosystèmes entiers ou promouvoir la conservation, des réseaux d'aires protégées peuvent être aussi efficaces, voire même plus, que

des zones protégées individuelles. Les réseaux d'aires protégées sont alors désignés pour prendre en compte la dynamique du transport larvaire et les besoins des espèces migrantes ; elles peuvent ainsi améliorer la viabilité des espèces face à la variabilité environnementale (Murray *et al.*, 1999).

L'efficacité des aires marines protégées diminue avec l'augmentation du potentiel migratoire d'un animal (Polacheck, 1990 ; Carr, 2000). Cependant, des réseaux soigneusement désignés de *MPA* écologiquement reliées peuvent contribuer à la protection d'espèces migratrices et pélagiques. Des aires d'importance adaptée à des étapes de vie variées de ces espèces garantissent cette protection spéciale. Cela inclut les lieux de reproduction et les zones de nurseries.

Une conservation réussie d'espèces migratrices traversant les frontières nécessite souvent une action de collaboration entre de nombreux pays. Comme cela est mis en avant dans la Convention sur la biodiversité, une action nationale combinée avec une coopération régionale est une étape essentielle dans la protection de la biodiversité mondiale (préambule, articles 5, 17, 18, 20-30). La protection de la mer de Wadden nécessite par exemple une collaboration entre le Danemark, L'Allemagne et les Pays-Bas, et concerne des zones classées en réserves naturelles et en parc national (Enemark *et al.*, 1998).

Selon le *Scientific Consensus Statement on Marine Reserves and Marine Protected Areas* (NCEAS, 2001), un réseau de réserves tempère les caprices de la variabilité de l'environnement et fournit une protection significativement meilleure qu'une réserve seule pour les communautés marines. Un réseau efficace nécessite toutefois de franchir de grandes distances géographiques et de couvrir une aire substantielle pour protéger contre les catastrophes et fournir une plate-forme stable favorisant la persistance à long terme des communautés marines.

Une autre possibilité consisterait à protéger les espèces elles-mêmes plutôt que les zones géographiques dans les cas de migration à des échelles incompatibles avec la limitation d'une zone à protéger. C'est le cas notamment de plusieurs espèces de baleines, pour lesquelles un moratoire international interdit la chasse et la destruction des individus. Cette protection s'est révélée assez efficace, malgré les problèmes d'application de ces interdictions pour certains pays récalcitrants ou attachés à la chasse de ces espèces pour des raisons culturelles et traditionnelles.

V-3-2-5- L'approche "écosystème"

L'article 8 de la Convention sur la biodiversité appelle les États à réguler ou gérer les ressources biologiques importantes pour la conservation de la diversité biologique à l'intérieur comme à l'extérieur des zones protégées. L'objectif recherché est d'assurer leur conservation et leur développement durable et de promouvoir, pour les zones adjacentes, un environnement sain et un développement durable, dans l'espoir d'améliorer la protection de ces aires.

Le paragraphe IV de l'annexe I à la décision II/10 place clairement les zones marines et côtières protégées dans le cadre d'une gestion intégrée de la zone marine et côtière (IMCAM = *Integrated Marine and Coastal Area Management*) et identifie les habitats critiques pour les ressources marines vivantes comme un critère important de leur sélection. Un document de l'*IUCN* (UNEP-CBD, 2000) résume les instruments existants pour la gestion de la zone marine et côtière et leurs implications pour la mise en œuvre de la convention, laquelle discute en profondeur des mesures de conservation qui pourraient améliorer la protection du fonctionnement de l'écosystème, en plus de la protection de stocks spécifiques.

Le paragraphe 3 de l'annexe à la décision IV/5 spécifie que les aires protégées doivent être intégrées à des stratégies plus larges pour prévenir les effets antagonistes des activités externes aux écosystèmes marins et côtiers. La conservation et le développement durable sont des objectifs complémentaires dans la stratégie propre de gestion et les aires protégées doivent servir en tant qu'outil pour accomplir ce but.

L'approche écosystème est reconnue comme une stratégie pour la gestion intégrée d'une terre, d'eau ou de ressources vivantes ; elle permet la conservation et le développement durable dans une mesure équitable (décision V/6). L'usage d'une petite *MPA* hautement protégée (zone de réserve intégrale) à l'intérieur des plans de gestion d'une plus vaste zone côtière ou l'usage d'une grande *MPA* multi-usages, peut agir comme un outil pour mettre en pratique l'approche écosystème dans le cadre de la gestion des ressources marines et côtières (Polacheck, 1990 ; Mangel, 1998 ; Bohnsack, 1998).

Une petite *MPA* hautement protégée à l'intérieur d'une zone côtière plus large permet de protéger des aires reconnues comme habitats critiques. Avec une planification et une gestion appropriées de ces *MPA* individuelles ou d'un réseau de tels sites, la conservation de la diversité biologique et la préservation du fonctionnement de l'écosystème peuvent être accomplis. Une telle stratégie est cependant totalement dépendante de solides connaissances scientifiques sur les espèces individuelles, comme sur la dynamique de l'écosystème. Des suivis scientifiques à court, moyen et long termes apparaissent alors indispensables pour

disposer de toutes les informations nécessaires sur les systèmes considérés, ce qui peut s'envisager dans le cadre d'"observatoires de la biodiversité", associés aux zones protégées (Francour *et al.*, 2001 ; Fraschetti *et al.*, 2002).

Une *MPA* multi-usages peut, elle aussi, faciliter cette stratégie. Elle contient des zones centrales strictement protégées pour conserver la biodiversité et maintenir le fonctionnement de l'écosystème, entourées par des zones tampon ou de développement durable, assurant le contrôle de l'accès et la minimisation des impacts associés aux usages humains. Ce zonage permet de séparer les conflits d'usage et de conserver les zones sensibles (Day, 2002). Cette forme de *MPA* est spécialement adaptée à un environnement marin fluide, où les organismes se meuvent librement et où les frontières d'un habitat sont souvent difficiles à déterminer. Mais son avantage principal est de faciliter la gestion intégrée de nombreuses ressources par de multiples juridictions et pour le bénéfice de multiples acteurs, sans que sa mise en place soit alourdie par des problèmes propres aux réseaux internationaux.

V-3-3- Bilan fonctionnel des *MPA* dans le monde

V-3-3-1- Effets bénéfiques des *MPA*

Protection de la biodiversité :

L'efficacité des aires marines protégées et en particulier des réserves marines intégrales (*no-take MPA*) a été démontrée par de nombreuses études. Les réserves marines induisent de nombreux effets écologiques. À l'intérieur des frontières des réserves, des augmentations à long terme et souvent rapides (Halpern et Warner, 2002) de l'abondance, de la diversité et de la production des organismes marins sont observées, dues à une diminution de la mortalité et de la destruction d'habitats et à des effets indirects de l'écosystème. C'est "l'effet réserve", dans lequel deux composantes peuvent être détectées. L'effet "refuge" se manifeste par la présence d'espèces rares et de poissons plus gros ; il est dû à la suppression d'une perturbation sélective, le plus souvent la pêche (Francour, 1991). Dans certains milieux, comme les herbiers de phanérogames, l'effet "tampon" se manifeste par une atténuation sensible des fluctuations saisonnières de plusieurs paramètres, comme les densités, la biomasse, la diversité. Il résulte de la diminution des perturbations non sélectives (mouillages, pollution) amenant la destruction du milieu (Francour, 1993). Parallèlement, une réduction de la probabilité d'extinction est constatée pour les espèces marines résidentes dans les réserves. Des aires protégées bien situées se sont ainsi révélées spécialement efficaces pour les poissons à grande longévité, qui deviennent sexuellement matures après l'âge auquel ils sont vulnérables à la pression de pêche ou pour les espèces qui présentent un hermaphrodisme consécutif, les individus d'un seul sexe étant alors sujets à une plus forte pression de pêche.

En marge des frontières des réserves, les effets écologiques notés concernent une augmentation de la taille et de l'abondance des espèces exploitées dans les zones adjacentes aux réserves, ainsi qu'un réapprovisionnement des populations régionales par l'exportation de larves ou d'adultes (Mc Clanahan et Mangi, 2000 ; Roberts *et al.*, 2001). Une protection intégrale est cependant indispensable pour atteindre la pleine étendue des bénéfices, car les aires marines protégées fournissent des résultats moins satisfaisants que les réserves marines intégrales (Day, 2002).

L'efficacité de la conservation des espèces et de la biodiversité dans des aires protégées intégrales (*no-take protected areas*) est montrée dans de nombreux travaux (Allison

et al., 1998 ; Bohnsack, 1998 ; Russ et Alcala, 1998 ; Murray *et al.*, 1999). Ainsi, la protection d'habitats critiques pour des espèces commercialement importantes ou l'identification d'espèces-phares (*flagship*) dans les réserves marines strictes doivent faciliter la conservation de toutes les composantes d'un écosystème. Cependant, le label d'une zone ne suffit pas en lui-même à la protéger des activités illégales ; c'est pourquoi des moyens de gestion doivent suivre pour assurer l'application des nouvelles normes.

Les zones protégées qui réduisent ou interdisent les usages de pêche peuvent protéger les habitats marins respectifs de la dégradation causée par des pratiques de pêche destructives (Allison *et al.*, 1998 ; Bohnsack, 1998) et préserver ainsi les fonctions de l'écosystème. Ces dégradations sont multiples : le chalutage pour les espèces de fond détruit par exemple de nombreuses espèces capturées accessoirement puis rejetées, ainsi que l'habitat de beaucoup d'espèces non ciblées et altère donc le fonctionnement de l'écosystème (Tasker *et al.*, 1999). L'ensemble des fonds de la mer du Nord serait chaluté au moins deux fois par an (Lindeboom et De Groot, 1998). L'usage commun d'explosifs pour la pêche des récifs coralliens réduit la complexité structurelle de l'habitat, dont dépend souvent la diversité spécifique, tandis que l'emploi de produits chimiques pour la pêche de poissons destinés à la consommation humaine (Gray, 1997 ; King et Faasili, 1998) et au commerce d'agrément menace encore plus la dynamique de l'écosystème au travers des dommages infligés aux composantes de l'écosystème.

Recherche scientifique :

Les zones réservées pour la conservation stricte par l'établissement de *MPA* peuvent servir de sources de données sur les connaissances fondamentales des espèces individuelles et des fonctions de l'écosystème, y compris pour des espèces ou des habitats rares, voire disparus en dehors de ces réserves. Elles peuvent également servir pour évaluer l'effet réserve en tant que site "impacté" positivement, comparativement à un site similaire non protégé (Fraschetti *et al.*, 2002). Cependant, les zones de réserve étant souvent choisies en fonction de leur caractère unique, il peut s'avérer très difficile de trouver des sites de contrôle équivalents. Les zones protégées des impacts anthropiques peuvent en tout cas servir de sites de référence pour évaluer à la fois l'impact anthropique et les évolutions naturelles dans l'environnement marin. En cette qualité, elles peuvent permettre des estimations de développement durable des ressources vivantes et, au-delà, fournir des sites non perturbés pour apprécier et suivre les changements à l'échelle globale (*global change*).

Tourisme et loisirs :

Les *MPA* peuvent constituer des zones dans lesquelles le public et les touristes ont la possibilité de jouir d'un environnement marin sain au travers d'activités de loisirs nautiques. Le tourisme doit générer en retour des bénéfices économiques à la nation et à la communauté locale. Les îles des Caraïbes par exemple, qui attirent chaque année des millions de visiteurs sur leurs plages et leurs barrières de corail, tirent de l'industrie du tourisme la moitié de leur Produit National Brut, évalué à 8,9 milliards de dollars US en 1990 (UNEP-CBD, 2001a).

Plusieurs autres exemples tirés de cette région démontrent la valeur économique des *MPA* quand elles sont correctement intégrées dans une stratégie de gestion : le parc national des *Virgin Islands*, avec 750 000 visiteurs par an, produit onze fois plus de bénéfices économiques qu'il ne coûte ; les sommes dépensées par les plongeurs au *Bonaire Marine Park* (Antilles néerlandaises) couvrent les dépenses opérationnelles du parc et contribuent approximativement pour 30 millions de dollars US par an à l'économie des îles. Dans les Iles Caïmans, pourtant relativement petites, les aires marines protégées attirent 168 000 plongeurs par an, qui rapportent aux îles environ 53 millions de dollars US.

Éducation du public :

Les *MPA* peuvent jouer un rôle précieux dans l'éducation et la formation du public au regard des menaces contre la biodiversité et des opportunités pour son développement durable. Le programme *Man and Biosphere* de l'*UNESCO*, avec environ 400 sites, représente spécifiquement une des fonctions des réserves de biosphère pour l'éducation à l'environnement et la formation. L'implication des acteurs et des groupes d'usagers dans le processus de planification des *MPA* en lui-même s'est révélée un outil éducatif très efficace (Agardy, 1994), tandis que les améliorations visibles résultant de la santé de l'écosystème servent de preuve directement observable (Brunckhorst, 2001).

Protection des sites à l'état sauvage :

Les *MPA* peuvent être efficaces dans la protection des zones à l'état naturel en conservant leur caractère intact. L'idée de protection d'un lieu sauvage implique un impact humain minimal sur ces sites ou au moins sur des portions de ceux-ci. Des mesures doivent donc être prévues dans les plans de gestion, afin de limiter l'impact humain. Cependant, les activités humaines sur la terre et la mer s'exerçant même en dehors des limites des *MPA*, telles que la pollution et la surexploitation ou même seulement les accès directement autorisés dans

les zones protégées, risquent de les rendre inopérantes dans la protection des sites naturels, surtout si elles sont de tailles resteintes.

Modération et résolution des conflits :

Les *MPA* offrent une opportunité pour la gestion intégrée de multiples ressources concernant des acteurs tout aussi nombreux (Agardy, 1994). L'utilisation d'un tel mécanisme peut servir à minimiser les querelles juridictionnelles de gestion et fournir un moyen pour l'investissement des acteurs, réduisant ainsi les conflits d'usage. L'implication des acteurs facilite l'évaluation économique pour les usagers, ce qui crée une opportunité en faveur de la biodiversité et de son développement durable réel (Idechong et Graham, 1998 ; Walls, 1998 ; Day, 2002). Une autorité commune reconnue par tous les acteurs s'avère cependant nécessaire pour diriger la gestion et résoudre les conflits (C.E.E., État, Région, *etc*…).

Services environnementaux :

Les *MPA* peuvent maintenir la dynamique de l'écosystème à travers la préservation de toutes ses composantes et ainsi protéger les divers services environnementaux que les habitats marins et côtiers fournissent (Naeem *et al.*, 1994). Bien que ces effets soient difficiles à mesurer physiquement et à évaluer économiquement, leur participation au bien-être de l'humanité est à considérer sérieusement.

Ces services incluent en effet des processus aussi variés que la stabilisation de la composition gazeuse de l'atmosphère terrestre (qui aide en retour à réguler le climat), le contrôle des cycles hydrologiques, la protection des lignes de côte, la génération et la conservation de sols fertiles essentiels à l'agriculture et aux forêts, l'assimilation des déchets et le recyclage des nutriments, le contrôle de la grande majorité des vecteurs de maladie, l'approvisionnement direct en nourriture dans les terres et les mers et le maintien d'une vaste "bibliothèque génétique" dans laquelle les sociétés humaines ont depuis toujours tiré les fondements de leurs civilisations, à travers les plantes, les animaux domestiques, les produits médicinaux et industriels (Heywood et Watson, 1995).

Aspects naturels et culturels :

La reconnaissance des valeurs culturelles et intrinsèques de la biodiversité est évidente dans le préambule de la Convention sur la biodiversité : les *MPA* peuvent faciliter la préservation d'un héritage culturel développé au-delà des générations autour des ressources marines et côtières, en fournissant des zones d'usage traditionnel pour les populations locales.

L'aspect culturel de la biodiversité reconnaît un rôle important aux valeurs sociologiques, éthiques, religieuses et ethnobiologiques des activités humaines. Les dimensions culturelles différentes dans les diverses parties du monde ont d'ailleurs joué un rôle primordial dans la façon avec laquelle la biodiversité est perçue, maintenue, préservée, utilisée et appréciée.

V-3-3-2- Efficacité réelle des aires marines protégées

V-3-3-2-1- Mesure de l'efficacité d'une MPA

L'évaluation de l'efficacité des *MPA* dépend bien évidemment directement de l'efficacité de l'évaluation elle-même. Or les objectifs de biodiversité des zones marines protégées sont souvent définies de façon diffuse. Ainsi, fixer des objectifs et des cibles pour mesurer leur efficacité peut se révéler quelque peu complexe. L'échelle à laquelle la biodiversité est définie et mesurée, que ce soit au niveau des gènes, des espèces ou des écosystèmes, peut former une composante-clé de cet objectif. L'incertitude principale dans le développement des buts de conservation pour les *MPA* est d'apprécier dans quelle mesure les habitats, et les biotopes dans ces habitats, sont en fait représentatifs de plus larges systèmes. L'évaluation de l'efficacité d'une *MPA* concerne quatre voies principales.

- Au niveau génétique, les cibles d'évaluation incluent la diversité génétique intrapopulation des espèces en danger et menacées.

- Au niveau des espèces, les buts potentiels à atteindre incluent une meilleure viabilité de la population locale des espèces en danger ou menacées et une amélioration de la stabilité et de l'abondance des espèces indicatrices, clés et phares.

- Au niveau des communautés, les paramètres effectifs sont choisis pour refléter les processus qui opèrent au-dessus du niveau spécifique. La richesse spécifique et la diversité font partie de ces paramètres, mais ils ne concernent habituellement qu'un sous-échantillon de la communauté. La diversité microbienne est par exemple rarement incluse dans les mesures de richesse spécifique. De plus, des différences taxonomiques peuvent résulter des différences de performances des systématiciens ; une alternative pourrait alors résider en la mesure de la richesse spécifique à partir du rôle écologique et de l'organisation trophique des espèces.

- Enfin les propriétés du paysage sont particulièrement importantes pour évaluer les réseaux de zones protégées. Les mesures devraient inclure les types, la taille, le nombre, la forme et l'arrangement des habitats. Un paysage stable devrait requérir un équilibre de la redondance -la perte d'un habitat n'entraînerait pas alors la perte de l'intégrité du paysage- et de la complémentarité, atteinte lorsque beaucoup d'habitats différents sont inclus dans le paysage, pour en assurer la représentation et la diversité (UNEP-CBD, 2001a). Cependant, la recherche de la stabilité d'un paysage n'est pas nécessairement un but à poursuivre : le milieu marin fournit en effet de nombreux exemples de paysages naturellement instables (côtes, plages de sable, rives d'abers, *etc*…) et une stabilisation par un aménagement littoral aurait un effet désastreux sur le fonctionnement de l'écosystème qu'il abrite et donc sur l'avenir de ce paysage lui-même.

V-3-3-2-2- Raisons du manque d'efficacité

Un suivi des sites a été mené dans 383 *MPA* pour évaluer à la fois leur efficacité à atteindre les objectifs pour lesquels elles ont été instituées et l'efficacité de leur gestion. Les données montrent que près d'un tiers des *MPA* n'ont pas atteint leurs objectifs de gestion (UNEP-CBD, 2001a). Les raisons récurrentes à ce constat d'échec sont nombreuses ; les plus couramment citées sont :

- des ressources financières et techniques insuffisantes pour développer et exécuter les plans de gestion ou l'absence d'une équipe entraînée.

- le manque de données pour les décisions de gestion, incluant des informations sur les impacts de l'utilisation des ressources et sur le statut des ressources biologiques.

- le manque de soutien public et la mauvaise volonté des usagers pour respecter les règlements de gestion, souvent parce que ceux-ci n'ont pas été impliqués dans l'établissement des règles.

- un label légal déposé inadéquat pour faire valoir et imposer la gestion.

- une utilisation des ressources dans les *MPA* sans souci du long terme.

- l'impact des activités humaines sur les zones terrestres et maritimes en dehors des limites des *MPA*, incluant la pollution et la surexploitation.

- le manque de répartition claire des responsabilités pour la gestion et l'absence de coordination entre les agences responsables relevant des *MPA*.

Les résultats favorables des *MPA*, aux niveaux social et biologique, sont toujours corrélés avec des frontières claires, des droits à l'usage des ressources bien définis, des mécanismes accessibles de résolution des conflits et des droits d'autogestion pour les usagers.

À l'inverse, de nombreuses zones protégées existent sur le papier mais offrent peu de protection en pratique. Ces "parcs sur papier" (*paper parks*) sont assez communs : dans certains pays, le pourcentage de *MPA* de ce type atteindrait les 80-90 % (Hockings *et al.*, 2001). Les raisons expliquant cette situation vont des fonds insuffisants au manque de soutien de la communauté. Beaucoup de *MPA* à travers le monde sont sous financées, manquent d'équipes entraînées, de fonds, ainsi que de processus de gestion et d'évaluation, lacunes souvent liées à un manque de volonté politique (Hockings *et al.*, 2001).

L'insuffisance de mise en application des règlements est également citée comme l'une des raisons d'échec des *MPA* ; la présence d'une autorité de contrôle est pourtant absolument nécessaire pour prévenir le braconnage et autres infractions aux réglementations des *MPA*. La présence d'une équipe sur le terrain est indispensable ; celle-ci doit être cohérente, motivée et indépendante des pressions de toute origine (Francour *et al.*, 2001).

Une autre source potentielle d'échec réside dans l'existence de conflits entre les objectifs. Ainsi, un conflit potentiel existe entre l'exploitation des ressources et la conservation de la biodiversité, entre la recherche scientifique et l'usage récréatif ou encore entre la conservation de la biodiversité et son usage récréatif ou éducatif. Par exemple, le nourrissage des poissons peut changer leur comportement et leur répartition ; de même, le piétinement peut endommager des ensembles vivants sensibles s'il est mal géré.

Ces conflits potentiels ne sont cependant pas inéluctables et peuvent être minimisés par une gestion intégrant tous les usages. La *Leigh Marine Reserve* (Nouvelle-Zélande) a ainsi démontré que les *MPA* peuvent incorporer des activités de loisirs et de tourisme avec un impact minimum (Walls, 1998).

V-3-3-3- Rôles des *MPA* dans le développement durable des pêcheries

V-3-3-3-1- Atouts d'une gestion multi-espèces

Le fonctionnement et la résilience d'un écosystème côtier et marin dépendent des relations dynamiques au sein des espèces, entre les espèces et entre les espèces et leur environnement physique. L'état actuel des pêcheries mondiales montre que les stratégies de gestion basées sur une seule espèce, qui recherchent un équilibre entre l'exploitation et le renouvellement du stock sans considérer la dynamique de l'écosystème, ont échoué (Mangel, 2000b ; Tuck et Possingham, 2000 ; Gerrodette *et al.*, 2002). Parmi les stocks majeurs de poissons pour lesquels des informations sont disponibles, 44 % sont à leurs limites d'exploitation, 16 % sont surexploités tandis que 6 % sont déjà épuisés (Vitousek *et al.*, 1997 ; Lauck *et al.*, 1998). La gestion multi-espèces requiert une compréhension plus large de la dynamique de l'écosystème et de l'océanographie physique ou une stratégie de gestion intégrée qui conserve la structure et la fonction de l'écosystème, dans le but de maintenir les bénéfices de l'écosystème.

V-3-3-3-2- Effets des zones refuge dans et hors des aires protégées

Une réserve permanente semble être une garantie beaucoup plus efficace pour la reproduction des espèces exploitées que les réglementations définissant des périodes de fermeture, qui n'ont souvent pas de fondements scientifiques. En effet, il n'y a souvent pas de relation directe entre le nombre de reproducteurs et l'abondance du stock ; autrement dit, la fermeture d'une pêcherie pendant la période de reproduction est généralement sans effet sur les effectifs. L'effet bénéfique d'une saison de fermeture traduirait en fait uniquement la réduction de l'effort de pêche qui en résulte (Richer De Forges, 1998). Ainsi, la protection de zones telles que les aires de reproduction ou les nurseries serait beaucoup plus efficace que l'établissement de périodes de fermeture de la pêche (Day, 2002).

En effet, un des rôles écologiques des *MPA* dans la gestion des pêcheries est de fournir des refuges dans lesquels des stocks commercialement importants grandissent et se reproduisent sans interférence. Il est prouvé que les *MPA* peuvent conserver des espèces

d'importance commerciale par la préservation des populations reproductives (Agardy, 1994 ; Allison *et al.*, 1998 ; Bohnsack, 1998), avec des augmentations marquées dans la taille moyenne et la densité des individus (Roberts, 1995 ; Francour, 1996 ; Halpern et Warner, 2002).

De nombreux auteurs ont également suggéré que les *MPA* ne permettant aucun prélèvement d'espèces peuvent soutenir ou augmenter les captures dans la zone à l'extérieur de l'aire protégée (Roberts, 1995 ; Bohnsack, 1998 ; Mc Clanahan et Mangi, 2000). Ce concept est basé sur l'idée que les aires protégées se comportent comme des couveuses ou des nurseries naturelles, dans lesquelles la reproduction et la croissance ne sont pas contrariées et peuvent même être améliorées. Les populations qui se développent dans les réserves fournissent les pêcheries alentours à travers l'exportation de larves et d'adultes (Roberts *et al.*, 2001).

V-4- MESURES DE PROTECTION ET OUTILS DE CONSERVATION ET DE GESTION EN FRANCE

Diverses mesures de protection et de conservation, propres à la juridiction française, s'ajoutent et/ou s'adaptent à l'application des textes internationaux concernant la protection des habitats et des espèces marines. Il faut cependant dissocier les mesures de protection d'un territoire, qui sont de trois ordres (réglementaires, foncières ou contractuelles), des simples outils de reconnaissance de la valeur patrimoniale d'un site, qui n'entraînent pas la mise en place d'une réglementation reconnue par la loi.

V-4-1- Les protections

V-4-1-1- Protections réglementaires

Ces protections disposent d'un statut reconnu au titre de la loi, auquel est associée une réglementation plus ou moins contraignante. Elles peuvent être définies au niveau départemental (sites classés ou inscrits, arrêtés de biotope) ou national (parc national, réserves naturelles, réserves de chasse).

Loi de 1930

En France, la plus ancienne réglementation concernant l'environnement est la loi du 2 mai 1930, qui vise à protéger les sites *naturels* ou bâtis, à *caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque*, contre les aménagements ou travaux ne relevant pas de l'exploitation courante. Ce type de protection s'inspire donc directement de celle du "monument historique", c'est pourquoi les surfaces couvertes par ces sites étaient en général très restreintes.

Sites inscrits ou classés

Une vision plus globale s'est ensuite développée, avec la mise en place de deux principaux types de protection de sites : l'inscription, qui vise seulement à suivre et contrôler l'évolution des sites, et le classement, protection lourde qui tend à conserver en l'état des espaces de grande qualité.

Parcs nationaux (lois du 22 juillet 1960, du 10 juillet 1976 en partie et du 2 février 1995)

Les parcs nationaux, créés en 1960, sont inspirés de la conception anglo-saxonne de la protection de l'environnement. Ils ont pour objectif la protection de la faune et de la flore, des eaux, de l'atmosphère et du milieu naturel en général. Ils permettent donc la protection de vastes espaces avec des contraintes réglementaires importantes, qui se traduisent notamment par un zonage destiné à harmoniser la préservation du milieu naturel, son utilisation traditionnelle et la mise en valeur du territoire classé.

La mer d'Iroise constitue une des premières zones marines à se trouver au cœur d'un projet de parc national.

Réserves naturelles et réserves naturelles volontaires (lois du 1er juillet 1957 et du 10 juillet 1976)

La loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature est à l'origine de plusieurs formes de protection. Elle autorise la création de réserves naturelles par l'État, afin de protéger une zone naturelle identifiée pour sa valeur patrimoniale et scientifique, pouvant inclure le DPM et les eaux territoriales. Il s'agit d'une protection très forte, créée pour une durée indéterminée.

Les réserves naturelles volontaires sont créées sur l'initiative d'un propriétaire ou d'une association, pour assurer la protection de leurs terrains, dans la mesure où la faune et la flore présentent un intérêt particulier sur le plan scientifique et écologique.

Arrêté de biotope

L'arrêté préfectoral de conservation des biotopes, dit "arrêté de biotope", est une procédure légère qui permet d'assurer la préservation des biotopes indispensables à la survie d'espèces protégées.

Réserves de chasse et de la faune sauvage et réserves de chasse maritime (lois de 1968 et de 1975)

Il existe aussi des réserves de chasse et de la faune sauvage, dans lesquelles la chasse, ainsi que certaines activités sont interdites ou réglementées. Les réserves de chasse maritime, instituées sur le DPM, constituent un cas particulier car elles ne réglementent que l'activité de chasse sur le territoire concerné. Celle-ci y est interdite en tout temps pour une durée minimum de 6 ans.

Loi littoral

L'occupation de l'espace est contrôlée par la loi du 3 janvier 1986 (dite "loi littoral"). Celle-ci s'applique aux communes littorales, définies comme *riveraines des mers et des océans, des étangs salés (et des plans d'eau intérieurs d'une superficie supérieure à 1 000 hectares), riveraines des estuaires et des deltas lorsqu'elles sont situées en aval de la limite de salure des eaux et participent aux équilibres économiques et écologiques littoraux.*

Elle interdit la construction sur la bande de 100 mètres à compter de la limite haute du rivage, en dehors des zones urbanisées et dicte des règles de conduite précises. Les documents d'urbanisme doivent déterminer la capacité d'accueil des espaces, ce qui les oblige à prendre en compte la préservation des espaces terrestres et marins, des sites et des paysages remarquables caractéristiques du patrimoine naturel et culturel du littoral et les milieux nécessaires aux équilibres écologiques, la protection des espaces nécessaires au maintien ou au développement des activités agricoles, pastorales ou forestières et maritimes, et les conditions de fréquentation par le public des espaces naturels, du rivage et des équipements qui y sont liés.

SMVM

Des Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM), institués par l'article 57 de la loi de décentralisation du 7 janvier 1983, fixent les orientations fondamentales de la protection, de la mise en valeur économique (cultures marines, pêche, développement industriel, activités de loisirs et de tourisme) et de l'aménagement du littoral. Ils déterminent également la vocation des différentes zones de l'espace marin et littoral et précisent les mesures qui s'y rapportent, notamment les mesures de protection du milieu marin.

Loi sur l'eau

La loi du 4 janvier 1992, dite "loi sur l'eau", instituant les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), permet de contrôler les activités des bassins versants et renforce donc la protection des zones humides dont les estuaires, les deltas et toute la zone supra littorale (marais salés, vasières, *etc*…).

V-4-1-2- Protections foncières

Elles se rapportent à l'ensemble des acquisitions réalisées par des collectivités publiques locales, départementales ou nationales, dans une optique de protection des espaces naturels. Les espaces concernés sont ainsi soustraits pour une durée déterminée ou indéterminée (CEL) à toute opération foncière et sont généralement légèrement aménagés pour favoriser l'accueil et l'information du public.

En France, c'est le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL appelé Conservatoire du Littoral) qui mène la politique la plus active dans ce domaine. Il a été créé par l'État en juillet 1975 en réaction à l'absence alors avérée de loi sur le littoral et de schémas d'aménagement efficaces, pour faire face à la pression démographique et à la dégradation de certains rivages. La mission de cet organisme est de protéger un *patrimoine de nature et de liberté* en France, en menant une politique foncière de sauvegarde de l'espace littoral, de respect des sites naturels et de l'équilibre écologique dans les zones côtières ou riveraines de lacs et de plans d'eau de superficie au moins égale à 1 000 hectares. Il peut acquérir des terrains depuis la loi du 2 février 1995 sur le renforcement de la protection de la nature.

Au moins 45 000 hectares ont été acquis depuis sa création, soit 340 sites, 620 km de rivages (dunes, falaises, bois et forêts, marais, vasières, landes, maquis, criques, abers, îles et îlots), représentant 10 % du littoral français. D'autre part, en plus des terrains effectivement acquis sur le littoral, le Conservatoire du Littoral dispose d'un droit de préemption approuvé par le conseil d'administration.

Les deux objectifs de cet établissement public d'État sont parfois contradictoires, puisqu'il s'agit à la fois de protéger de façon définitive des milieux naturels fragiles et menacés et de les laisser librement accessibles au public.

Dans le cadre de la loi du 18 juillet 1985, les Conseils Généraux mettent également en place des politiques départementales de gestion des espaces sensibles, afin d'assurer la protection et l'ouverture au public des espaces naturels sensibles, grâce à une démarche d'acquisition foncière, d'aménagement et de gestion, dont le financement est assuré par une taxe perçue sur les constructions. Le département, ainsi titulaire d'un droit de préemption, peut le céder au CEL ou à la commune concernée.

Cependant, le caractère non permanent de ces acquisitions foncières rend l'efficacité de cette protection incertaine.

Une protection foncière forte n'est prévue qu'en milieu terrestre : elle peut être mise en œuvre par le biais du Code rural dans les massifs forestiers (forêts domaniales et forêts bénéficiant du régime forestier).

V-4-1-3- Protections contractuelles

Elles témoignent d'une reconnaissance de la valeur patrimoniale d'un site ou d'un espace au plan régional, national ou international, qui se traduit par une labellisation (réserve de biosphère), par un engagement de la part d'une association (réserves SEPNB) ou encore d'une organisation sous la forme d'une charte, comme pour le Parc Naturel Régional d'Armorique. Ce type de protection ne s'accompagne pas de réglementation à valeur juridique.

Zones de protection spéciales

Les zones de protection spéciales de la Directive oiseau sont une protection contractuelle de niveau international.

Directive Habitats

La Directive habitats (adoptée par la C.E.E. le 21 mai 1992) a pour but de garantir le maintien de la diversité biologique par la conservation d'habitats naturels et de faune et flore sauvages. Il s'agit bien d'une mesure de protection contractuelle, puisque chaque état membre s'engage à maintenir des espaces en bon état de conservation. Cette directive aboutira à la constitution d'un réseau européen d'espaces protégés : le "réseau *Natura 2000*".

Les réserves de biosphère

Les réserves de biosphère sont des sites remarquables labellisés par le programme *Man And Biosphere* (*MAB*) de l'*UNESCO*. Elles sont basées sur un zonage ordonnant trois types d'espaces : une zone centrale rigoureusement protégée et dédiée à la conservation d'espèces et d'écosystèmes remarquables et à leur suivi scientifique, une zone tampon, associant les fonctions de conservation, de développement et d'éducation à l'environnement, et une aire de transition, où une coopération active est recherchée avec l'ensemble des acteurs dans un but de développement durable. Bien que la réserve de biosphère n'ait aucune valeur réglementaire, elle constitue une reconnaissance internationale d'un territoire de grande qualité environnementale et humaine.

Les parcs naturels régionaux

La loi du 8 juillet 1993 préconise que les parcs naturels régionaux participent à *la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social, d'éducation et de formation du public*. En Bretagne, le Parc Naturel Régional d'Armorique a été créé en 1969. Il regroupe aujourd'hui 39 communes et est un acteur important de la protection de l'environnement du Finistère.

V-4-2- Les outils de reconnaissance patrimoniale

La valeur patrimoniale permet de caractériser des espèces, des milieux, des paysages ou des ouvrages, en fonction de critères de rareté, d'exposition à des risques ou de représentativité d'un caractère local ou régional. Cette notion est donc relative dans le temps et dans l'espace, puisque certaines espèces, faiblement représentées dans une région, peuvent être abondantes ailleurs (Le Berre, 1999). Ces espèces, en limite de répartition (comme les phoques gris ou les Macareux, espèces rares voire menacées en Bretagne), témoignent cependant de la qualité générale des milieux, et possèdent à ce titre une valeur patrimoniale pour la région. Cette valeur peut ainsi s'exprimer à l'échelle locale, régionale, nationale ou internationale.

Afin d'identifier les espaces d'intérêt écologique patrimonial, une démarche d'inventaires environnementaux (ZNIEFF, ZICO) a été mise en place au niveau national. Elle est fondée sur des inventaires à échelle fine, ayant pour but d'identifier les habitats les plus remarquables et les stations les plus menacées. Ce sont donc des bilans des connaissances, sans valeur juridique directe, qui doivent mettre en évidence la présence d'espèces et/ou d'habitats protégés aux niveaux européen, national ou régional. Ces inventaires, qui seront bientôt complétés par la mise en place du réseau européen *Natura 2000*, constituent une reconnaissance de la valeur patrimoniale des sites concernés.

Inventaire des ZNIEFF

Lancé en 1982, l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique a été conduit dans toutes les régions métropolitaines. Ces inventaires sont menés par un comité scientifique régional animé par les DIREN, sur la base de recherches bibliographiques et d'enquête, sur le terrain ou auprès de spécialistes. Il a été étendu au domaine marin depuis 1993 avec les ZNIEFF-Mer (Dauvin, 1994).

Bien qu'une classification en ZNIEFF n'accorde aucune mesure de conservation particulière, elle attire l'attention des gestionnaires et des décideurs sur les sites méritant une protection : c'est donc bien un outil de reconnaissance de l'intérêt particulier d'un site.

Inventaire des ZICO

Un inventaire des Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux est réalisé depuis 1981, afin de désigner les sites les plus appropriés à la conservation des espèces les plus menacées en Zones de Protection Spéciales, selon la Directive oiseaux de la C.E.E.

Ces réflexions sur la conservation des espaces et des espèces sont en pleine évolution, les théories étant en permanence confrontées aux réalités de terrain vécues à travers le monde. Cependant, il paraît évident que la réussite des mesures de conservation et de gestion dans une zone, qu'elle soit marine ou terrestre, dépendra en premier lieu de la bonne volonté des acteurs locaux concernés.

Nous sommes alors naturellement conduits à aborder une partie traitant des activités humaines et de l'utilisation des ressources naturelles en mer d'Iroise ; elle nous permettra de mieux connaître les usages et de comprendre les motivations impliquées, aussi diverses que les usagers.

- CHAPITRE VI -

ACTIVITÉS HUMAINES ET UTILISATION DES RESSOURCES EN IROISE

VI-1- INTRODUCTION

La mer d'Iroise est une zone marine à longue tradition d'utilisation de l'espace. Les trois principales îles de la mer d'Iroise sont habitées depuis des siècles. Sur la plus grande d'entre elles, Ouessant, les observations des archéologues couvrent environ 4 000 ans, du Néolithique à la fin de l'Empire romain. Une population de 400 habitants (40 % de la population actuelle) est même envisagée au premier âge du Fer (750 à 450 avant J. C.) alors que les hypothèses les plus optimistes ne dépassent pas 10 % pour le reste de la France (Brigand, 2002). La pêche a toujours constitué l'une des activités traditionnelles majeure des îliens. Les activités d'exploitation se sont multipliées au cours du temps et l'utilisation actuelle des ressources est très diversifiée, voire originale, dans cette zone marine. La région est aussi un pôle de tourisme d'importance, recherché pour la beauté de ses paysages au caractère resté sauvage. Cette fréquentation des côtes, accrue en saison estivale, s'accompagne d'activités de loisirs également multiples.

Ce chapitre propose un état des activités humaines pratiquées en Iroise et détaille en particulier l'utilisation des ressources naturelles. Les différents aspects de la pêche professionnelle embarquée seront abordés dans une première partie, puis nous verrons successivement la pêche à pied professionnelle, les activités de cultures marines et les activités de pêche récréative pratiquées en mer d'Iroise.

VI-2- LA PÊCHE PROFESSIONNELLE EMBARQUÉE EN MER D'IROISE

La pêche professionnelle est la pratique traditionnelle la plus importante en mer d'Iroise. Les quartiers maritimes riverains de l'Iroise sont ceux de Brest (BR), Camaret (CM), Douarnenez (DZ) et Audierne (AU), mais un nombre important de navires issus des deux quartiers adjacents, celui de Morlaix (MX) au nord et du Guilvinec (GV) au sud, sont largement présents en mer d'Iroise, du fait de la proximité géographique de ces zones d'origine.

Les activités de pêche réalisées à l'intérieur de la rade de Brest sont le plus souvent incluses dans les statistiques, c'est pourquoi toutes les données correspondantes d'immatriculations des navires, de débarquements et de zones de pêche ont été conservées (sauf indication contraire) pour cette synthèse des activités de pêche et ce, bien que la zone d'étude ne comprenne pas la rade de Brest.

VI-2-1- Description générale de l'activité de pêche

VI-2-1-1- État de la flotte de pêche

VI-2-1-1-1- Caractéristiques de la flotte de pêche

La flotte de pêche des quartiers maritimes de l'Iroise représente, avec 276 navires en 1999, à peine 16 % de l'effectif régional. Celles des deux quartiers adjacents en représentent plus du quart, Le Guilvinec étant leader en Bretagne pour le nombre de navires comme pour les emplois et les débarquements. Le quartier de Brest représente à lui seul presque 60 % des navires immatriculés dans les quartiers maritimes de l'Iroise, les trois autres sont ceux dans lesquels ce nombre est le plus faible à l'échelle régionale (figure VI-1) (source CAAM, INSEE, 1990 à 2000 dans Boncoeur *et al.*, 2000).

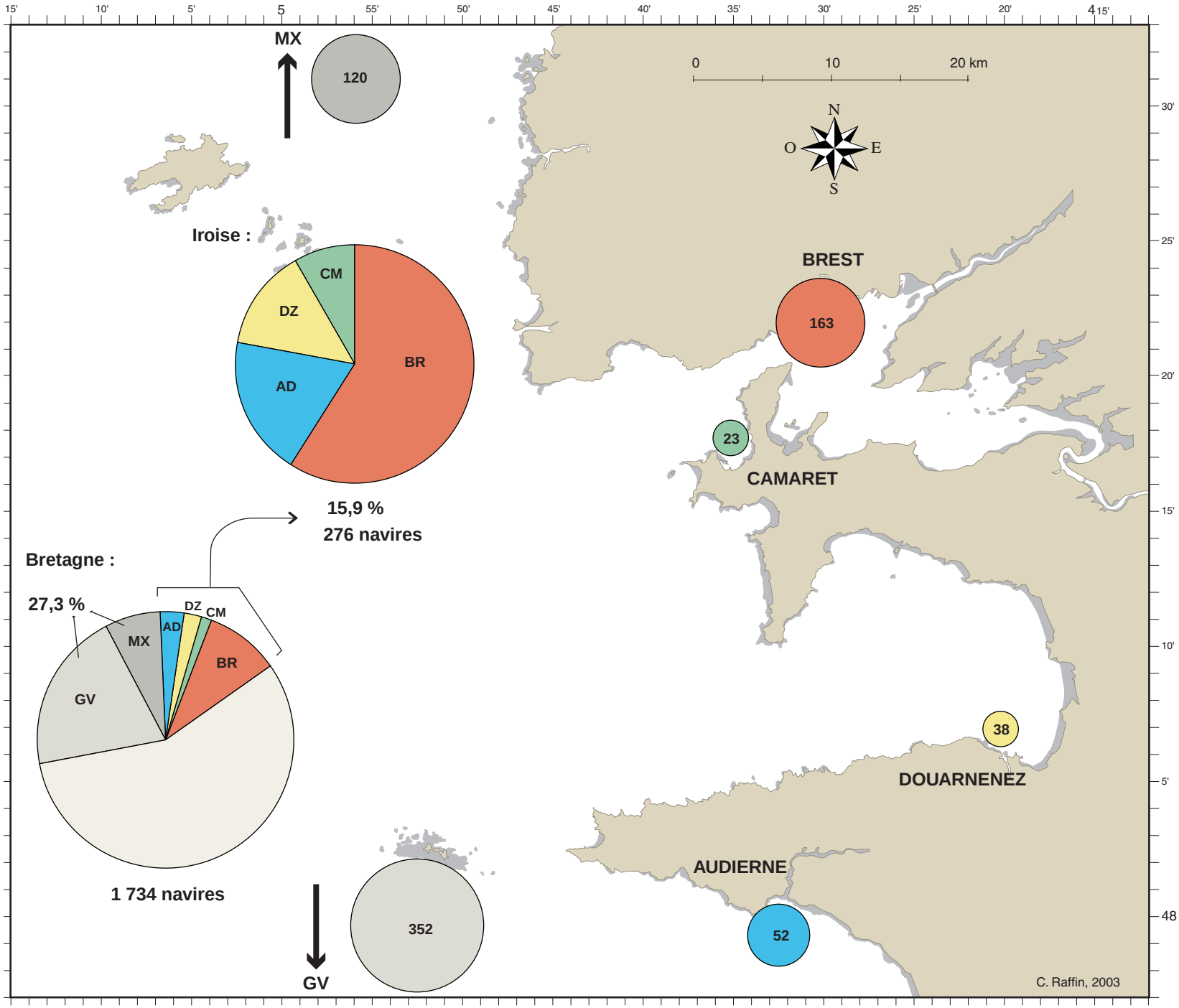


Figure VI-1 : Nombre et répartition des navires immatriculés pour la pêche professionnelle embarquée en Iroise.

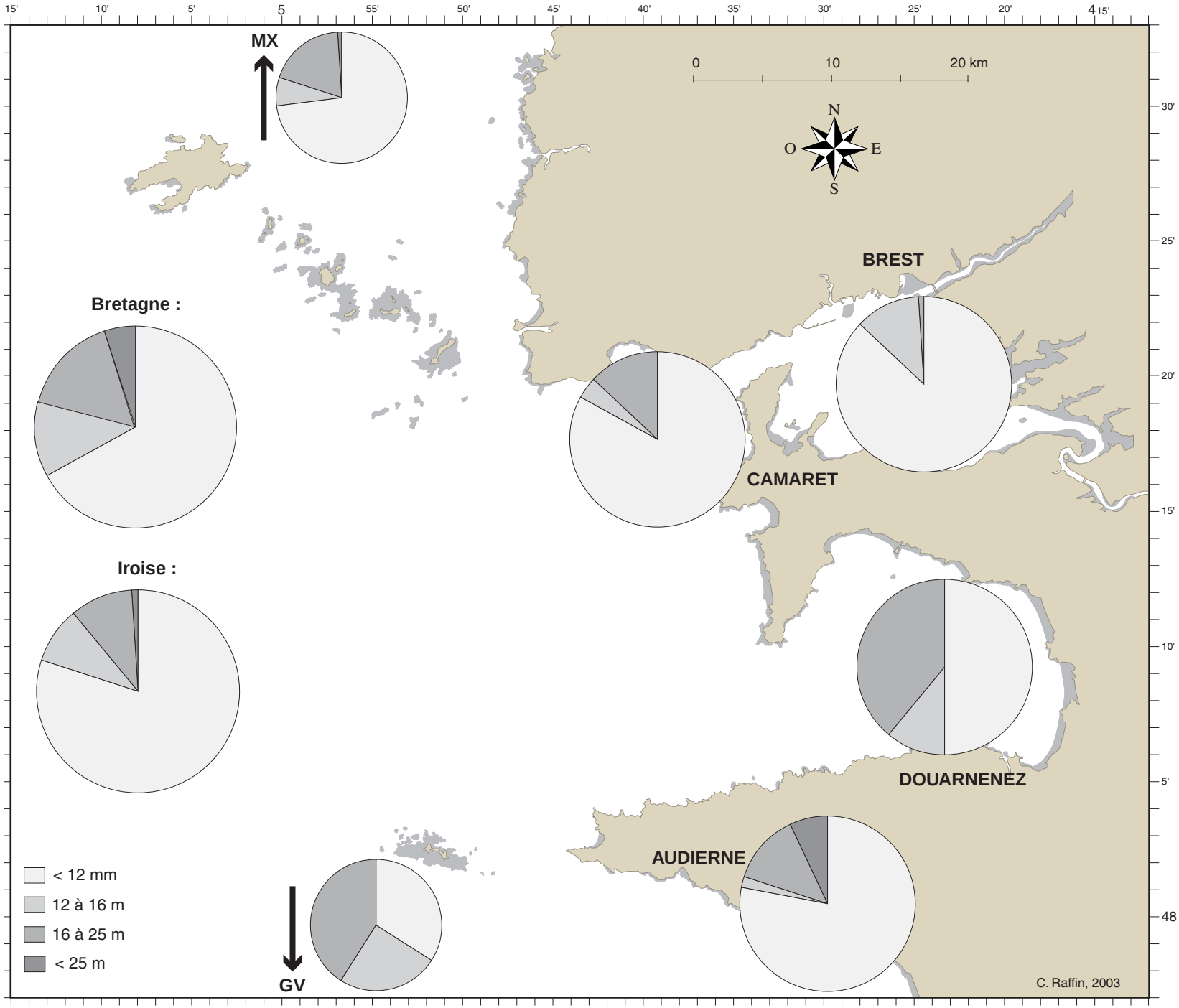


Figure VI-2 : Taille des navires composant la flotte de pêche de l'Iroise (1999).

Cette flotte de pêche est composée à 80 % d'unités de moins de 12 mètres, ce qui laisse supposer une activité de pêche côtière, contrairement à la situation du Guilvinec où les deux tiers des navires mesurent de 12 à 25 mètres, en rapport avec leur activité halieutique hors de l'Iroise (figure VI-2). Le taux de présence de ces navires en Iroise représente respectivement 64 % des navires pour le quartier de Douarnenez, 77 % pour celui d'Audierne, 83 % pour Camaret et 98 % pour Brest, tandis qu'il n'est que de 29 et 15 % pour les quartiers de Morlaix et du Guilvinec (Boncoeur *et al.*, 2002) : les navires immatriculés dans les quartiers maritimes de l'Iroise, représentant la "flotte Iroise" sont donc fortement dépendants de cette zone tandis que les navires issus des quartiers adjacents n'ont qu'une présence occasionnelle.

VI-2-1-1-2- Évolution de 1992 à 1999

Cette période est marquée par la crise de la pêche (1992-1995) et par une série de plans de sortie de flotte, pris en application de la Politique Commune des Pêches (POP III). Lors du premier plan de la décennie, appelé plan "Mellick", pris en application avec la POP II, près de 400 unités avaient été retirées pour la Bretagne en 1991, dont 80 % de moins de 12 mètres et presque 50 % de moins de 8 mètres (source CAAM, INSEE, 1990 à 2000 dans Boncoeur *et al.*, 2000).

En sept ans, la flotte de l'Iroise a perdu 28 % de son effectif initial, soit un peu plus de 100 unités, Douarnenez et Camaret étant plus touchés que Brest et Audierne. L'effectif des navires de moins de 12 mètres a diminué d'un quart, mais les navires hauturiers ont été les plus touchés, avec 40 % d'effectifs perdus pour les 16 à 25 mètres et seulement 3 navires de plus de 25 mètres restent immatriculés en Iroise (sur 10 en 1992) dans le quartier d'Audierne (thoniers saisonniers). Ce recul s'explique par l'effondrement des flottilles hauturières douarneniste et camarétoise, qui perdent 51 % de leurs navires de plus de 16 mètres.

L'Iroise représente plus du quart de la baisse régionale du nombre de navires immatriculés et même 40 % pour les moins de 12 mètres. Le recul de sa flotte est donc sensiblement plus élevé qu'au niveau régional. Le quartier de Morlaix n'a subi qu'une diminution très légère de sa flotte (-7 % seulement). Le quartier du Guilvinec a, quant à lui, connu une évolution originale. En effet, bien que la diminution de la flotte bigoudène soit comparable à celle des quartiers de l'Iroise, les navires de 16 à 25 mètres n'ont perdu que 8 %

de leur effectif (contre 43 % en Iroise), tandis que les moins de 16 mètres ont diminué d'un tiers, malgré le fait que la crise de la pêche ait touché en priorité les navires de 16 à 25 mètres.

VI-2-1-1-3- L'emploi à la pêche

La mesure de ce paramètre humain est extrêmement complexe. En effet, la notion d'emploi à la pêche peut regrouper l'ensemble des marins-pêcheurs déclarés comme tels auprès d'une administration ou ne considérer que les actifs, donc ne pas tenir compte des non embarqués (pour causes de congés, maladies, *etc*...). Elle peut encore reposer sur le comptage des équipages déclarés pour les navires actifs au sens du POP, ce qui exclut les navires armés en catégorie "conchyliculture-petite pêche" (très peu représentés dans la zone Iroise mais nombreux en rade de Brest), mais inclut les navires désarmés depuis moins de six mois. Enfin, l'embarquement de marins-pêcheurs sur des navires immatriculés dans un quartier différent de celui dans lequel ils sont inscrits complique encore l'analyse de ces données.

De plus, l'emploi à la pêche peut également être défini par le nombre de marins-pêcheurs ayant embarqué pendant une durée supérieure ou égale à un certain seuil (un jour, trois mois, *etc*...) au cours d'une période précise, généralement une année (Boncoeur *et al.*, 2000).

Fin 1997, l'emploi à la pêche dans les quartiers riverains de l'Iroise concernait un peu plus de 1 300 personnes, soit 28 % du total départemental. Environ deux tiers de ces marins-pêcheurs, soit 851 personnes, étaient actifs, dont 70 % embarqués en moyenne (80 % à Brest et 56 % à Camaret). Le rapport entre l'effectif embarqué et l'effectif total identifié est en moyenne de 45 %, il oscille entre 55 % à Brest et environ 34 % à Douarnenez et Camaret.

La moitié de ces marins-pêcheurs naviguaient pour la petite pêche (marées ne dépassant pas 24 heures), avec des différences marquées entre les quartiers : les trois quarts à Brest mais seulement un quart à Douarnenez, où la pêche hauturière concernait encore 70 % des effectifs embarqués.

Selon les données basées sur les équipages des navires considérés comme actifs au sens du POP, ce sont seulement un peu moins de 750 personnes qui représentent l'emploi à la pêche dans les quartiers maritimes de l'Iroise, soit seulement 22 % de l'effectif départemental et moins de la moitié de celui des deux quartiers adjacents. Le quartier de Brest représente à

lui seul plus de la moitié de l'effectif total de l'Iroise. Les marins sont embarqués à 60 % sur des navires de moins de 12 mètres (et jusqu'à 73 % dans le quartier de Brest), ce qui est très supérieur à la moyenne du département (seulement 27 %) et l'inverse de la situation du Guilvinec (13 %, contre 62 % embarqués sur les navires hauturiers). Cette situation correspond en toute logique à l'activité pratiquée de pêche côtière, à marée de courte durée.

En Iroise comme dans le reste du Finistère, l'emploi à la pêche a subi une régression de plus de 20 % entre 1992 et 1997, parallèlement à celle du nombre de navires actifs au sens du POP. Les plus forts reculs sont enregistrés dans les quartiers de Douarnenez et de Camaret, expliquant les importants écarts entre les effectifs de marins-pêcheurs identifiés et actifs.

VI-2-1-2- Débarquements

La mer d'Iroise est découpée, dans une base nationale, en rectangles statistiques pour lesquels des critères de fréquentation sont régulièrement enregistrés. Les données suivantes sont issues des statistiques officielles du réseau national des statistiques de pêche aux Affaires maritimes pour l'année 1996 et pour le rectangle statistique 25E5, qui représente quasi-entièrement la zone d'étude (d'après Boncoeur *et al.*, 2000).

Les navires immatriculés en Iroise assurent 85 % des débarquements régionaux d'algues, qui représentent eux-mêmes l'essentiel de la production nationale. Les algues issues du secteur correspondant à la zone d'étude, essentiellement l'archipel de Molène, représentent plus de deux tiers de ces 54 000 tonnes/an récoltées en mer d'Iroise (tableau VI-1).

La récolte des algues dans cette zone est une "spécialité" du quartier de Brest, dont le rôle est également prépondérant pour les mollusques et les crustacés, avec respectivement 78 % et 57 % de la valeur des débarquements correspondants en Iroise.

Par rapport aux autres pêcheries françaises, la structure des débarquements par catégorie d'espèces est originale dans les quartiers maritimes de l'Iroise, par la place importante qu'y occupent en tonnages les algues, les crustacés et les mollusques (figure VI-3). Les différences des prix moyens entre les quartiers tiennent à la nature des espèces capturées : le prix élevé des poissons dans les quartiers de Brest et Audierne traduit le résultat d'une pêche artisanale ciblant certaines espèces, à marée courte et débarquant des produits

recherchés pour leur qualité (bar de ligne…) ; le prix moyen des mollusques du quartier de Brest résulte du débarquement de bivalves à forte valeur unitaire (praires, coquilles Saint-Jacques de la rade) ; les prix moyens plus élevés des crustacés des autres quartiers riverains de l'Iroise s'expliquent également par la nature des espèces débarquées, principalement des tourteaux dans le quartier de Brest et plutôt des langoustines, à valeur unitaire nettement plus élevée, mais pêchées à l'extérieur de la zone d'étude, dans les autres quartiers et au niveau régional.

Tableau VI-1 : Estimation des débarquements moyens de 1994 à 1998, en criée et hors criée, dans les quartiers maritimes de l'Iroise et en Bretagne (d'après les statistiques officielles du CAAM, dans Boncoeur *et al.*, 2000). Les nombres en italique sont les proportions représentées par les quartiers maritimes de l'Iroise par rapport à la région Bretagne, en pourcentages des valeurs. DZ-CM = quartier de Douarnenez et Camaret.

	Quartiers	Poissons	Crustacés	Mollusques	Algues	TOTAL
Quantité (tonnes)	Brest	2 171	1 782	726	53 639	**58 318**
	DZ-CM	7 146	522	341	0	**8 009**
	Audierne	908	118	36	0	**1 062**
	Iroise	*10 225*	*2 422*	*1 103*	*53 639*	***67 389***
	/ Bretagne	*10 %*	*16 %*	*6 %*	*85 %*	***38 %***
Valeur (en milliers d'euros)	Brest	7 704	4 592	1 792	2 118	**16 206**
	DZ-CM	11 336	2 314	450	0	**14 100**
	Audierne	3 664	1 202	52	0	**4 918**
	Iroise	*22 704*	*8 108)*	*2 294*	*2 118)*	***35 224)***
	/ Bretagne	*11 %*	*13 %*	*9 %*	*81 %*	***12 %***
Prix moyen (€ / kg)	Brest	3,55	2,56	2,47	0,04	**0,28**
	DZ-CM	1,59	4,44	1,32	-	**1,76**
	Audierne	4,04	10,17	1,46	-	**4,63**
	Iroise	*2,22*	*3,33*	*2,08*	*0,04*	***0,52***
	Bretagne	*2,02*	*4,08*	*1,42*	*0,04*	***1,50***

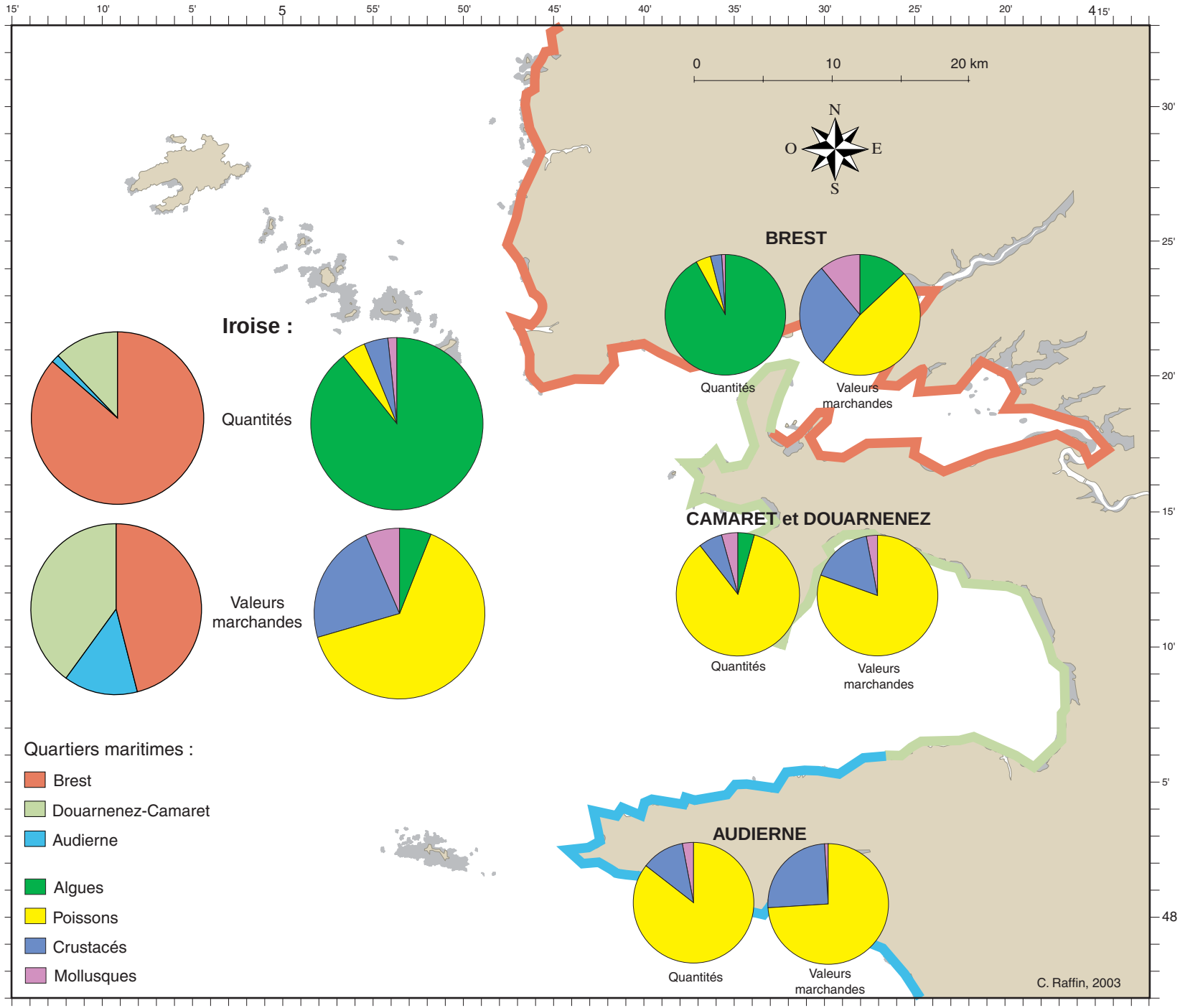


Figure VI-3 : Débarquements moyens (1994-1998) en quantités et en valeurs marchandes.

La connaissance de la pêcherie de l'Iroise repose sur les statistiques officielles, qui ne présentent pas forcément la situation réelle : les quartiers maritimes sont des circonscriptions administratives d'immatriculation des navires ou de débarquement des captures, qui ne donnent pas forcément d'indications sur les zones de pêche. En effet, une partie de la flotte immatriculée en Iroise travaille hors de la zone (flottille hauturière douarneniste et thoniers d'Audierne) tandis que les navires de dimensions restreintes sont astreints à la bande côtière. Cependant, il existe une classe intermédiaire de navires dont le taux de présence dans la zone d'étude ne peut être déduit de leurs caractéristiques de taille à cause de leur importante mobilité, d'autant plus que ces navires possèdent généralement une puissance individuelle de pêche supérieure aux embarcations cantonnées à la zone d'étude par leur faible taille. D'autre part, certains navires de quartiers proches ou même lointains sont susceptibles de venir pêcher sur la zone à temps partiel.

Les données alimentant ces statistiques officielles sont également souvent mal recueillies quand les produits de la pêche sont commercialisés hors des criées, ce qui est le cas pour 40 % en moyenne des débarquements dans les quartiers de l'Iroise, avec 3 % à Audierne, 17 % pour Douarnenez-Camaret et 80 % pour le quartier de Brest (hors algues) (sources DDAM du Finistère, 1998 dans Boncoeur *et al.*, 2000, figure VI-4).

Ces données ne décrivent donc qu'imparfaitement la pression de pêche réelle dans la zone de la mer d'Iroise, qui apparaît ici plutôt sous-estimée.

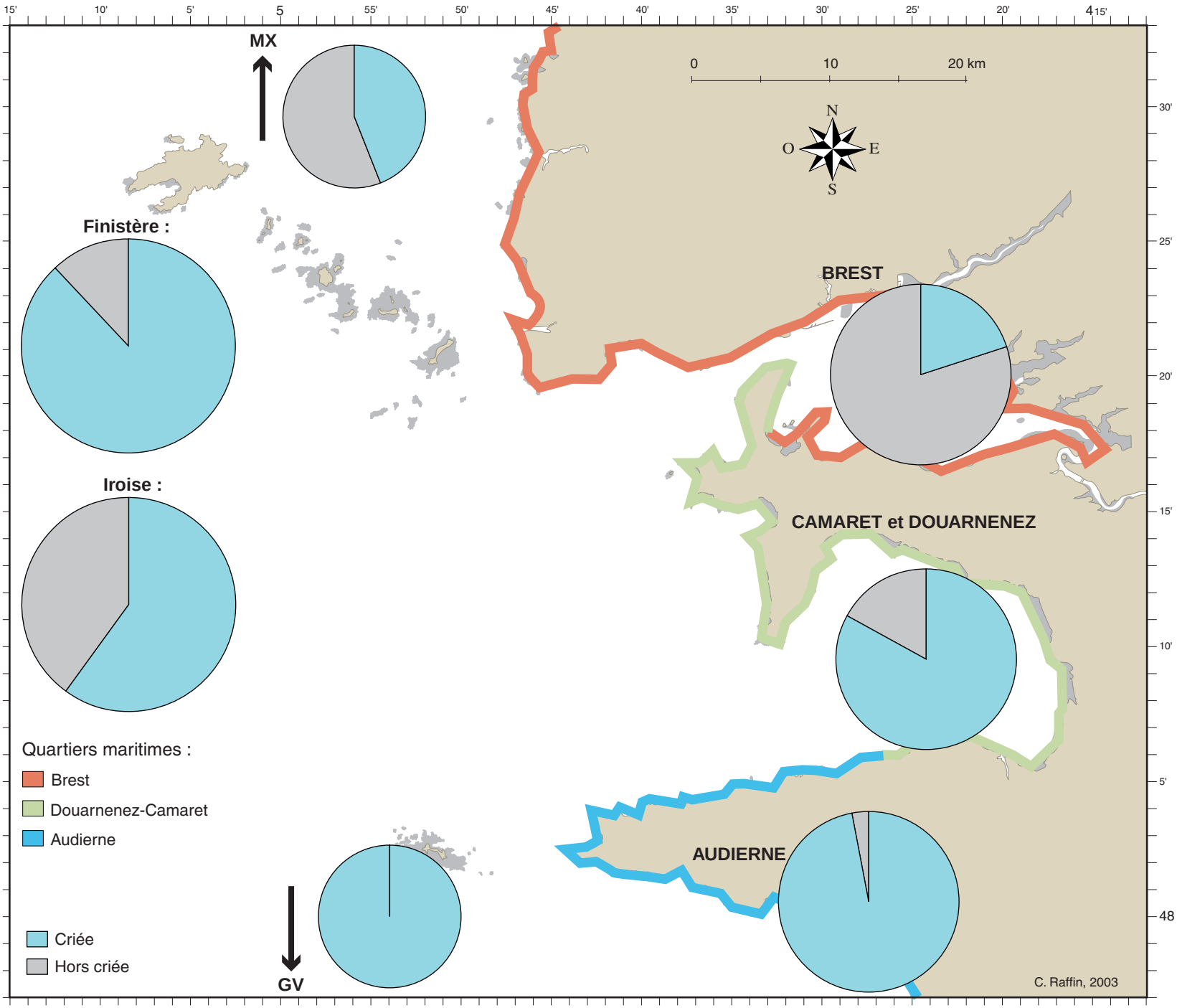


Figure VI-4 : Mode de commercialisation des prises en Iroise et dans les quartiers maritimes adjacents.

VI-2-2- Description par métier

VI-2-2-1- Les métiers représentés en Iroise

La flotte de pêche est organisée en différentes flottilles pratiquant la même combinaison de métiers, ceux-ci représentant l'association d'un engin de pêche avec un groupe d'espèces pêchées. Vingt-cinq métiers sont comptabilisés sur l'ensemble de la mer d'Iroise, avec une importance relative très variable sur l'activité globale de pêche. Seulement 41 % de la flotte de pêche pratique un seul métier (en général les unités les plus importantes), le reste des navires en pratique au moins deux, ce qui est caractéristique d'une flottille côtière à rayon d'action limité (Boncoeur *et al.*, 2000, 2002).

L'importance de chaque métier dans la zone Iroise est appréciée d'après le nombre de navires actifs ou le nombre de mois d'activité par métier. Les métiers principaux, puis secondaires sont ainsi identifiés, mais les métiers classés dans cette seconde catégorie peuvent néanmoins constituer l'activité principale et même unique de certains navires, peu représentés dans la zone.

L'existence de neuf métiers principaux prouve que l'activité de pêche est très diversifiée dans la zone. Ces métiers sont, dans l'ordre d'importance :

- *le filet grandes mailles à poissons* ciblant principalement la lotte.
- *le filet petites mailles à poissons*, associé en partie au métier des filets grandes mailles, ciblant le bar, le lieu, le merlu, d'autres gadidés, la sole et accessoirement le rouget et le mulet.
- *les lignes à poissons* visant le bar, le lieu et le maquereau.
- *le casier à grands crustacés*, métier ayant connu la plus forte diminution entre 1996 et 2000. Cette pêche cible le tourteau, avec le homard et l'araignée comme espèces accessoires.
- *les palangres à poissons* pêchant principalement le bar, le congre et la daurade.
- *la drague à coquilles Saint-Jacques*, métier saisonnier (hiver).
- *la drague à mollusques*, métier qui regroupe la pêche de la praire, des pétoncles et de l'amande de mer. Cette activité est souvent pratiquée en complément de la pêche à la coquille Saint-Jacques.

- *le scoubidou à Laminaria digitata*, métier presque spécifique à la mer d'Iroise. La plupart des navires pratiquant cette activité sont en hiver dragueurs de coquilles en rade de Brest.
- *le chalutage de fond*, métier ayant connu la plus forte hausse entre 1996 et 2000. Il concerne des navires qui, pour la plupart, ne sont pas inféodés strictement à la zone puisqu'ils travaillent au-delà des trois milles. Ce métier reste cependant marginal par rapport aux autres secteurs des côtes Manche/Atlantique.

Les trois plus importants parmi les seize métiers secondaires recensés sont :

- *le filet grandes mailles à crustacés*, ciblant soit l'araignée, soit la langouste.
- *la senne tournante à poissons pélagiques ou bolinche*, ciblant principalement la sardine ou l'anchois.
- *le casier à céphalopodes*, ciblant la seiche et accessoirement d'autres céphalopodes.

VI-2-2-2- Les débarquements associés

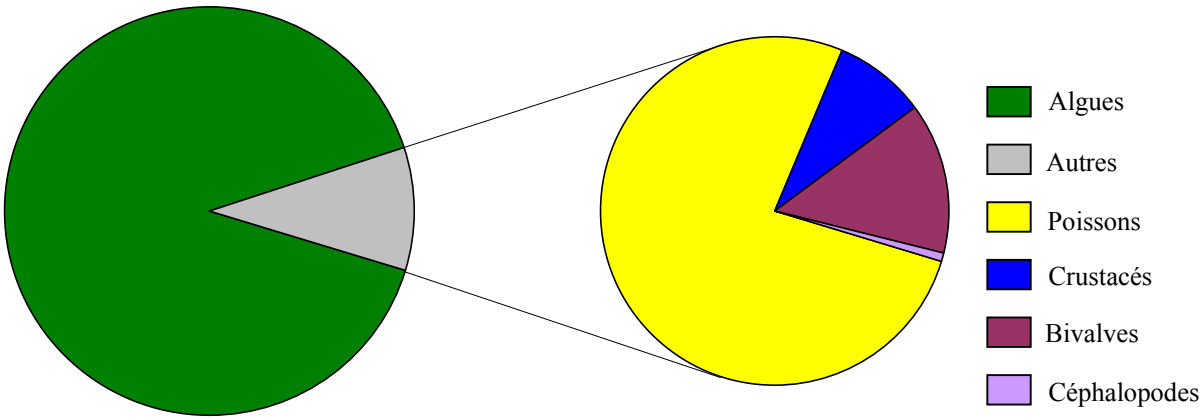


Figure VI-5 : Productions (en tonnes) d'après les flux déclaratifs (à partir des journaux de bord et de fiches de pêche) de la flotte active dans le rectangle statistique Z25E5 (hors rade de Brest) en 2000. Source Ifremer, d'après Boncoeur *et al.*, 2002.

Les statistiques officielles ont tendance à sous-estimer les prises de toutes les espèces de poissons, surtout s'ils sont peu ou pas pêchés au chalut : ce sont en effet les seules prises qui passent régulièrement en criée, contrairement au filet, à la palangre ou à la ligne.

Au total, 31 819 tonnes de prises ont été débarquées en 2000, correspondant à 31 espèces ou groupes d'espèces. Les algues représentent une énorme part de ce tonnage, avec plus de 28 700 tonnes (figure VI-5). Les poissons constituent ensuite le groupe le plus exploité en Iroise, plus de 2 300 tonnes, puis les bivalves (430 tonnes), les crustacés (260 tonnes) et les céphalopodes (24 tonnes).

Les espèces animales les plus pêchées (en poids) sont la sardine (45 % des prises), l'amande de mer (12 %), les gros crustacés (tourteau, araignée, homard, 8,4 %), le congre (7 %), le bar (4,5 %), les maquereaux (3,8 %), le lieu jaune (3,7 %), l'anchois (2,6 %) et les raies (2 %). Puis, avec moins de 2 % des prises viennent les baudroies et divers gadidés, la coquille S^{t}-Jacques, les soles, les squales, le chinchard, les dorades et sparidés, les poissons plats, la seiche, les grondins, le merlan, les rougets, divers autres poissons, le calmar et l'encornet, le pétoncle blanc, la langouste, les merlus et les petits crustacés (crabe vert, étrille), représentant en tout 11 % des prises.

VI-2-3- Les zones de pêche

La réalisation de cartographies des zones de pêche présente d'importantes difficultés techniques et humaines (confidentialité des zones de pêche de la part des patrons), particulièrement pour la petite pêche, peu soumise aux déclarations d'activités (secteurs fréquentés, temps de pêche, engins utilisés, *etc*…). Leur élaboration repose soit sur des enquêtes de terrain (observations, questionnaires), qui permettent ensuite une approche statistique des différentes activités, soit sur la réglementation maritime, définissant des zones de restriction.

VI-2-3-1- Zones de restriction

Certaines zones d'exclusion ou d'interdiction restreignent les possibilités d'usage du domaine marin. Ces contraintes réglementaires, associées à d'autres, d'ordre technique, aboutissent finalement à la limitation de l'exercice de la pêche. Les contraintes réglementaires reposent sur des notions de distance à la côte (zone des 12 milles, des 3 milles), définissent des zones d'abri (chenaux d'accès, zones de mouillage, zones d'attente pour les transports dangereux ou le franchissement du goulet de Brest) ou des zones interdites à la pêche (réglementées par la Marine Nationale).

Les contraintes du milieu jouent aussi un rôle, avec, par exemple, une adaptation nécessaire des métiers de la pêche aux différents types de fonds.

Les zones de restriction définies pour la mer d'Iroise sont représentées sur la figure VI-6. La zone d'étude étant entièrement incluse dans la zone des 3 milles, le chalutage y est interdit.

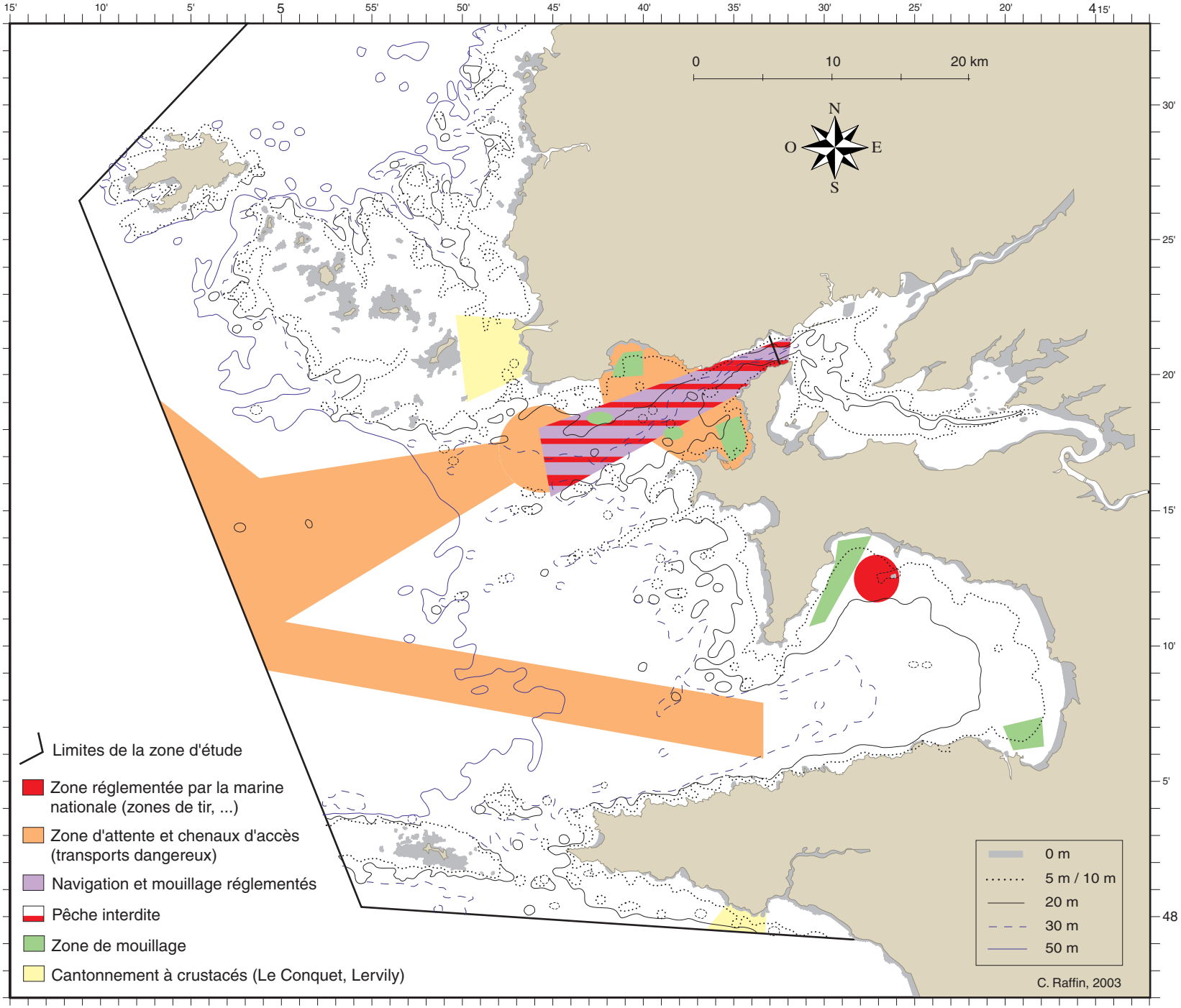


Figure VI-6 : Réglementations maritimes s'appliquant à la zone d'étude (d'après les cartes marines du SHOM).

VI-2-3-2- Zones de pêche réelles

Une représentation cartographique des zones de pêche professionnelle en mer d'Iroise est actuellement en cours de réalisation dans le cadre d'un projet de recherche cofinancé par le Programme National "Environnement Côtier" (Boncoeur *et al.*). Deux méthodologies complémentaires sont utilisées pour y parvenir.

- Une enquête directe a été menée auprès des patrons-pêcheurs, qui devaient représenter sur une carte à petite échelle les principales zones de la mer d'Iroise dans lesquelles ils réalisent leur pêche. Ces données, numérisées, sont ensuite traitées dans un SIG qui croise ces informations avec un maillage régulier, calculant ainsi le nombre de navires ayant déclaré pêcher dans chaque maille. Les caractéristiques techniques des navires étant également intégrées aux bases de données du SIG, la présentation des résultats pourra concerner l'ensemble de l'activité de pêche ou certains métiers ou types de navires, *etc*...

- L'autre approche est une exploitation de calendriers d'activités mensuelles des navires collectées par Ifremer. L'évolution infra-annuelle de la répartition spatiale des activités de pêche pourra ainsi être prise en compte.

Les activités goémonières, ciblant une ressource nécessairement située au niveau de zones rocheuses sur lesquelles elle est fixée, sont plus faciles à délimiter. En Iroise, le principal champ de laminaires exploité est le plateau de Molène, avec une deuxième zone autour de Sein.

VI-2-4- Encadrement et réglementations

VI-2-4-1- Compétences en matière de régulation des activités de pêche professionnelle

La mer d'Iroise est entièrement incluse dans la limite des 12 milles, délimitant les eaux territoriales françaises. Contrairement à la situation du golfe normano-breton, aucun droit historique n'est reconnu à des navires étrangers : il n'y a donc ni compétence transnationale, ni accord de cohabitation dans cette zone.

Les compétences qui s'appliquent en Iroise sont de type communautaire, c'est-à-dire que les réglementations sont prises dans le cadre de la Politique Commune de la Pêche et concernent les tailles légales et les quotas de capture, pour les espèces soumises à des mesures particulières. Cependant, le contrôle de leur application et la poursuite des éventuelles infractions relèvent des autorités nationales. Certaines compétences sont également de type national, avec deux catégories : les compétences administratives et les compétences professionnelles (Boncoeur *et al.*, 2000).

Par la loi 94-411 du 2 mai 1991, l'organisation interprofessionnelle des pêches maritimes et des élevages marins exerce la compétence professionnelle : elle est en charge de la gestion des pêcheries côtières. Les décisions prises par les comités, aux niveaux nationaux ou régionaux, concernent l'instauration de systèmes de licences pour l'encadrement de certaines pêcheries ; elles peuvent être rendues obligatoires par l'autorité administrative.

Les compétences administratives se répartissent entre le ministre chargé des pêches, les préfets de région, les préfets maritimes et les préfets de département.

Le ministre est titulaire des pouvoirs de police et de réglementation de la pêche maritime, il veille à l'application des directives communautaires et des dispositions prises par décrets en Conseil d'État (décret du 9 janvier 1852, article 3). Il peut également soumettre l'exercice de la pêche à un régime de licences ou fixer des quotas de capture par espèce, répartis par navire. Le ministre est encore l'autorité compétente dans les cas où des mesures doivent s'appliquer sur une zone géographique relevant de plusieurs autorités administratives locales.

Les préfets de région sont compétents pour la réglementation et la police de la pêche côtière dans le secteur placé sous leur contrôle, ils peuvent rendre obligatoires les délibérations des comités des pêches maritimes et des élevages marins.

Le préfet maritime est l'autorité de police administrative générale en mer, il est compétent pour les mesures relatives à la cohabitation rendues nécessaires pour le maintien de l'ordre public et détient également un certain nombre de polices spéciales, dont la police de la circulation.

Enfin, le préfet de département délivre des autorisations pour la pose de filets fixes calés sur les grèves.

VI-2-4-2- Encadrement de la flotte et réglementation par métier

Les mesures de police des pêches sont de trois ordres, selon qu'elles s'appliquent aux navires, aux engins de pêche ou aux espèces pêchées (quotas, tailles minimales, pourcentage minimal d'espèces-cibles).

Pour pêcher à titre professionnel, les navires français doivent, depuis 1987, être titulaires d'un Permis de Mise en Exploitation (PME). Ces permis sont attribués en fonction des Programmes d'Orientation Pluriannuels (POP), dont les objectifs à atteindre (capacités de capture, efforts de pêche) sont fixés au niveau européen pour chaque nation : il n'y a pas de gestion régionale ou locale des objectifs des POP. Cependant, les navires pêchant exclusivement des algues ne sont pas tenus d'obtenir le PME.

Quels que soient le mode de pêche, le lieu de débarquement et le type de vente pratiqué, les professionnels de la pêche doivent déclarer à l'État les quantités (poids, nombre) et les valeurs des produits de la pêche maritime mis sur le marché, par espèce, taille et qualité (articles 6 et 7 du décret 89/273 du 26 avril 1989). Ces obligations sont cependant diversement appliquées par manque de moyens de contrôle et absence de sanctions.

Un système européen de journal de bord a également été imposé, mais seulement pour les navires de plus de 17 mètres ou passant plus de 24 heures en mer. Un système de fiches de pêche hebdomadaires a aussi été mis en place au niveau régional, pour les navires de moins de 10 mètres.

En plus des réglementations portant sur la taille minimale des espèces pêchées, certains métiers sont soumis à des réglementations particulières.

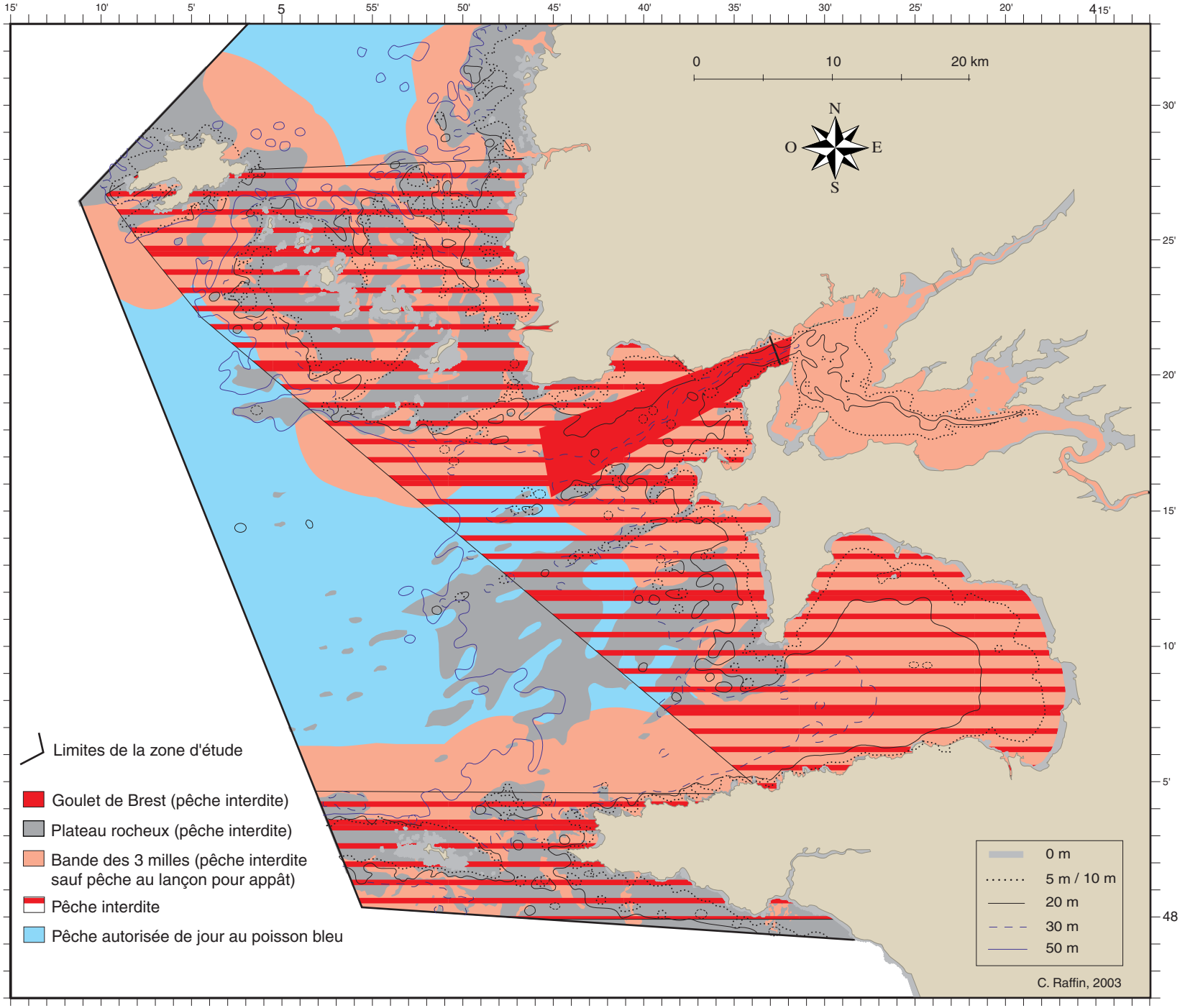


Figure VI-7 : Réglementation de la pêche au chalut en mer d'Iroise.

VI-2-4-2-1- Pêche au chalut

Le chalutage, considéré comme peu sélectif, fait l'objet de l'essentiel des dispositions réglementaires communautaires et nationales encadrant l'utilisation des engins de pêche, visant non seulement conserver et protéger les ressources, mais aussi à prévenir les conflits et la cohabitation entre métiers. Les chaluts se répartissent en deux grandes catégories : les chaluts pélagiques (utilisés en pleine eau, jamais traînés sur le fond) et les chaluts de fond (tous ceux qui ne sont pas pélagiques).

Une réglementation européenne interdit le chalutage dans la bande des 3 milles (sauf pêche au lançon pour appât) et régit les maillages du cul de chalut. À l'extérieur de cette bande, l'utilisation du chalut à grande ouverture verticale et celle du chalut de fond en bœuf sont interdites dans la zone considérée. Celle du chalut pélagique est interdite à l'est d'une ligne Créac'h (Ouessant) - Nividic - La Jument - les Pierres Vertes - les Croms (Cap Sizun) ainsi que sur les plateaux rocheux. Elle est autorisée à l'ouest de cette ligne, de jour, pour les navires de moins de 450 CV et de moins de 50 tonneaux de jauge brute, seulement pour la pêche aux poissons bleus (figure VI-7).

VI-2-4-2-2- Pêche au filet

Les filets utilisés en pleine eau sont soumis à des normes de maillage ; les filets dérivants sont interdits. Trois secteurs sont interdits : la pointe du Raz, le goulet de Brest et les zones de cantonnement (figure VI-8). D'autre part, la signalisation au moyen de bouées et le marquage des filets avec des lettres et le numéro du bateau sont obligatoires pour tous les types de pêche.

Un encadrement réglementaire spécifique concerne plusieurs sous-activités :

- La pêche aux crustacés est interdite sans une licence professionnelle et des règles de maillage particulières doivent être appliquées pour la pêche à l'araignée. Le nombre et la taille des filets sont également réglementés.
- Une réglementation communautaire fixe la longueur des filets maillants dérivants à moins de 2,5 km et interdit leur utilisation pour capturer des thonidés ou autres grands pélagiques, des requins et des céphalopodes.

- La détention et l'utilisation de filets maillants de fond et trémails ne sont possibles que si le pourcentage d'espèces cibles est au moins égal à 70 % et si les règles de maillage sont respectées. Pour un maillage compris entre 100 et 120 mm, leur longueur est limitée à 2 kilomètres par homme embarqué (3 s'il n'y a qu'un seul homme).
- La pêche à la bolinche (ou senne : filets tournants ou coulissants) n'est autorisée que sur une période de l'année. Une licence de pêche a été mise en place en 2000 par le CRPMEM, avec *numerus clausus*. Le système limite la taille des navires et fixe un quota journalier pour la sardine.
- La pêche au lançon pour appât est autorisée dans la bande des 3 milles, entre le lever et le coucher du soleil et avec une autorisation.

VI-2-4-2-3- Pêche au casier

Cette pêche cible principalement la capture des crustacés (homards, araignées, langoustes, tourteaux). La capture des mollusques ou celle des petits crustacés comme les étrilles ou les crabes verts ne sont pas spécifiquement réglementées.

Les trois mêmes zones de pêche sont interdites (cantonnements du Conquet et de Lervily et chenal d'accès du goulet de Brest). Des fermetures temporaires des zones de pêche (en période de mue notamment) sont instaurées et une licence professionnelle est obligatoire. Le signalement au moyen de bouées et l'identification des casiers sont imposés, le maillage et la taille minimale des captures doivent être respectés. Pour les gros crustacés, une limite de 200 casiers par homme embarqués et 1 000 par navire est appliquée avec marquage individuel des casiers.

D'autre part, les casiers à parloirs sont interdits dans les eaux territoriales de Bretagne.

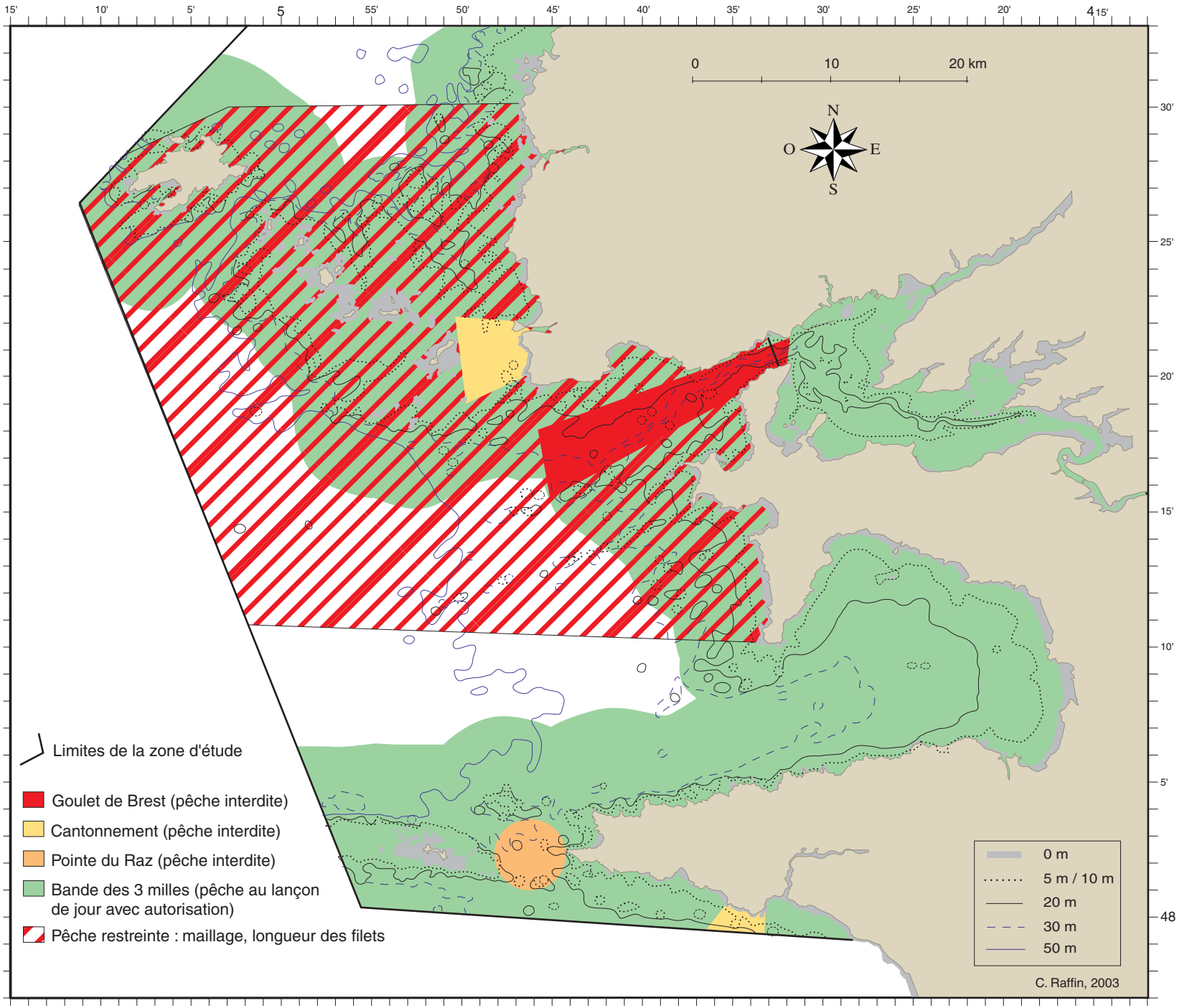


Figure VI-8 : Réglementation de la pêche au filet en mer d'Iroise.

VI-2-4-2-4- Pêche à la drague

Tous coquillages :

Toutes les activités de dragage des coquillages de la zone sont encadrées par un système très contraignant de licences spéciales avec *numerus clausus*. Ces licences spéciales concernent la pêche des coquillages sur les gisements classés de la rade de Brest et de Camaret (coquilles Saint-Jacques, praires, pétoncles, 75 licences en 2000), la pêche de la coquille Saint-Jacques en baie de Douarnenez (25 licences), la pêche des autres coquillages (spisules et amandes de mer) sur les gisements délimités du nord Iroise (10 licences) et du sud Iroise, incluant la baie de Douarnenez (10 licences). La saison, les jours et les heures de pêche sont limités, ainsi que les caractéristiques maximales des navires et des engins autorisés, définies par gisement. Il n'y a pas de quota, global ou individuel.

Coquille Saint-Jacques :

Les principaux gisements naturels sont administrativement classés. Trois gisements existent en mer d'Iroise : celui de Brest/Camaret, celui de la mer d'Iroise et celui de Douarnenez (figure VI-9). C'est le CRPMEM qui assure l'organisation des pêcheries. Pour cette pêche, l'engin le plus utilisé dans la région est la drague "à dents".

La pêche à la coquille Saint-Jacques est interdite dans les cantonnements, réserves et concessions, elle l'est également du 15 mai au 30 septembre. Les captures sont soumises à une licence de pêche ayant valeur de permis de pêche spécial. Les dragues doivent être identifiées, les captures accessoires ne doivent pas excéder 10 % et les points de débarquement sont déterminés.

Une réglementation spécifique s'applique sur chaque gisement, définie par une délibération du CRPMEM, fixant l'obligation d'une licence, et des déclarations de pêche. Selon les gisements, sont fixés les tailles et le type des navires, le nombre et les dimensions de l'engin de pêche autorisés, le maillage, les tailles minimales et les quotas de pêche.

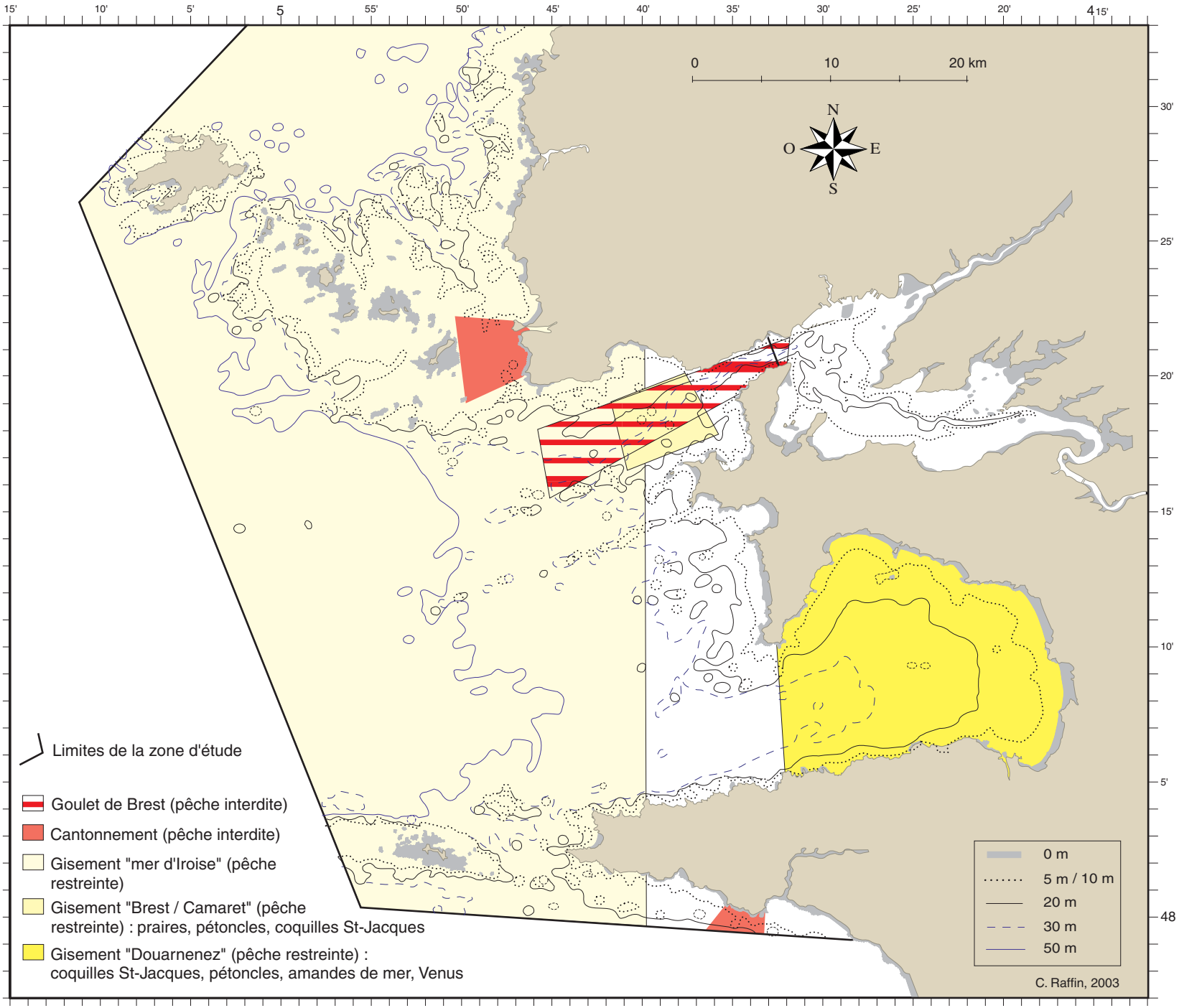


Figure VI-9 : Réglementation de la pêche à la drague en mer d'Iroise (coquille Saint-Jacques).

VI-2-4-2-5- Pêche aux végétaux marins

Les engins de pêche utilisés sont le scoubidou, crochet rotatif qui enroule et arrache les *Laminaria digitata* et le peigne, traîné par le navire, pour la récolte des *L. hyperborea*. Les caractéristiques de ces engins ne sont pas réglementées et dérogent à l'interdiction générale d'arracher les goémons.

La pratique de l'activité goémonière est soumise à une licence spéciale "algues marines *L. digitata*" depuis 1985, avec *numerus clausus* (65 en 2000), fixant des conditions de taille des navires (12 mètres) et de déroulement des campagnes au niveau régional (CRPMEM) : période de pêche limitée de mai à octobre, nombre de jours de pêche hebdomadaires, nombre de débarquements autorisés par jour. La prospection de *L hyperborea* est autorisée à titre expérimental dans une zone de l'archipel de Molène et par deux navires au maximum par jour, avec autorisation spéciale.

VI-2-4-2-6- Pêche en plongée

Une licence spéciale à *numerus clausus*, particulièrement restrictive, existe aussi depuis 1995 pour la pêche professionnelle aux ormeaux en plongée, en Bretagne Nord : quota annuel global, quotas individuels, obligation de baguer chaque ormeau à bord avant débarquement avec marques distribuées par le CRPMEM mais à la charge du plongeur, taille minimale de 90 mm au lieu des 80 mm pour la pêche à pied récréative.

VI-3- LA PÊCHE À PIED PROFESSIONNELLE

Cette activité traditionnelle est pratiquée sur l'estran à marée basse et cible les coquillages, les petits crustacés et poissons. Les produits de la pêche sont destinés à la vente. En mer d'Iroise, elle concerne principalement quatre types de pêche: la pêche aux anatifes, appelés "pouce-pied", la pêche des tellines, pratiquée dans le sud de la zone, la pêche au filet fixe et la récolte d'algues, pratiquée principalement sur le littoral du Nord Finistère.

VI-3-1- La pêche aux anatifes

La pêche aux pouce-pieds est interdite dans la zone comprise entre les méridiens 4°35' Ouest et 4°37' Ouest (figure VI-10) et entre le 1er juillet et le 31 août de chaque année. En période d'ouverture, elle doit se dérouler entre le lever et le coucher du soleil. Une licence spéciale a été instituée dans le quartier maritime de Douarnenez, entre la commune de Saint-Nic et la pointe de Brézellec. Seuls les marins embarqués sur les navires titulaires de cette licence peuvent pratiquer cette pêche.

Les seuls engins autorisés sont le ciseau à bois ou le burin, dont la taille est réglementée (ne dépassant pas cinquante centimètres de longueur totale et cinq centimètres de largeur). L'usage d'un navire comme support est seulement autorisé avec licence.

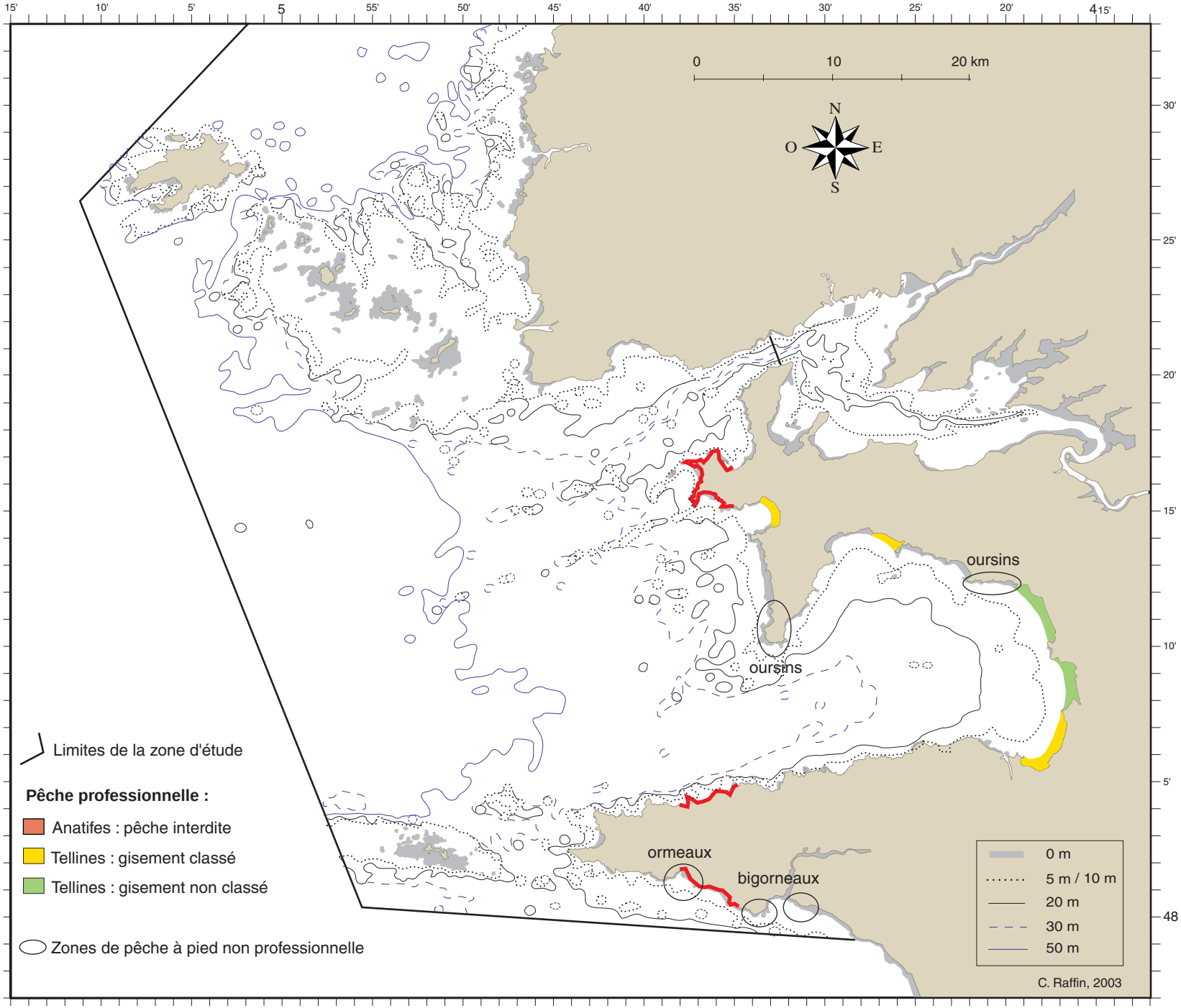


Figure VI-10 : Localisation des zones de pêche à pied et réglementation relative à ces activités.

VI-3-2- La pêche à la telline

La pêche des tellines (*Donax trunculus*) est une activité relativement récente en Iroise, puisqu'elle était réservée à la pêche de loisirs jusqu'au début des années 1980. Elle s'est progressivement structurée par un renforcement de l'encadrement souhaité par les pêcheurs, conscients du caractère limité de la ressource exploitée et de la nécessité d'en contrôler l'accès (Boncoeur *et al.*, 2000). Elles sont exploitées sur de nombreuses plages de la baie de Douarnenez et de la presqu'île de Crozon (figure VI-10). La pêche professionnelle n'est autorisée que sur les gisements classés, c'est-à-dire la plage de l'Aber et les anses de Dinan et de Trezmalaouen. Elle est interdite pendant les mois de juillet et août.

Les bases de la réglementation actuelle sont définies par différents arrêtés préfectoraux, précisant les modalités d'exercice de cette activité. L'engin de pêche autorisé est une drague à main dont les caractéristiques sont réglementées : largeur maximum de 70 cm, ouverture intérieure maximum de 50 cm, fond et arrière constitué de barrettes de 8 mm d'espacement minimal. La taille minimale des captures est de 25 mm, elles doivent être déclarées tous les mois mais enregistrées sur une base journalière. Le tri des coquillages doit se faire sur les lieux de pêche.

La pêche de nuit est interdite et des jours et heures de pêche limités et spécifiques sont appliqués aux gisements classés. Le quartier des Affaires Maritimes de Douarnenez-Camaret limite le nombre d'autorisations délivrées à une quarantaine et les pêcheurs ont obligation d'être affiliés à un régime d'assurance sociale.

Les données disponibles permettent d'estimer la production annuelle moyenne pour les années 1994 à 1999 aux alentours de 220 tonnes, ce qui correspond à un chiffre d'affaires annuel moyen de 670 780 euros (4,4 millions de francs), pour une activité employant entre 25 et 30 personnes en moyenne (sources Affaires maritimes/Ifremer, dans Boncoeur *et al.*, 2000). L'essentiel de cette production est destiné à l'Espagne, le reste étant dirigé vers l'Italie et le sud de la France.

Les tellines étant extrêmement sensibles à la qualité du milieu, une détérioration de la qualité de l'eau peut avoir d'importantes répercussions sur l'exercice de cette activité de pêche. De plus, la prolifération d'algues vertes (ulves) représente une gêne importante à cause du colmatage des dragues qu'elle entraîne. Les efflorescences d'algues toxiques (*Dinophysis*, *Gymnodinium*) entraînent, quant à elles, la fermeture temporaire des gisements concernés.

VI-3-3- La pêche au filet fixe

Ces filets se calent dans la zone de balancement des marées ; leur utilisation est une tradition très répandue en Iroise. La réglementation tend actuellement à limiter leur emploi, en raison de leur faible sélectivité et de leur positionnement sur un secteur sensible aux prélèvements.

Les filets fixes sont interdits dans de nombreuses zones : à moins de deux kilomètres de part et d'autre de l'embouchure des cours d'eau ou canaux affluant à la mer et classés comme cours d'eau à saumon et à truite de mer, ainsi qu'à moins de cinquante mètres d'un barrage. Un engin occupant plus de deux tiers de la largeur d'une anse ne peut être utilisé. De plus, ceux-ci ne peuvent être distants entre eux de moins de 150 mètres.

Un régime d'autorisation est institué, qu'il s'agisse de pêche professionnelle ou de pêche de loisir.

VI-3-4- La récolte des algues sur l'estran

L'activité de récolte des algues sur le littoral remonte au V^{ème} siècle et celles-ci étaient déjà utilisées comme combustible, pour rembourrer les matelas ou comme engrais. Leur utilisation industrielle a commencé dès le XVII^{ème} siècle, pour la fabrication de pains de soude, obtenus après séchage du goémon et brûlage dans des fours enterrés dans le sol et protégés par des blocs de pierres (Brigand, 2002). Cette concurrence entre les besoins de l'agriculture et ceux de l'industrie a conduit très tôt à mettre en place une réglementation stricte, renforcée par des usages locaux, qui consistent en l'attribution d'un espace littoral par famille (Boncoeur *et al.*, 2000). La production annuelle était estimée à plus de 400 000 tonnes d'algues fraîches au début du XX^{ème} siècle.

Cette activité ancestrale a eu le temps de se différencier et recouvre actuellement plusieurs métiers, encadrés chacun par une réglementation précise.

VI-3-4-1- Les différents métiers

La pêche à pied des algues regroupe quatre grandes activités : le ramassage des stipes, la récolte du petit goémon, la coupe des goémons de rive et la récolte des algues alimentaires.

Le ramassage des stipes :

Les tempêtes provoquent une forte agitation des fonds due aux vagues et à la houle, ce qui entraîne des échouages massifs constitués essentiellement d'algues laminaires adultes, principalement représentées par *Laminaria digitata* et *L. hyperborea* : 30 % de la mortalité naturelle est ainsi rejetée sur l'estran durant l'hiver. Le ramassage des stipes est donc une activité fortement liée aux aléas climatiques, et de ce fait imprévisible, c'est d'ailleurs ce manque de régularité des récoltes qui a conduit les industriels à lancer une pêche des stocks en place.

Seuls les stipes des laminaires, très riches en acide alginique gélifiant, sont intéressants pour l'industrie. Ils doivent donc être manuellement séparés des thalles avant d'être directement intégrés dans la chaîne de transformation. Au total, une cinquantaine de

récoltants, répartis sur le littoral du Nord Finistère, sont des ramasseurs de stipes, le quartier maritime de Brest couvrant à lui seul 95% des apports provenant de cette activité.

La récolte du petit goémon :

La récolte des algues rouges *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus*, appelées également petit goémon ou pioca, est une activité traditionnelle en Bretagne. Ces algues sont transformées par l'industrie agroalimentaire, qui utilise les propriétés gélifiantes et épaississantes des carraghénanes qu'elles contiennent (E407 et E409).

Les arrachages ne sont possibles que lors des grandes marées, soit une cinquantaine de jours par saison. En pratique, cette activité n'a cependant plus lieu qu'en période estivale et semble en régression le long de notre littoral. En effet, les achats à l'étranger, notamment en Asie du sud-est, représentent aujourd'hui 92 % de l'approvisionnement des industriels, qui imposent en conséquence une baisse des prix et une réduction de la demande.

La coupe des goémons de rive :

Cette activité, pratiquée traditionnellement à des fins agricoles, est en nette régression depuis les années 1970. Elle vise trois espèces d'algues brunes : *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* et *F. serratus*. La récolte est possible toute l'année pour *A. nodosum* et *F. vesiculosus*, et seulement pour les marées de coefficient supérieur à 75 pour les *F. serratus*. La moitié de la production est transformée en farines, utilisées pour l'alimentation du bétail. L'autre moitié est destinée à compléter les apports de *Laminaria digitata* et entrent donc dans l'industrie des alginates.

Des estimations montrent que la récolte porte sur à peine 15 000 des 450 000 tonnes du stock de fucales estimé sur le littoral breton, ce qui ne semble pas représenter une menace pour cette ressource (Boncoeur *et al.*, 2000).

La récolte des algues alimentaires :

Une autorisation de commercialisation a été délivrée il y a une dizaine d'années par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique, pour une douzaine d'espèces. Les plus recherchées sont par exemple *Palmaria palmata* (dulse, algue rouge), *Ulva sp* (laitue de mer, algues vertes) et *Himanthalia elongata* (haricot de mer, algue brune). Le nori (*Porphyra sp*), pourtant recherché, semble peu ramassé en Bretagne, les deux espèces présentes dans la zone étant pour l'une, un peu trop profonde et pour l'autre, représentée sous forme d'épiphyte de très petite taille.

La collecte commence au moment de la pousse des jeunes algues (février-mars pour les Himanthales), puis a lieu surtout à la belle saison, lors des grandes marées. Elle fournit un petit marché en pleine expansion.

VI-3-4-2- La réglementation

La réglementation se rapportant à la récolte des algues sur l'estran est fixée par le décret 90-719 du 9 août 1990, qui précise les conditions de pêche, de récolte ou de ramassage des végétaux marins. Ce texte s'applique donc à la fois aux algues et aux plantes marines. Les végétaux marins y sont classés selon leur accessibilité : les goémons qui poussent en mer et ne peuvent pas être atteints, même aux basses mers de vives eaux d'équinoxe, ne relèvent pas de la pêche à pied, car leur récolte nécessite un bateau.

Les deux autres catégories, c'est-à-dire les goémons de rive (poussant sur les fonds et découverts par la marée, sur les rives ou les îlots inhabités) et les goémons épaves (dérivant et s'échouant sur l'estran), concernent la pêche à pied.

Étant donné que les goémons-épaves disparaissent rapidement de façon naturelle s'ils restent sur la grève, les mesures portant sur ces algues ne sont pas contraignantes. Leur récolte est donc autorisée en tous temps, par toutes personnes et en tous lieux, sauf pour les échouages à moins de 50 mètres des établissements de culture marine ou des pêcheries concédées, considérés comme propriété de leurs exploitants. Cependant, l'établissement de pêcheries à goémons-épaves au moyen de piquets ou de tout autre procédé est interdit.

La récolte des goémons de rive est beaucoup plus réglementée. La coupe est obligatoire pour les espèces de *Fucus* et les *Ascophyllum nodosum*, et doit se faire à 20 centimètres au-dessus des crampons ; la récolte est autorisée toute l'année. L'arrachage est autorisé pour les espèces de *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus* mais la période autorisée ne s'étend que du 1er mai au 31 octobre.

Des mesures particulières supplémentaires peuvent être décidées par les préfets de région, en concertation avec les maires concernés par les zones d'application des décrets.

VI-4- LES CULTURES MARINES

Les cultures marines concernent toutes les activités d'élevage d'animaux ou de cultures de végétaux marins s'exerçant en mer et sur des propriétés privées alimentées en eau de mer par des prises d'eau situées sur le DPM. Elles sont soumises à l'autorisation du préfet de département, qui se présente sous la forme d'un arrêté de concession. Une autorisation de prise d'eau de mer est également nécessaire le cas échéant. L'acte de concession en précise les caractéristiques techniques, la nature du produit autorisé, le type de culture (captage, élevage, affinage) et le mode d'exploitation.

Les activités d'aquaculture marine sont principalement de deux types : la conchyliculture (surtout huîtres creuses et moules) et la pisciculture (salmonidés, turbots, bars et daurades).

L'activité aquacole se concentre essentiellement dans le quartier de Brest, et plus précisément dans les Abers (côte nord) et en rade de Brest. Elle est faiblement développée dans la mer d'Iroise elle-même, à cause de la rareté des sites abrités favorables et de la présence épisodique et imprévisible de microalgues toxiques. Certaines activités sont cependant présentes dans la zone d'étude (Le Tixerant, 2000 ; Le Berre, 1999 ; Boncoeur *et al.*, 2000, figure VI-11) :

- Une activité de pisciculture est située à Camaret : il s'agit d'un élevage de truites par une société employant une vingtaine de personnes, avec une production s'élevant à 400 tonnes en 1998.
- La mytiliculture sur cordes est réalisée à Ouessant : après des expérimentations lancées dans les îles de Molène et Ouessant et l'échec de celles-ci à Molène, une activité limitée est maintenue à Ouessant grâce à la diversification de la production vers les algues. Des problèmes techniques se posent néanmoins, liés aux conditions de milieu ouvert en zone très exposée et aggravés par des problèmes d'ordre biologiques (croissance faible) et économiques, liés à l'insularité (en particulier pour les coûts de transport).
- Une première expérience de culture d'algues a été menée à Ouessant au début des années 1970, avec la laminaire *Undaria pinnatifida*, mais la culture n'était pas rentable malgré un environnement favorable. Actuellement, c'est une petite algue rouge, *Asparagopsis armata*, présente naturellement à Ouessant et utilisée dans l'industrie des cosmétiques, qui

est cultivée avec succès par une entreprise employant 3 personnes, avec une production annuelle d'environ 15 tonnes.

- Une activité d'affinage d'huîtres est implantée à l'île de Sein et emploie 2 permanents et des saisonniers ; les huîtres proviennent du continent.

Divers autres sites de pisciculture, ostréiculture et mytilicultures sont localisés en baie de Douarnenez et dans l'anse des Blancs Sablons.

En comparaison, la rade de Brest, qui semble à priori plus favorable à l'aquaculture, supporte un niveau d'activités modeste en conséquence directe de la mauvaise qualité de l'eau. Les activités portent actuellement sur quatre espèces principales : l'huître plate (*Ostrea edulis*), l'huître creuse (*Crassostrea gigas*), la moule (*Mytilus edulis*) et la coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*), activité originale comprenant la gestion d'une écloserie, premier maillon de la chaîne d'un programme de repeuplement lancé en 1982 pour la pêche coquillière en rade.

Les activités d'aquaculture marine ont lieu à l'intérieur de concessions situées sur le domaine public maritime (DPM). En 1997, les quartiers maritimes de l'Iroise représentaient plus du tiers de l'espace occupé sur le DPM par l'aquaculture finistérienne, concessions situées à près de 98 % dans le quartier de Brest. Ces pourcentages reflètent évidemment l'abondance de zones favorables dans une zone abritée comme la rade, par rapport aux côtes souvent exposées à la houle de la mer d'Iroise. Cependant, les chiffres de nombre et de surface des concessions ne correspondent pas directement aux activités d'aquaculture puisque de nombreuses concessions sont en réalité inexploitées.

D'autre part, la production de ce secteur est difficile à estimer en raison des nombreux transferts de coquillages intervenant au cours du cycle de croissance ou pour l'affinage. Les estimations pour 1997 des productions par espèce sont rassemblées dans le tableau VI-2 (source DDAM du Finistère, 1998 dans Boncoeur *et al.*, 2000) et illustrées par la figure VI-12.

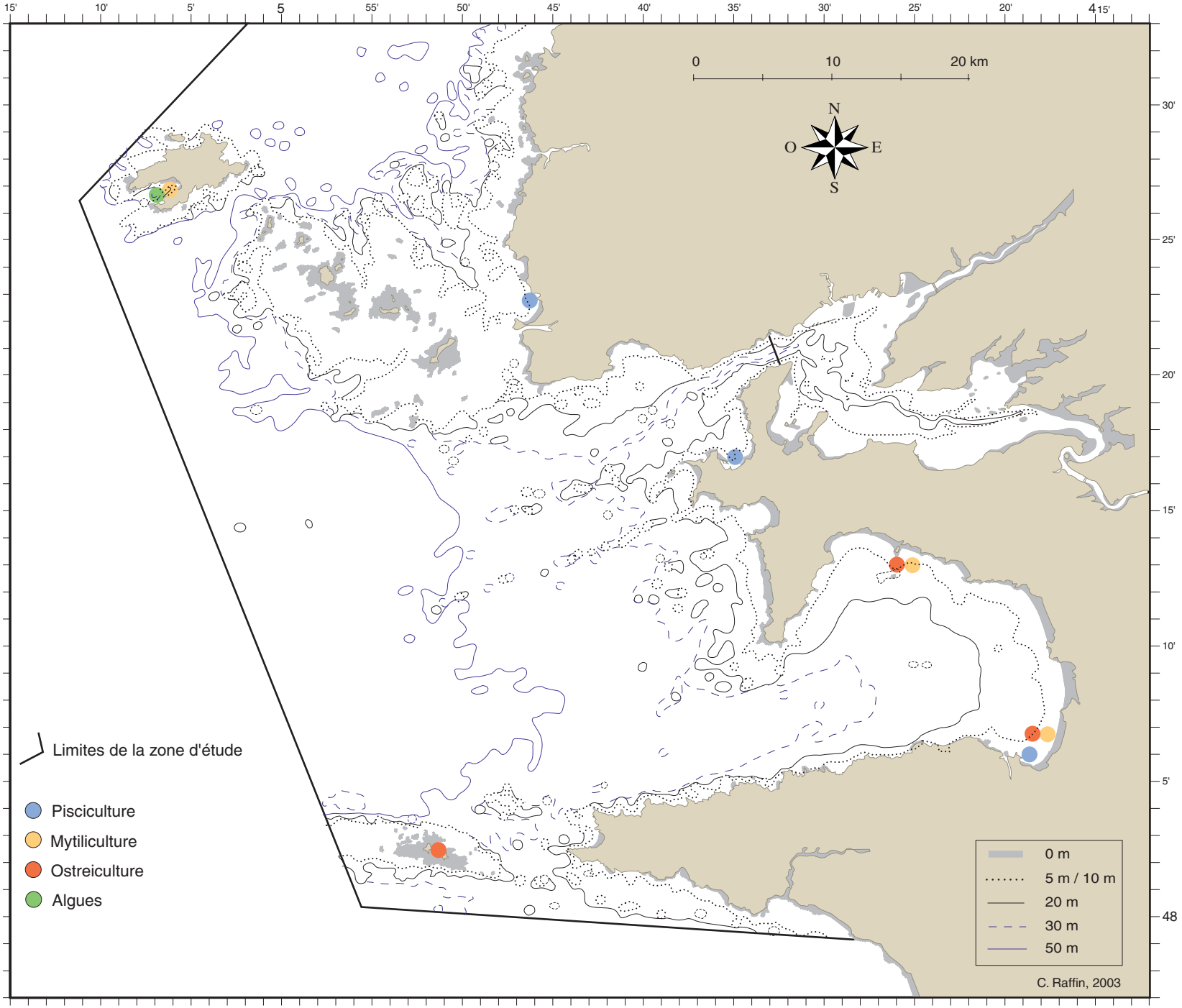


Figure VI-11 : Localisation des cultures marines dans la zone de la mer d'Iroise.

Tableau VI-2 : Estimation des productions par espèces (tonnages et valeurs) en 1997, pour la conchyliculture et la pisciculture marines (BR = Brest, CM-DZ = Camaret-Douarnenez, AD = Audierne). Source : DDAM du Finistère, 1998 dans Boncoeur *et al.*, 2000.

		Quartiers maritimes de l'Iroise				**Finistère**
		BR	**CM-DZ**	**AD**	**Total**	
Conchyliculture (tonnes)	Huîtres creuses	1 251	0	37	**1 288**	**10 788**
	Huîtres plates	164	0	2	**166**	**480**
	Moules	373	0	0	**373**	**3 352**
	Palourdes	11	0	0	**11**	**162**
	Coques, amandes, vernis	30	0	0	**30**	**305**
	Bigorneaux	10	0	0	**10**	**461**
TOTAL CONCHYLICULTURE	*Quantités (tonnes)*	*1 839*	*0*	*39*	***1 878***	***15 549***
	Valeurs (millions d'euros)	*4,5*	*0*	*0,14*	***4,63***	***34,53***
Pisciculture (tonnes)	Truite arc-en-ciel	158	0	0	**158**	**158**
	Truite Fario	0	297	0	**297**	**297**
TOTAL PISCICULTURE	*Quantités (tonnes)*	*158*	*297*	*0*	***455***	***455***
	Valeurs (millions d'euros)	*0,44*	*1,3*	*0*	***1,74***	***1,74***
TOTAL AQUACULTURE	***Quantités (tonnes)***	***1 997***	***297***	***39***	***2 333***	***16 004***
	Valeurs (millions d'euros)	***4,94***	***1,3***	***0,14***	***6,37***	***36,27***

En dehors du quartier de Brest, qui domine l'ensemble des quartiers maritimes de l'Iroise, la seule activité significative est la production de truites Fario à Camaret. La conchyliculture, représentant plus de 80 % des activités aquacoles en mer d'Iroise, est largement dominée par la production d'huître creuse dans le quartier de Brest.

En termes économiques, la zone Iroise représente 15 à 20 % de l'aquaculture marine du Finistère (donc moins que le pourcentage estimé à partir des surfaces de concessions). Le chiffre d'affaires de l'aquaculture marine dans la zone Iroise est d'environ 6,10 millions d'euros, avec une soixantaine d'emplois à plein temps et environ 120 emplois saisonniers. Sur la zone d'étude, 29 emplois directs à plein temps sont comptabilisés (ADEUPa, 1999).

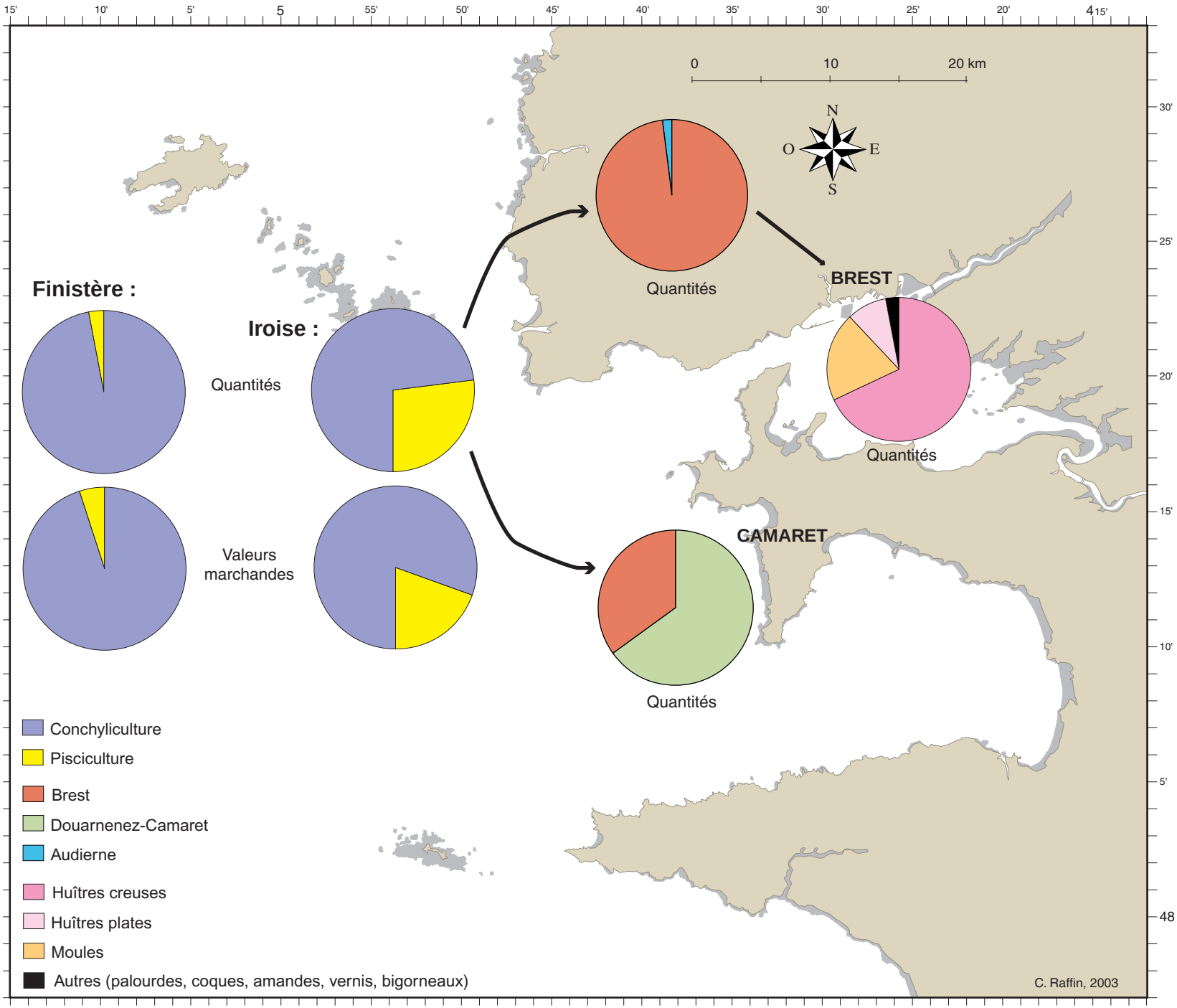


Figure VI-12 : Activités d'aquaculture en mer d'Iroise en 1997. Source DDAM du Finistère (1998), dans Boncoeur *et al.* (2000).

VI-5- LES ACTIVITÉS D'EXTRACTION DE RESSOURCES MINÉRALES

L'exploitation des ressources minérales est une activité ancienne dans la mer d'Iroise, aujourd'hui en régression. Deux grandes catégories d'activités peuvent être définies : cette exploitation peut en effet avoir lieu en mer, à partir de navires spécialisés ou bien sur le littoral ; elle est alors essentiellement pratiquée par des agriculteurs.

Les ressources exploitées en mer sont des sables siliceux, utilisés dans l'industrie du bâtiment et les travaux publics, et des matériaux calcaires (sables coquilliers et maërl), recherchés pour l'amendement des terres agricoles, souvent acides en Bretagne. Le maërl a également d'autres applications industrielles, comme l'alimentation animale ou la filtration des eaux. Leur exploitation est réglementée sous la forme de concessions. Sur le littoral, seuls les sables coquilliers sont exploités pour l'amendement des terres.

VI-5-1- Extraction de sédiments en mer

L'exploitation des sables siliceux est soumise à une autorisation, dans le cadre du code minier, et fait l'objet d'une taxe domaniale à payer par mètre cube de matériau prélevé. Celle des matériaux calcaires marins (sables coquilliers et maërl) est placée depuis 1997 dans le même cadre réglementaire, avec obligation d'obtenir un titre minier d'exploitation (loi d'orientation 97-1051 du 18 novembre 1997 sur la pêche maritime et les cultures marines).

Les volumes d'extractions de matériaux en mer d'Iroise et en Bretagne sont donnés dans le tableau VI-3.

La production totale de matériaux marins prélevés au large des côtes bretonnes dépasse 666 000 tonnes pour l'année 2000, pourtant elle ne représente même pas 3 % de la production régionale de matériaux issus des carrières terrestres, voisine de 25 millions de tonnes (Boncoeur *et al.*, 2000). La part fournie par les exploitations de la mer d'Iroise était estimée à un peu plus de 60 100 tonnes pour cette même année.

Tableau VI-3 : Extractions de sédiments marins (hors maërl) en mer d'Iroise ; les données sont exprimées en tonnes (noir) et en m^3 (bleu) ; les quotas d'exploitation sont donnés en italique entre parenthèses. Les densités retenues sont de 1,5 t/m^3 pour les sables siliceux et 1,35 t/m^3 pour les sables coquilliers. Sources DRIRE-Bretagne et DDE-Finistère, d'après Boncoeur *et al.*, 2000.

		Iroise		Pourcentage / Bretagne
	Année	**1999**	**2000**	**2000**
Sables siliceux	*Tonnes*	33 840	24 114 *(120 000)*	67 %
	m^3	22 560	16 076 *(80 000)*	
Sables coquilliers	*Tonnes*	38 205	36 045 *(152 550)*	11 %
	m^3	28 300	26 700 *(113 000)*	
TOTAL	***Tonnes***	***72 045***	***60 159***	
	m^3	***50 860***	***42 776***	

Les sables siliceux sont exploités sur deux sites en mer d'Iroise, à proximité de l'Aber Benoît et de l'Aber Ildut (hors zone d'étude). Les volumes extraits en 2000 (environ 24 000 tonnes) restent loin du quota annuel autorisé de 120 000 tonnes, ils représentent tout de même près de 67 % de la production régionale.

La production de sables coquilliers de la mer d'Iroise provient de deux sites, situés l'un au Petit Minou, à l'entrée de la rade de Brest, et l'autre sur le banc de Kafarnao, au large de l'île de Sein et hors de notre zone d'étude (figure VI-13). Elle est, avec environ 36 000 tonnes, largement inférieure au quota annuel autorisé de 152 550 tonnes.

La production de maërl en Bretagne représente 80 % de la production nationale en 2000, avec 481 200 tonnes extraites. 23 % de cette production viennent de deux sites d'exploitation finistériens, situés sur le banc des Pourceaux, dans l'archipel de Molène, et dans l'archipel des Glénan (hors de la zone mer d'Iroise), avec des quotas de prélèvements autorisés de 27 000 tonnes (20 000 m^3) et 117 585 tonnes (87 100 m^3) respectivement.

L'activité d'extraction de matériaux marins en mer d'Iroise paraît globalement en baisse, sauf l'exploitation du maërl, qui reste stable. Cette activité concerne quatre entreprises, dont l'une exploite les trois types de matériaux, deux autres sont spécialisées dans l'extraction des sables calcaires de plusieurs sites et la dernière dans l'extraction des sables siliceux au large des Abers.

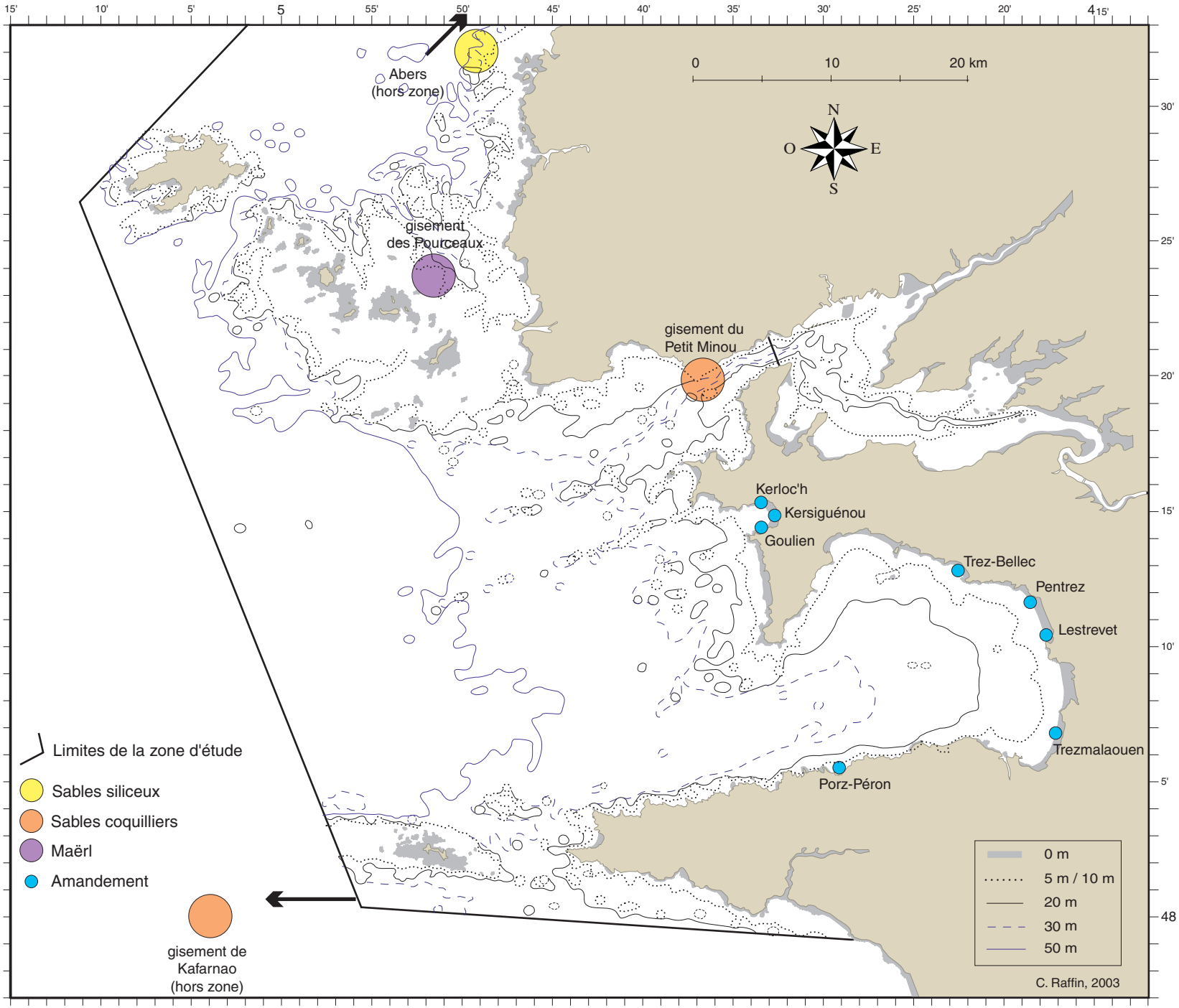


Figure VI-13 : Activités d'extraction de sédiments marins en mer d'Iroise et dans les sites proches de la zone d'étude.

VI-5-2- Exploitation sur le littoral

Cette activité d'exploitation des sables coquilliers littoraux est pratiquée de novembre à mai, pour l'amendement des cultures maraîchères. Les sites d'extraction et les quantités maximales sont fixées par arrêté préfectoral. A titre d'exemple, pour l'année 1999-2000, l'arrêté 99/1801 fixait ce quota à 22 675 m^3, dont 1 905 m^3 prélevés dans la zone Iroise, sur la presqu'île de Crozon et en baie de Douarnenez.

Les quantités autorisées sont très variables suivant les plages et les quotas sont répartis entre les agriculteurs. Il est nécessaire d'obtenir une autorisation individuelle auprès des subdivisions de l'Équipement, et de s'acquitter du paiement d'une redevance domaniale par mètre cube exploité, ainsi que d'une taxe forfaitaire.

VI-6- LES ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES EN MER D'IROISE

Trois grands types d'activités récréatives sont pratiquées en mer d'Iroise : le tourisme, le nautisme et la pêche de loisir. Ces activités sont fréquemment cumulées, puisqu'une grande partie de la pêche de loisir nécessite une embarcation, ce qui en fait un sous-ensemble du nautisme, et que le nautisme et la pêche sont deux activités souvent pratiquées dans le cadre d'un séjour touristique sur la côte.

Leur étude intéresse directement la gestion de la zone puisque la fréquentation touristique de la mer d'Iroise, et notamment celle de ses îles et de son littoral, est susceptible d'être considérablement amplifiée par la création d'un parc national marin (Badalamenti *et al.*, 2000 ; Carr, 2000), affluence qui entraîne une demande accrue pour la pratique des deux autres activités récréatives citées. En effet, les motivations des touristes venus en vacances dans la zone sont largement liées au patrimoine naturel et aux occupations nautiques (SAFI, 1999). Or, les interactions entre le tourisme et les autres activités récréatives d'une part, et entre elles et la pêche professionnelle d'autre part, sont fortes et se transformeront sûrement en cas de création d'une zone marine protégée.

VI-6-1- Le nautisme

La définition du nautisme est *l'ensemble des activités pratiquées sur ou dans l'eau, principalement dans le but de loisir mais aussi dans un but sportif, à l'exclusion de la baignade et de la natation* (Boncoeur *et al.*, 2000). De nos jours, les activités prises en considération sont le plus souvent la voile sous toutes ses formes (dériveur, croiseur, planche à voile, voilier, char à voile…), le motonautisme, le kayak, l'aviron et la plongée sous-marine.

Cependant, les impacts provoqués au milieu marin sont principalement dus aux navires de plaisance, dont le nombre dépendra des capacités d'accueil (places de mouillage).

Avec 26 144 bateaux, la flottille des navires de plaisance immatriculés dans les quartiers maritimes de l'Iroise représente près de la moitié de la flottille départementale et 17 % de la flottille régionale. Le quartier de Brest en regroupe à lui seul les deux tiers. De

plus, cette flottille est constituée à plus de 80 % de navires de moins de 6 mètres ; enfin, un tiers sont des voiliers (source : CAAM, dans Boncoeur *et al.*, 2000). Les activités de ces bateaux sont surtout des sorties à la journée.

Notre zone d'étude comporte cinq principaux ports de plaisance (du nord au sud : Aber Ildut, Camaret, Morgat, Douarnenez, Audierne) et offre de nombreuses possibilités de mouillages, dans ou hors des ports (figure VI-14). À l'échelle départementale, près de 23 000 places de mouillage sont recensées, dont plus du tiers à l'extérieur des ports, 57 % de ceux-ci étant non autorisés. La moitié de ces places sont situées dans les quatre quartiers maritimes de l'Iroise, mais seulement un quart sur le littoral des communes et communautés de communes limitrophes de la zone d'étude, soit 5 451 places (ADEUPa, 1999). La prise en compte des mouillages autorisés accroît la capacité d'accueil de la région de plus de deux tiers, en Iroise comme en Bretagne.

En excluant les places du Moulin Blanc, principal port de plaisance régional mais hors zone Iroise, plus de la moitié des mouillages est située dans les quartiers de Douarnenez, Camaret et Audierne, à 89 % dans les ports et moins de 8 % des mouillages sont non autorisés. Dans la partie du quartier de Brest correspondant à la zone Iroise, la part des ports n'est que de 48 % et un tiers des mouillages n'est pas autorisé.

Ces données indiquent une saturation des ports, comme le prouve l'existence de listes d'attente. Ce phénomène va de pair avec un essor important de la flotte de plaisance pendant ces trente dernières années.

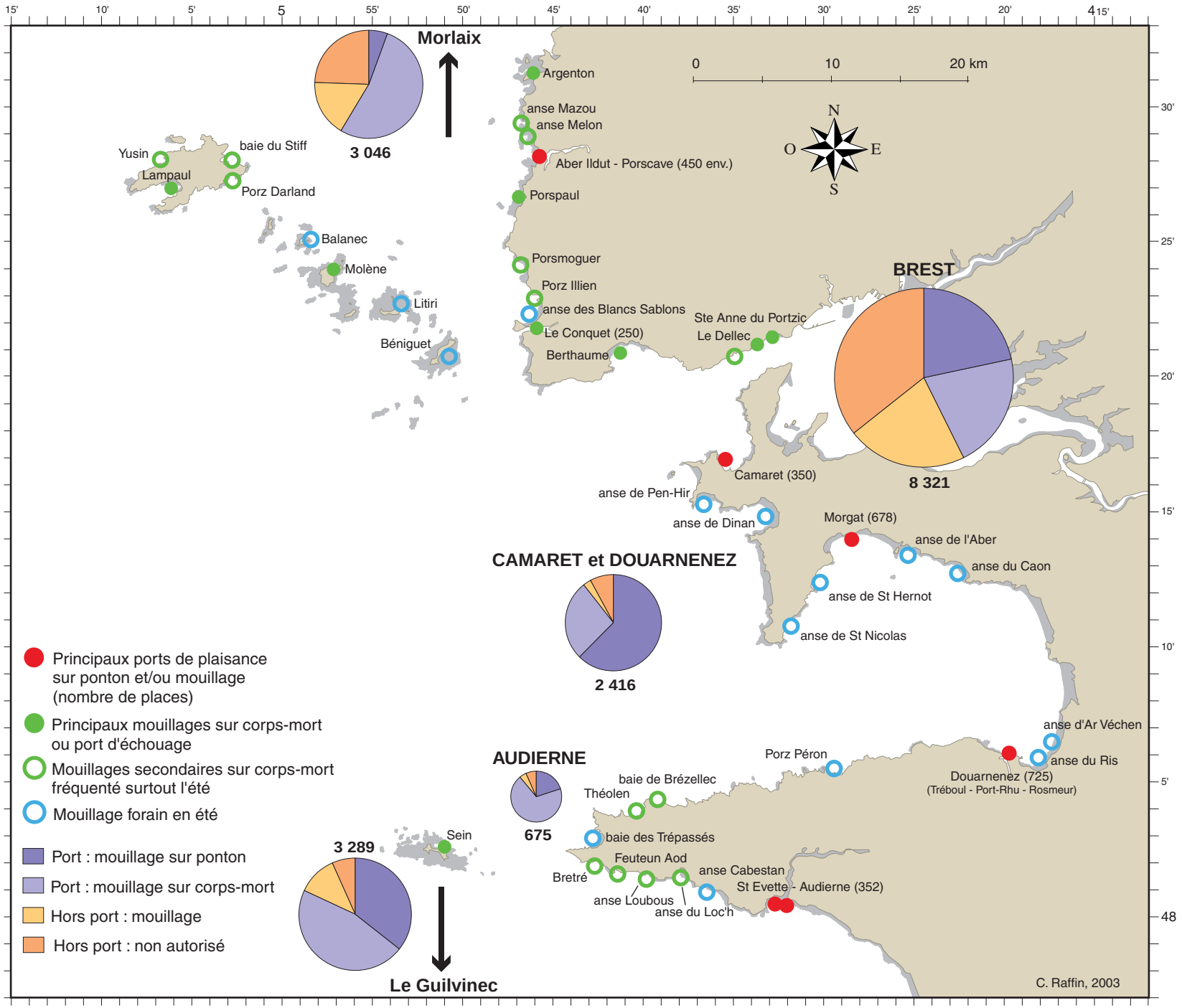


Figure VI-14 : Localisation des ports et mouillages de plaisance en mer d'Iroise, le chiffre correspond au nombre total de mouillages en 1997. Sources : DDE du Finistère dans SAFI (1999) et I. Peuziat (comm. pers.)

VI-6-2- La pêche de loisir

Les pratiques de pêche de loisirs sont nombreuses et diversifiées, mais ces activités se définissent globalement en France par l'interdiction de colportage, d'exposition ou de vente des produits de la pêche. En milieu marin, elle regroupe trois types de pratiques : la pêche plaisance, la chasse sous-marine et la pêche à pied.

VI-6-2-1- La pêche plaisancière

Elle peut être pratiquée à partir d'un navire, s'il n'est pas titulaire d'un rôle d'équipage de pêche. Les engins autorisés en Iroise sont les lignes gréées pour un maximum de 12 hameçons, deux palangres munies de 30 hameçons au maximum, deux casiers, une foëne, une épuisette et un trémail d'une longueur maximum de 50 mètres. Sa pratique n'exige pas de permis et ne fait l'objet d'aucune déclaration administrative spécifique. Les captures doivent cependant respecter les tailles minimales autorisées, les engins dormants doivent être identifiés et les réglementations applicables à la pêche professionnelle (zones, périodes, *etc*...) s'imposent également à la pêche de loisir.

La flottille de plaisance est estimée à 5 000 navires dans notre zone d'étude (Boncoeur *et al.*, 2002) et plus de la moitié des plaisanciers sont motivés principalement par la pêche de loisir (SAFI, 1999). Les espèces-cibles les plus pêchées (en tonnages) sont le maquereau, le lieu jaune, le bar, la daurade, ainsi que les gros crustacés (araignée de mer, homard, tourteau).

D'après Boncoeur *et al.* (2000), les captures totales imputables à la pêche plaisance représenteraient plus de 400 tonnes par an pour les quatre quartiers maritimes de l'Iroise, rade de Brest comprise à raison d'un volume annuel moyen de 90 kg par bateau de plaisance.

VI-6-2-2- La chasse sous-marine

Cette activité de loisir est relativement récente et n'apparaît dans les textes réglementaires qu'en 1951 sous le terme de *pêche à la nage* (Boncoeur *et al.*, 2000). Sa

pratique nécessite une simple démarche administrative auprès des Affaires Maritimes, dont sont dispensés les pratiquants licenciés auprès d'un club affilié à la Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins (FFESSM).

Le nombre de chasseurs sous-marins est estimé, en 1999, à plus de 7 000 pour les quartiers riverains de l'Iroise, dont 4 000 pour le seul quartier de Brest. Cette activité est en pleine expansion depuis le début des années 1990, avec une augmentation de 46 % des déclarations. Les pratiquants sont plutôt jeunes et expérimentés, puisque la moitié a moins de 30 ans et les deux tiers pratiquent depuis plus de six ans.

Les zones les plus fréquentées seraient l'archipel de Molène, le raz de Sein, les Tas de Pois et le secteur de la pointe de Corsen. Les espèces recherchées sont le bar et le mulet pêché surtout de mai à octobre, la vieille et le lieu jaune, toute l'année et l'araignée d'avril à juillet-août, lorsqu'elle migre vers la côte. Le tourteau souvent n'est pas ciblé, sa pêche résulte d'opportunités de rencontres. Enfin, la coquille S^{t}-Jacques est nettement moins pêchée en apnée depuis la mise en place d'une réglementation plus restrictive calquée sur les dispositions régissant la pêche professionnelle (Boncoeur *et al.*, 2002).

Les captures individuelles moyennes représentent environ 70 kg par an, les six cibles principales sont l'araignée de mer, la vieille, le bar, les poissons plats, le lieu jaune et le mulet. Selon l'extrapolation faite par Boncoeur *et al.* (2000) à partir d'une enquête sur un échantillon de chasseurs sous-marins, presque 500 tonnes de prélèvements sont réalisées par la chasse sous-marine pour l'ensemble des quartiers maritimes de la mer d'Iroise.

Avec les captures réalisées par la pêche plaisance, les activités de pêche récréative dans les quartiers maritimes de l'Iroise représenteraient donc, d'après ces estimations, un total de captures de l'ordre de 900 tonnes par an, soit à peine plus de 6 % du tonnage (hors algues) débarqué par les professionnels dans ces quartiers maritimes.

VI-6-2-3- La pêche à pied de loisir

Comme son nom l'indique, cette activité se pratique sans embarcation, à marée basse, à mains nues ou à l'aide de divers engins (couteaux, griffes, râteaux, haveneaux, *etc*...). La pêche à la ligne depuis le bord n'est pas incluse dans cette catégorie d'activités, qui est la plus

couramment pratiquée sur les côtes de Bretagne. L'activité de pêche s'exerce sur trois types de milieux : les fonds meubles (favorables à la pêche des palourdes, coques, praires et les appâts pour la pêche), les substrats durs (huîtres, moules et gastéropodes) et la zone non découvrante (crevettes, ormeaux).

La fréquentation des estrans augmente considérablement pendant la période estivale et les grandes marées d'équinoxe, d'autant plus que le littoral de la mer d'Iroise est très favorable à la pêche à pied, étant donné la facilité d'accès à un grand nombre de sites.

Plusieurs métiers, caractérisés par l'association d'un substrat sur lequel pêche le plaisancier avec l'outil utilisé et l'espèce capturée, peuvent être définis. Les cibles sont surtout des coquillages et des crustacés, les espèces les plus recherchées sont les palourdes (40 % des pêcheurs), les huîtres sauvages, les bigorneaux, les crevettes et, dans une moindre mesure, les praires, les coques et les étrilles.

Le nombre de pêcheurs à pied actifs dans la zone Iroise est très difficile à estimer. Il serait de l'ordre de 2 000 pêcheurs mobilisables en rade de Brest chaque jour de grande marée (définie ici par un coefficient supérieur à 105), avec une vingtaine de métiers différents. Un comptage à partir de photos aériennes, réalisé en septembre 1997 pour l'Agence de l'eau Bretagne - Pays de Loire, signalait 3 837 pêcheurs à pied en rade, répartis pour les deux tiers sur des fonds meubles, ainsi que près de 1 000 sur le littoral de l'Iroise, entre Le Conquet et la pointe de Penmarc'h (Boncoeur *et al.*, 2000).

Des réglementations régissent l'utilisation des filets fixes et des palangres, ainsi que les captures maximales de certaines espèces, comme les tellines (2 kg par jour) et fixant les périodes et les engins à respecter pour la pêche des oursins, des anatifes et des ormeaux.

VI-7- UN PARC NATIONAL MARIN POUR LA MER D'IROISE

VI-7-1- Les mesures de protection en place

Dès la fin du XIX^{ème} siècle, l'intérêt ornithologique que représentent les îles de l'archipel de Molène était déjà reconnu.

En 1960, la Société pour l'Étude et la Protection de la Nature en Bretagne (SEPNB, actuellement Bretagne Vivante) créait la réserve biologique d'Iroise, qui correspondait alors à 20 roches et îlots de l'archipel de Molène.

En 1969, le Parc Naturel Régional d'Armorique est créé à son tour, autour de quatre sites de grande valeur patrimoniale : l'archipel de Molène et l'île d'Ouessant, les pointes de Camaret et de Roscanvel, l'estuaire de l'Aulne et le Menez Hom et les Monts d'Arrée. Il regroupe aujourd'hui 39 communes et s'étend en mer au large du territoire communal des îles habitées et de ses autres communes, jusqu'à l'isobathe des 30 mètres, ce qui représente sur une surface de 60 000 hectares. C'est avant tout un organisme d'incitation et de coordination des actions entreprises par les collectivités et les acteurs locaux et régionaux, il ne dispose pas de compétences juridiques ou réglementaires. En 1997, la révision de la charte du PNRA a permis de réaffirmer la prépondérance des préoccupations liées à la gestion, la protection et la mise en valeur du patrimoine naturel.

En 1972, le Conseil Général du Finistère acquérait les îles de Bannec, Balanec et Trielen. Une réserve de chasse maritime était établie en 1973 sur leur DPM. En 1976, la gestion des trois îles était confiée à la SEPNB et en 1977, elles étaient classées au titre de la loi de 1930.

Les îles de Molène et de Sein constituent également dans leur totalité des sites classés ou inscrits, tout comme plus de la moitié de la surface d'Ouessant. Ce classement s'étend en mer de manière variable selon les îles et en dehors de celles-ci, mais les secteurs inscrits ou classés sont particulièrement étendus en presqu'île de Crozon (3 200 hectares).

En 1986, la procédure de demande du label *Man and Biosphere* était lancée auprès de l'*UNESCO*. L'ensemble insulaire et marin constitué par Ouessant et l'archipel de Molène bénéficie de ce label depuis 1988, sous le nom de "Réserve de Biosphère de la mer d'Iroise".

Cette réserve s'étend en mer jusqu'à l'isobathe des vingt mètres. Ce statut correspond d'une part à une obligation de conserver la biodiversité et d'autre part à une mise en valeur de toutes les richesses naturelles du milieu marin. Le PNRA en est le gestionnaire.

D'autre part, un dossier était déposé en 1991 en vue de créer une réserve naturelle volontaire en Iroise, création effective en 1992. La "réserve naturelle d'Iroise" comprend trois îlots de l'archipel de Molène : Bannec, Balanec et Trielen. Elle s'étend sur 39 hectares et ne concerne que le domaine terrestre. Sa gestion a été confiée à la SEPNB en 1993, avec la fédération des chasseurs pour ce qui concerne la réglementation cynégétique.

D'autre part, au titre de la directive "oiseaux", des zones de protections spéciales ont été notifiées par la France sur Ouessant, sur les falaises du Cap Sizun et dans l'archipel de Molène qui détient aussi le label européen ZICO grâce à la présence de nombreux oiseaux marins nicheurs sur les différents îlots.

Plusieurs réserves de chasse maritime sont également instituées sur la zone Iroise :

- 3 secteurs totalisant 2 200 hectares et 12,5 km de rivages à Ouessant
- 2 secteurs autour des îlots de l'archipel de Molène, soit 10 000 hectares
- 1 200 hectares (6 km de rivages) en presqu'île de Crozon
- 500 hectares (4,5 km de rivages) au Cap Sizun

Il s'agit en fait de prolongements marins de réserves d'association assurant la tranquillité de l'avifaune sédentaire, migratrice ou hivernante. Les trois réserves associatives concernées sont situées sur les îlots d'Ouessant, sur les îlots de la presqu'île de Crozon (Toulinguet, Tas de Pois et l'Aber) et sur les falaises de Goulien (Cap Sizun).

Enfin, une réserve de chasse et de la faune sauvage est établie depuis 1993 sur l'île de Béniguet.

La représentation spatiale des diverses réglementations s'appliquant dans la zone Iroise (figure VI-15) fait apparaître la multitude des réglementations et le morcellement des espaces protégés. Or, les organismes responsables du suivi et de la gestion de ces sites sont tout aussi multiples. Ces réglementations impliquent de plus des zonages qui sont parfois superposés ou qui se croisent, compliquant encore les problèmes de gestion.

D'autre part, la plupart des sites et des terrains protégés sont situés en zone terrestre côtière, les réglementations ne concernant au mieux que la zone intertidale. Le milieu marin apparaît donc paradoxalement comme faiblement protégé, exception faite de l'archipel de Molène, entouré par la zone marine incluse dans le zonage de la réserve de biosphère d'Iroise.

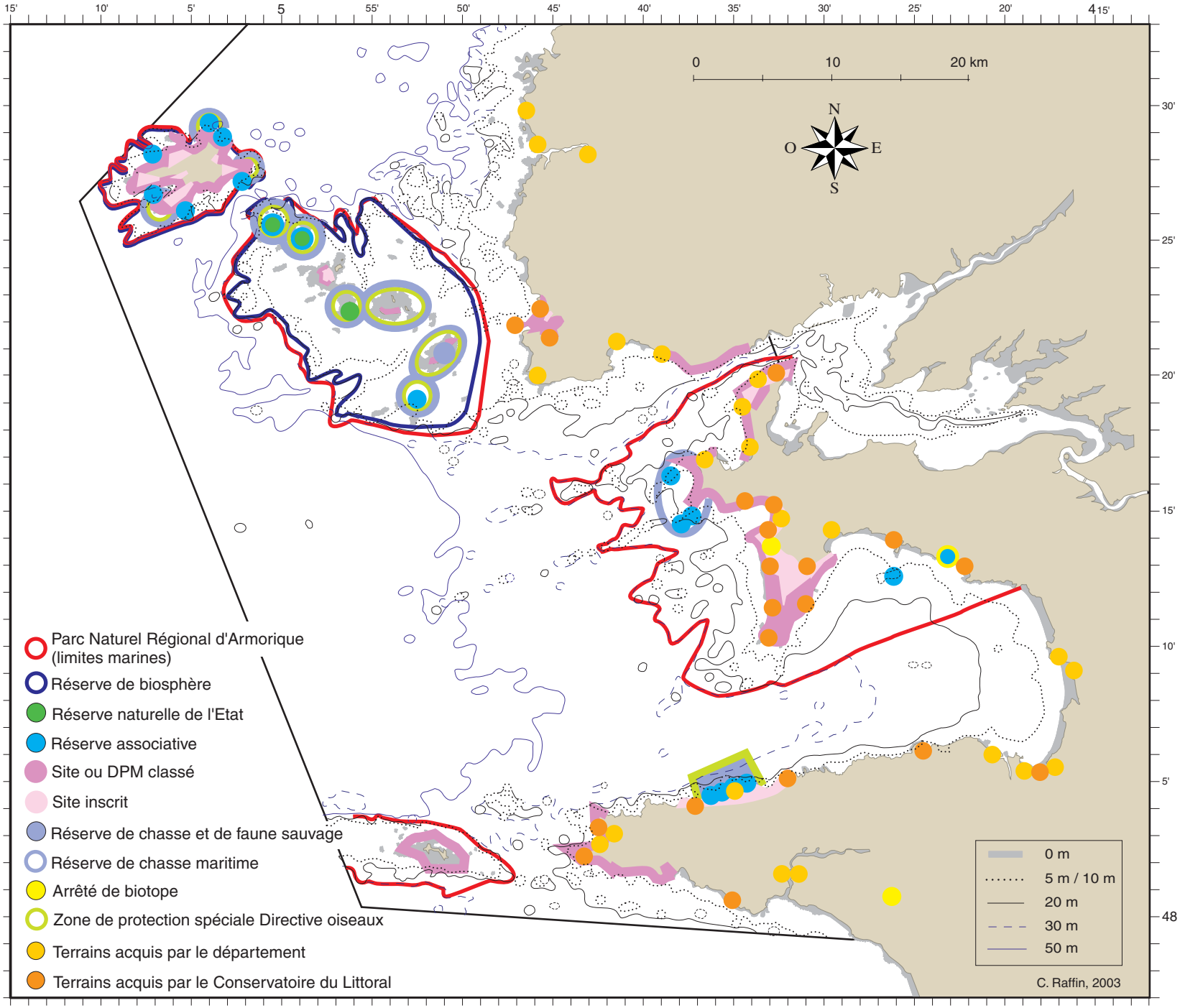


Figure VI-15 : Les différents types de protection s'appliquant dans la zone d'étude. Modifié d'après Le Berre (1999).

Les îles de Sein, d'Ouessant et celles de l'archipel de Molène sont également largement entourées d'une zone réglementée du fait du classement de leur DPM, même si sa surface est assez réduite autour d'Ouessant. Cependant, ces deux types de limites sont définis soit par une isobathe (20 mètres dans le cas de la réserve de biosphère), soit par une distance à la côte : il n'y a donc pas de prise en compte raisonnée du milieu marin et ces limites, bien que marines, sont indépendantes du milieu qui les entoure. De plus, le classement d'un DPM induit une protection du fond de la mer et non de la colonne d'eau : cette singularité est le résultat de l'application d'une réglementation définie pour le domaine terrestre à une zone marine, pour laquelle elle n'est pas adaptée.

Il y a donc en Iroise une très grande diversité de statuts de protection complexes, entraînant une surimposition des zonages et une multiplicité des acteurs, essentiellement terrestres, impliqués dans la gestion des zones naturelles. Les réglementations qui s'appliquent sont terrestres et mal adaptées à la nature et aux spécificités du milieu marin.

L'idée d'un label réellement approprié pour le domaine marin a donc émergé naturellement. Celui-ci permettrait d'en simplifier la protection, en confiant à une structure unique la responsabilité de la gestion de l'aire définie, qui engloberait l'ensemble des zones déjà protégées. Le type d'aire marine protégée finalement retenu est celui d'un parc national, en raison de la structure forte qu'il représente, ainsi que des moyens substantiels fournis par l'État pour sa création et pour son fonctionnement.

Ce projet est particulièrement innovant, puisque aucun "parc national marin" n'existe encore en France à ce jour, même si le parc national de Port-Cros, en Méditerranée, comporte un domaine maritime conséquent. Créé en 1963, ce parc national englobe l'île habitée de Port Cros et trois petites îles inhabitées, les îlots de Bagaud, du Rascas et de la Gabinière, sur la commune d'Hyères (Var). Sa zone centrale s'étend sur près de 700 hectares terrestres et 1 800 hectares de territoire maritime et comprend une bande de 600 mètres autour des îlots (Francour *et al.*, 2001).

La réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls (Pyrénées Orientales), créée en 1974, comprend 650 hectares de milieu marin, avec 6 kilomètres de rivages et jusqu'à 1,5 mille vers le large. Une zone de protection renforcée de 65 hectares a été créée au cœur de la réserve en 1979, en accord avec les pêcheurs. Toute activité humaine y est proscrite, excepté la recherche scientifique.

La Corse abrite aussi plusieurs réserves naturelles comportant des domaines marins. La réserve de Scandola est la plus ancienne des réserves françaises à double vocation terrestre (920 ha) et marine (590 ha) (Francour, 1991). Un projet de "parc national marin de Corse" avait été envisagé pour le nord-ouest de l'île, dont la réserve de Scandola aurait été le cœur. Mais il a été annulé en 2000 par le préfet de Corse suite aux résultats défavorables de l'enquête d'utilité publique ouverte cette même année.

La réserve naturelle des Bouches de Bonifacio inclut plusieurs aires marines protégées, dont les réserves naturelles des îles Cerbicales, celle des îles Lavezzi, des domaines terrestres et des cantonnements de pêche. Cette réserve concerne en tout 5 050 hectares de milieu marin, avec 90 îles et îlots, pour des profondeurs de 0 à 50 mètres. Cependant, un projet de parc international marin incluant cette réserve naturelle et le parc national italien de *Madallena archipelago* (Sardaigne) est actuellement à l'étude, afin de gérer le domaine marin à une plus large échelle (Francour *et al.*, 2001).

Contrairement aux parcs terrestres, il n'est pas possible de soustraire totalement une zone marine à l'influence anthropique, étant donnée l'absence de frontières physiques en milieu marin (Steele, 1985). La gestion de la zone doit donc absolument prendre en compte celle des îlots et des activités halieutiques. La mise en place d'une structure telle qu'un parc national marin permettrait toutefois de conserver un champ d'action pour l'adapter au mieux au fur et à mesure de l'avancée du projet, en profitant des leçons tirées de cette "expérimentation" en temps réel.

VI-7-2- Historique de la création du Parc National Marin d'Iroise (PNMI)

VI-7-2-1- Les obligations légales

D'après la loi, le ministre en charge de la protection de l'environnement doit faire les études concernant la création des parcs nationaux et de leurs zones périphériques en liaison avec les autres ministres intéressés (art. R 241-3). Cette création est marquée par deux étapes : une consultation pour avis, suivie, si le projet est retenu par le Premier Ministre, d'une enquête d'utilité publique. Le contenu de ces étapes a été progressivement précisé par différents arrêts du Conseil d'État, formalisés dans le Code rural aux articles R 241-4 et suivants.

La première étape est donc une consultation pour avis sur le principe de la création d'un parc, afin que toutes les collectivités territoriales de l'aire géographique concernée en soit averties. Cette phase doit être mise à profit pour prendre tous les avis et suggestions et faire ainsi évoluer le projet initial, en accord avec tous les acteurs concernés. À l'issue de cette étape, le Premier Ministre décide si le projet doit être pris en considération. Le cas échéant, c'est le ministre chargé de la protection de l'environnement qui doit en poursuivre la réalisation (art. R 241-6).

Le dossier à constituer en vue de l'enquête publique est envoyé au préfet, il doit comporter une note précisant l'objet, les motifs et la portée de l'opération, la liste des communes incluses, en totalité ou en partie, dans le parc et, si besoin, les limites de la zone périphérique, une carte des zones et le projet de décret créant le parc. Le préfet arrête alors un certain nombre d'éléments pour faciliter le bon déroulement de l'enquête, comme l'objet, la date et la durée de celle-ci (qui ne peut être inférieure à 15 jours), les heures et lieux où le public pourra consulter le dossier et faire des observations, *etc*... Enfin, c'est seulement au vu des résultats de cette enquête qu'un décret fondateur pourra être pris en Conseil d'État.

Cette deuxième étape est très importante pour définir la nature exacte du futur parc national, elle ne vise plus à se prononcer sur l'utilité d'un projet mais bien sur ses modalités, afin de s'approcher le plus possible du texte final. L'article 5 du décret du 31 octobre 1961 précise en effet que *le décret créant un parc national ne peut pas légalement imposer des sujétions ou interdictions qui n'auraient pas figuré dans le projet soumis à enquête publique*.

VI-7-2-2- Le déroulement de la procédure

La création d'un parc national marin en mer d'Iroise a été proposée à l'État en 1990 par le parc naturel régional d'Armorique. Un comité de pilotage a été mis en place en 1992 pour étudier la faisabilité d'un tel projet. Celui-ci réunit les élus, les professionnels, les scientifiques et les administrations concernés par cet espace maritime, sous la coprésidence du préfet du Finistère et du préfet maritime de l'Atlantique.

En octobre 1995, le Premier Ministre a confirmé la poursuite de la procédure de création du parc national en Iroise. Une mission chargée du secrétariat permanent du comité de pilotage a vu le jour à Brest l'année suivante. Cette "mission parc national" comptait 3 permanents à partir de 1997.

Depuis 1991, des études sont menées sous l'égide de trois groupes de travail, chargés d'envisager les aspects scientifiques, économiques et juridiques de la création de ce parc national marin en mer d'Iroise. Elles devront aboutir à une proposition de décret fondateur du futur parc, qui sera alors elle-même soumise à l'enquête publique.

Comme prévu par la loi, un avis de principe sur cette création a été demandé à la fois aux communes concernées, au Conseil Général du département, aux Chambres de commerce et d'agriculture, ainsi qu'au Comité interministériel des parcs nationaux et au Conseil supérieur de protection de la nature. Lancée en 2000, cette consultation préalable a abouti à la rédaction d'un document d'intention, récapitulant les propositions que le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Équipement estime possibles.

D'après les réponses des organismes consultés, le Premier Ministre (Lionel Jospin) a décidé en juillet 2001 du bien-fondé du projet et a fixé un arrêté de prise en considération. Il ouvre ainsi la voie vers la constitution du dossier d'enquête publique et, de ce fait, a confirmé la volonté de créer un parc national marin en mer d'Iroise.

SYNTHÈSE :

ENJEUX ET MENACES SUR LES HABITATS ET LES PEUPLEMENTS DE LA MER D'IROISE

1- COMPARAISON AVEC LES PRINCIPALES TYPOLOGIES EUROPÉENNES

Cette synthèse s'appuie non seulement sur les éléments abordés dans les trois parties de cette thèse mais également sur des données bibliographiques dont l'objet dépasse le seul milieu marin de l'Iroise. La synthèse présentée ici déborde donc du cadre des seuls résultats de cette thèse pour aborder aussi les enjeux et menaces identifiables pour les milieux rocheux et les estrans, en liaison directe avec la zone marine que nous avons étudiée.

Nous avons vu que différents systèmes de classification des habitats coexistent au niveau européen, utilisant des catégories et des limites de catégories assez différentes entre les habitats. Nous avons entrepris de situer les habitats et peuplements observés en mer d'Iroise par rapport à ces différents systèmes de classification des milieux marins reconnus en Europe. Trois principales typologies sont considérées pour réaliser cette comparaison avec les habitats et peuplements de l'Iroise : celle des ZNIEFF-mer, de la Directive Habitats et la classification anglaise *EUNIS*.

ZNIEFF-mer :

Le programme d'inventaire français des ZNIEFF a été lancé en 1982 sur l'initiative du Ministère de l'Environnement, afin de mieux connaître notre patrimoine naturel et notamment ses habitats les plus remarquables. C'est un inventaire national régionalisé, qui a pour but de rassembler l'ensemble des données scientifiques complétées par des enquêtes de terrain et de les rendre accessibles pour les gestionnaires de l'espace. La reconnaissance de ces zones doit permettre de définir une politique de conservation, de gestion et de valorisation du patrimoine naturel (Dauvin, 1994). Dix ans après le début de cet inventaire, 13 600 ZNIEFF ont ainsi été identifiées et informatisées en milieu terrestre.

Une extension marine s'est avérée nécessaire pour l'ensemble des côtes méditerranéennes et atlantiques, de la Manche et de la mer du Nord, ainsi que pour celles des territoires d'Outre-Mer. En effet, la spécificité de ce milieu nécessitait un ajustement de la méthodologie qui se veut commune et adaptée à l'ensemble des côtes de France. La liste des paramètres retenus pour la description des sites proposés pour l'inventaire des ZNIEFF-mer est très complète et comprend, en plus des principales biocénoses par niveau bathymétrique

(du supralittoral au circalittoral), des informations sur les conditions hydrologiques, hydrodynamiques et sur la géomorphologie du site. Les intérêts patrimoniaux et fonctionnels doivent aussi être précisés, ainsi que les facteurs anthropiques et naturels qui influencent l'évolution de la zone ou qui pourraient le faire. Une liste des espèces protégées, menacées ou remarquables faisant l'intérêt de la zone peut également être ajoutée.

Classification de la Directive Habitats (ou Natura 2000) :

La "Directive Habitats" (*European Commission Habitats Directive*) a été adoptée par le Conseil des Communautés Européennes en 1992. Cette directive a été adaptée pour les habitats côtiers présents en France : huit habitats génériques sont reconnus pour le milieu marin et sont déclinés en quarante-cinq habitats élémentaires (Bioret *et al.*, 2003). Ces habitats sont définis dans ce document comme l'ensemble indissociable d'un biotope (conditions climatiques, édaphiques, mode d'exposition hydrodynamique) et d'une communauté d'être vivants (faune et flore) caractérisée par des espèces indicatrices. L'ensemble des fiches descriptives de chaque habitat élémentaire, 105 en tout, est rassemblé dans les "Cahiers d'habitats *Natura 2000*" (Bensettiti *et al.*, à paraître) ; celles-ci sont réalisées selon une double approche scientifique (identification, synthèse écologique) et technique (cadre et recommandations de gestion).

La déclinaison des habitats côtiers (génériques) en habitats élémentaires permet de situer les peuplements et faciès définis dans ce travail de thèse par rapport aux habitats reconnus au niveau européen.

Classification EUNIS :

La classification des habitats *EUNIS* est un système complet européen, qui couvre tous les types d'habitats, des plus naturels aux artificiels, des terrestres aux aquatiques et marins du littoral jusqu'aux fonds de haute mer. Ce système est utilisé pour appuyer le processus *Natura 2000*. Cette classification a été rectifiée depuis 1999, en réponse aux propositions faites à une conférence internationale sur les habitats marins organisée par la Commission OSPAR, l'ICES et l'Agence Européenne de l'Environnement (*EEA*) en 2000 et à un meeting du *ICES Marine Habitats Mapping Working Group* en 2001 (Davies et Moss, 2002). Des liens directs ont été précisés entre la classification EUNIS et d'autres nomenclatures comme CORINE *Land Cover* et l'annexe I de la Directive Habitats (Moss et Davies, 2002).

Les habitats marins sont regroupés dans la catégorie A, qui comporte quatre sous-unités, deux intertidaux (roches ou autres substrats durs et sédiments littoraux) et deux subtidaux (roche ou autres substrats durs littoraux et sédiments sublittoraux). Chaque sous-catégorie est ensuite déclinée pour définir des communautés et sous-communautés. Cette classification est extrêmement précise et prend en compte une multitude de petits faciès très spécifiques au sein des peuplements d'habitats parfois également très ciblés, dont un grand nombre concernent la mer Baltique.

La comparaison des catégories de ces classifications avec les habitats, peuplements et faciès de l'Iroise est résumée dans le tableau S-1.

Le tableau S-1 fait apparaître la difficulté de classifier un habitat observé et décrit localement par une typologie à vocation internationale. En effet, les conditions locales de l'environnement (profondeurs, couverture sédimentaire, hydrodynamisme, *etc*...) fournissent une multitude d'habitats dans lesquels se différencient des peuplements et des faciès parfois uniques au niveau européen. Une classification comme celle d'*EUNIS* prend en compte cette variabilité très fine avec de nombreux faciès spécifiques à la mer Baltique, mais cette diversification à l'extrême n'a pas été envisagée pour chaque zone marine et certaines catégories restent trop vastes pour décrire avec précision certains de nos habitats ou faciès. Comparés à l'échelle à laquelle nos résultats ont été acquis, ces habitats marins restent donc assez généraux malgré une échelle de reconnaissance comprise entre 1 et 100 m² pour la Directive Habitats (Bioret *et al.*, 2003).

L'habitat des cailloutis et sédiments hétérogènes est par exemple assez peu représenté dans les classifications et n'apparaît que sous la forme des sables grossiers et graviers dans la Directive Habitats. Ceci est sans doute dû au fait que les zones *Natura 2000* n'étaient pas prévues pour décrire les domaines au-delà de l'infralittoral, or la majorité des zones de cailloutis est plus profonde.

D'autre part, les habitats décrits dans ces documents définissent les potentialités optimales pour qu'un peuplement caractéristique d'un environnement dans des conditions données puisse exister en bonne santé. Mais l'évaluation de l'état de santé des habitats doit également être réalisée en fonction des pressions subies et de la dynamique propre à chaque système.

Tableau S-1 : Correspondance des couples habitats-peuplements et faciès de l'Iroise avec les classifications de la Directive Habitats, de l'*EUNIS* et des ZNIEFF-mer.

HABITAT-PEUPLEMENT OU FACIÈS	CLASSIFICATION DIRECTIVE HABITATS	CLASSIFICATION *EUNIS*	CLASSIFICATION ZNIEFF-MER
Peuplements des fonds durs et rocheux subtidaux	**1170** 1170-5 à 7 ; 8830	**A3** A3-1 à 9 ; A3-A ; A3-B	**III9** III9-1 à 5
Peuplement des graviers biogènes à *Clausinella fasciata*, *Tapes rhomboides*, *Dosinia exoleta*, *Branchiostoma lanceolatum* et *Circomphalus casina*	**1110-3**	**A4-1** A4-1-1-2	**III5** III5-1
Faciès à *Glycymeris glycymeris*			
Faciès de maërl Faciès de maërl envasé	1110-3 1160-2	A4-6 ; A4-6-1 et A4-6-2	III7 ; III7-1
Peuplement des cailloutis et sédiments hétérogènes à *Arcopagia crassa*, *Circomphalus casina*, *Glycymeris glycymeris* et à épifaune vagile très diversifiée	***1110-3 ?***	**A4-1** A4-1-3 ; A4-1-3-1 et 2	**III6** III6-1
Faciès à *Pisidia longicornis*			*III6-1-3 ?*
Faciès à Ophiures (*Ophiothrix fragilis*)		A4-4-4 ; A4-4-4-5	III6-1-1
Faciès à Amphioxus	1110-3	A4-1-3-1-2	*III5-1 ?*
Faciès de transition vers les sables grossiers à *Goodalia triangularis* : sables dunaires	1110-2	A4-1-2 ; A4-1-2-1	III4-1
Peuplement des "graviers" au sens large à gros bivalves : *Glycymeris glycymeris*, *Clausinella fasciata*, *Arcopagia crassa*, *Aequipecten opercularis*, *Pecten maximus*, *Timoclea ovata* et *Branchiostoma lanceolatum*	**1110-3**	**A4-1** A4-1-3 ; A4-1-3-1 et 4	**III5** III5-1
Faciès à Amphioxus	1110-3	A4-1-3-1-2	III5-1
Faciès à Ophiures (*Ophiocomina nigra)*		*A4-4-4 ; A4-4-4-5 ?*	*III6-1-1 ?*
Faciès à *Pisidia longicornis*			*III6-1-3 ?*
Faciès de graviers envasés	1110-3	*A4-1 ?*	III5-2
Faciès de transition vers les sables grossiers à *Abra prismatica*, *Goodalia triangularis* et *Dosinia lupinus* : sables dunaires	1110-2	A4-1-2 ; A4-1-2-1	III4 ; III4-1
Faciès de sables fins biogènes	1110-1	A4-2	III3-1

N.B. : Dans les classifications adoptées par les pays européens (Directive Habitats, *EUNIS*, ZNIEFF-mer…, la définition d'un habitat fait référence à la fois au biotope (conditions climatiques, édaphiques, exposition hydrodynamique…) et à la biocénose, caractérisée par les espèces indicatrices de cet habitat. Elle correspond donc aux couples habitat-peuplement -ou faciès- donnés dans nos résultats.

Suite du tableau S-1.

HABITAT-PEUPLEMENT OU FACIÈS	CLASSIFICATION DIRECTIVE HABITATS	CLASSIFICATION *EUNIS*	CLASSIFICATION ZNIEFF-MER
Peuplement des "sables" au sens large = faciès des sables mal triés à *Abra alba*, *Amphiura brachiata* et *Echinocardium flavescens*	**1110-4**	**A4-2** A4-2-2	**III3 ; III4** III3-2
Faciès de transition vers les sables grossiers à *Goodalia triangularis* et *Abra prismatica* : sables dunaires et sables grossiers à lançons	1110-2	A4-1-2 ; A4-1-2-1	III4 ; III4-1
Faciès à Ophiures (*Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*)		A4-4-4 ; A4-4-4-5	*III6-1-1 ?*
Faciès à *Pisidia longicornis*			
Faciès de sables fins à petits bivalves (*Fabulina fabula*, *Lucinella divaricata*, *Moerella pygmaea*, *Mysella bidentata*)	1110-1	A4-2-2-3	III3-1
Faciès envasé à *Owenia fusiformis*		A4-2-5 ; A4-2-7	*III3-2-3 ou 4 ?*
Faciès à zostères *Zostera marina*	1110-1	A2-7 A4-2 ; A4-5 ; A4-5-3	III3-4
Peuplement des sables fins envasés à *Amphiura filiformis*, *Halcampa chrysanthellum*, *Chamelea gallina*, *Amphiura brachiata*, *Sipunculus nudus*…	**1110-1**	**A4-2** A4-2-2 ; A4-2-3 ; A4-2-5-1 à 5 ; A4-2-7 ; A4-2-7-2	**III3**
Faciès à *Angulus tenuis*	1110-1		III3-1
Faciès enrichi par le front d'Ouessant			
Faciès de vases sableuses	1160-1	A4-3 ; A4-3-3	III2-7 et 8
Faciès mixte de sédiments fins et graviers	*1160-2 ?*	A4-4	
Peuplement des sédiments hétérogènes envasés à *Owenia fusiformis*, *Sthenelais boa* et *Labidoplax digitata*	**1110-4** 1160-1 et 2	**A4-4** A4-2-7-1 ; A4-4-2 et 4	**III3** III3-3
Peuplement de dessalure des zones d'estuaires abrités et vaseux	**1130** 1130-1	A2-3 A4-2-6 ; A4-3 ; A4-3 1 et 2	**II1 ; II2** II1-1 ; II2-1 à 3
Estrans rocheux	**1170** 1170-1 à 3 ; 1170-8 à 9	**A1** A1-1 à 3 ; A1-5 à 6 ; B3-1	**II5** II5-1 à 5 ; II5-7 ;III9-1 à 5
Estrans meubles	**1140** 1140-1 à 6	**A2** A2-1 à 7	**I2 ; II3 ; II4** I2-1 ; II3-1 à 3 ; II4

N.B. : Dans les classifications adoptées par les pays européens (Directive Habitats, *EUNIS*, ZNIEFF-mer…, la définition d'un habitat fait référence à la fois au biotope (conditions climatiques, édaphiques, exposition hydrodynamique…) et à la biocénose, caractérisée par les espèces indicatrices de cet habitat. Elle correspond donc aux couples habitat-peuplement -ou faciès- donnés dans nos résultats.

2- ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET PATRIMONIAUX

Les différents habitats, peuplements, faciès ou espèces identifiés en Iroise représentent des enjeux d'ordres scientifique, économique, écologique ou patrimonial. Le plus souvent, un des faciès de chaque peuplement représente une valeur économique et patrimoniale particulière, qui sera détaillée dans cette partie.

Les champs de laminaires, dans l'habitat des fonds durs et rocheux correspondent principalement aux plateaux rocheux de Molène et à la chaussée de Sein. Ils représentent une grande valeur tant sur le plan économique, puisqu'ils sont exploités pour la pêche. Leurs valeurs écologique et patrimoniale sont également reconnues grâce à leur rôle de nourriceries et d'abris pour une faune très diversifiée (Arzel et Castric-Fey, 1997).

Les bancs de maërl, dans l'habitat des graviers biogènes, ont également une grande valeur économique et surtout patrimoniale (Grall, 2002). Le principal correspond dans notre zone au banc des Pourceaux dans l'archipel de Molène.

Les habitats très hétérogènes que constituent les cailloutis et sédiments hétérogènes et les graviers sont des zones atypiques par rapport aux côtes de l'Atlantique ; cependant des étendues de cailloutis tout à fait comparables occupent une grande surface des fonds de la Manche (Cabioch, 1968). L'originalité de l'Iroise tient cette fois à la fraction sableuse constituée des débris d'organismes sessiles vivant sur les cailloutis et les zones rocheuses. Cette fraction biogène, très présente en Iroise, constitue les sables grossiers coquilliers qui se mêlent aux graviers et aux cailloutis dans la plupart des zones.

Les herbiers de zostères, dans l'habitat des sables au sens large, sont répartis en de nombreux points de surface variable, toujours en zone très côtière et abritée des grandes houles de l'ouest par des barrières rocheuses naturelles (îles, caps, avancées rocheuses…). Ils constituent des milieux très particuliers reconnus pour leur grande richesse écologique et leur rôle de nourriceries, nurseries et refuges pour de nombreuses espèces (Den Hartog et Hily, 1997).

Les peuplements de sédiments envasés (sables fins et sédiments hétérogènes) présentent aussi un enjeu d'importance en tant que nourriceries de poissons plats, de crustacés prédateurs mais ils sont très peu représentés dans le domaine subtidal de l'Iroise. Le "faciès enrichi par le front d'Ouessant" décrit dans ces travaux, constitue une originalité inédite de la mer d'Iroise, ce qui lui confère un grand intérêt scientifique.

Habitat des fonds durs et rocheux : les champs de laminaires (figure S-1)

Figure S-1 : Laminaires (*Laminaria digitata*) flottant dans le courant. Photo Erwan Amice.

Une grande partie des fonds rocheux littoraux constitue un habitat privilégié pour le développement de vastes champs de laminaires ; ces étendues de grandes algues sont la forme la plus spectaculaire des formations végétales remarquables des côtes bretonnes. Six espèces de Laminariales constituent ces formations, dans des proportions qui varient en fonction de leur exigence vis-à-vis des conditions du milieu : *Laminaria digitata*, *L. hyperborea*, *L. ochroleuca*, *L. saccharina*, *Saccorhiza polyschides* et *Alaria esculenta* (Arzel et Castric-Fey,

1997). En mer d'Iroise comme partout le long des côtes Manche-Atlantique, l'essentiel de la biomasse est généralement constitué par *L. hyperborea*.

Le champ de laminaires du plateau de Molène est le principal lieu de récolte des algues en France (*Laminaria digitata*) ; le seul autre site d'exploitation d'algues se trouve au pays basque où se récolte le *Gelidium* (Le Duff et Hily, 1999a, b). La production moyenne de l'Iroise représente environ les deux tiers des 54 000 tonnes/an récoltées pour l'ensemble de la Bretagne (Arzel, 1988). L'outil de récolte utilisé en Bretagne est le scoubidou ; cet engin relativement sélectif n'arrache que les plants d'une taille supérieure à 70-80 cm. Leur enlèvement améliore l'éclairement des jeunes plants. Comme l'enlèvement de la population adulte de *L. digitata* ne modifie pas le fonctionnement du recrutement (Arzel et Castric-Fey, 1997), les champs exploités ont finalement une rotation plus rapide que ceux laissés en conditions naturelles, où les arrachages massifs ne se produisent qu'en cas de grosses tempêtes. Cependant, un décalage dans les périodes d'émission des spores et le caractère pionnier des *Saccorhiza polyschides* permet à cette espèce de recoloniser préférentiellement les zones éclaircies par l'exploitation de *L. digitata*. Il y a donc un risque de remplacement de l'espèce exploitée par une espèce annuelle.

La pression de pêche, qui prélève 25 à 30 % de la biomasse en place, reste compatible avec l'évolution naturelle du champ, qui subit des réductions annuelles de biomasses allant jusqu'à 70 % en hiver. La pérennité des champs de laminaires ne semble donc pas menacée à ce niveau d'exploitation (Arzel et Castric-Fey, 1997). Les grandes algues restent cependant une ressource limitée, dont les populations sont fluctuantes dans le temps et la tendance actuelle est à la régression. En effet, *L. digitata* a quasiment disparu des côtes du Calvados bien que l'espèce n'y soit pas exploitée ; elle a été remplacée par *Sargassum muticum*. Sur Quiberon, les champs de laminaires sont actuellement envahis par *Saccorhiza polyschides* et l'augmentation de la température de l'eau pourrait avoir une responsabilité dans ce phénomène (Le Duff et Hily, 1999a, b). En baie de Concarneau par contre, la cause de la réduction constatée des champs d'algues semble être un broutage intensif par les oursins (Castric-Fey et Beuzen, 1987), phénomène couramment décrit dans de nombreuses parties du monde (Pinnegar *et al.*, 2000).

La valeur d'un champ d'algues ne se limite pas aux laminaires elles-mêmes : il forme un milieu complexe et stratifié, abritant une flore et une faune riches et diversifiées. Par leur taille, leur structure et leur longévité, les laminaires constituent un substrat ou un habitat original pour un grand nombre d'espèces épiphytes, végétales ou animales. Elles modifient le

milieu par la multiplication des surfaces de fixation qu'elles offrent, tandis que leurs crampons fournissent une multitude de microhabitats à la faune. Mais cette complexité ne se limite pas aux laminaires elles-mêmes : elle est également due à la coexistence de plusieurs strates algales (d'arborescente à encroûtante). C'est un milieu très hétérogène, riche en anfractuosités. L'ombrage des frondes permet la remontée d'espèces sciaphiles, qui s'ajoutent à l'exceptionnelle diversité recensée pour cet habitat : plus de cent espèces d'algues et quatre cents d'invertébrés (Le Duff et Hily, 1999a, b). L'influence de ces algues sur l'environnement vient également du dépôt de déchets organiques qu'elles induisent et de la capacité de leurs frondes à amortir le choc des vagues, avec un impact sur l'hydrodynamisme local (Bioret *et al.*, 2003).

À plus grande échelle, cet écosystème abrite une faune mobile originale : certaines espèces sont permanentes (ormeaux, tacauds, étrilles, labridés, congres…), d'autres y sont rencontrées au cours de leurs migrations (araignées) ou de leur cycle (tourteaux, lieus, bars…) avec une dépendance à cet habitat encore mal connue. Les relations habitat-peuplement peuvent être indirectes, le champ de laminaires fournissant par exemple des matériaux de construction des nids pour les espèces nidificatrices (labridés) ou encore une abondance de proies aux poissons prédateurs (Le Duff et Hily, 1999a, b).

Cette abondance de proies dans des zones peu profondes (moins de 25 mètres en Iroise) en fait un terrain de chasse très fréquenté par les grands prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire, représentés dans cette zone par le phoque gris (*Halichoerus grypus*) et la loutre européenne (*Lutra lutra*). De nombreux îlots et rochers de l'archipel de Molène servent également de reposoirs ou de sites de reproduction aux phoques gris fréquentant l'archipel (Vincent, 2001).

Ces immenses champs d'algues sont donc indispensables au maintien de la diversité et de la biomasse de la mer d'Iroise. En effet, bien que ces grandes algues ne soient que peu consommées par les poissons dans nos régions tempérées, elles entrent dans la chaîne alimentaire après leur mort, lorsqu'elles se détachent de leur support de fixation, puis sont fragmentées en débris eux-mêmes dispersés par les courants ou déposés sur l'estran dans les laisses de mer. Décomposés par les détritivores et les micro-organismes, les débris algaux sont alors transférés à l'ensemble de l'écosystème littoral environnant sous forme de particules fines qui peuvent servir de nourriture aux déposivores et aux suspensivores.

Les habitats rocheux littoraux sur lesquels elles se développent ont une importance fondamentale dans le fonctionnement global de l'écosystème côtier.

Habitat des graviers biogènes : les bancs de maërl (figures S-2 et S-3)

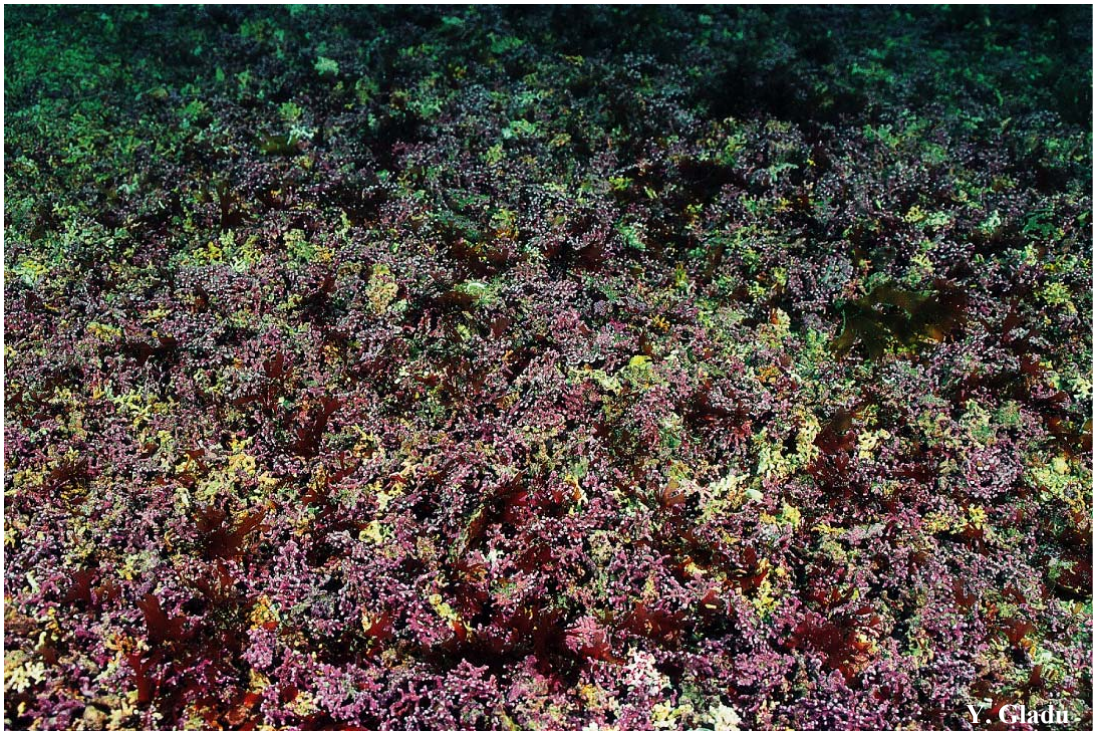


Figure S-2 : Maërl du banc des Pourceaux, dans l'archipel de Molène. Photo Yves Gladu.

Figure S-3 : Maërl de la rade de Brest, d'une richesse exceptionnelle en macrofaune comptant de nombreux suspensivores. Photo Yves Gladu.

Le maërl occupe une place particulière parmi l'habitat de graviers biogènes. Son originalité tient pour une grande part au fait que cet habitat est constitué par une ou deux espèces végétales (*Phymatolithon calcareum* et *Lithothamnion corallioides*) qui structurent l'environnement et créent, par leur seule présence, une structure tridimensionnelle complexe inédite. Ce milieu, très cavitaire, abrite une diversité remarquable d'espèces animales et végétales, grâce notamment à la circulation d'eau entre les brins de maërl, toujours importante dans les mers à marées (Grall, 2002). Les bancs de maërl se présentent souvent en mélange avec d'autres types de sédiments et les mélanges qui en résultent peuvent se présenter sous des formes très variées. Ces formations de maërl hébergent alors des biocénoses animales différentes, mais toujours très diversifiées : les travaux exposés dans Grall (2002) recensaient plus de cinq cents espèces de macrofaune et mégafaune dans les bancs de maërl de Bretagne.

Les thalles de maërl servent eux-mêmes de support à des macrophytes épiphytes, constituées essentiellement de petites algues rouges. Celles-ci sont utilisées comme nourriture par des gastéropodes herbivores et par de nombreux amphipodes, qui broutent ainsi de véritables "gazons algaux" et utilisent les anfractuosités du maërl comme refuge. Par leur activité biologique, ces espèces laissent dans le milieu cavitaire un abondant matériel détritique, qui sert lui-même d'alimentation pour les détritivores (petits crustacés et polychètes). La surface hétérogène du maërl sert aussi de support aux espèces animales sessiles, essentiellement suspensivores : éponges, bivalves, ascidies. Ce groupe trophique, auquel conviennent particulièrement les eaux chargées de particules en suspension, assure un lien très actif entre le pelagos et le benthos en transformant le matériel en suspension en pelotes fécales et pseudofécès, disponibles pour les déposivores vivant à différentes profondeurs au sein de la couche de maërl.

Cette structure architecturale originale fournit également d'excellents abris pour des prédateurs vagiles comme les crustacés, les poissons et les jeunes oursins brouteurs de maërl.

Le maërl est exploité en Bretagne pour son caractère calcaire et sa richesse en oligo-éléments : il est utilisé comme amendement, pour les aliments du bétail et pour divers usages pharmaceutiques. L'engin de prélèvement utilisé actuellement est une suceuse ou benne aspiratrice, qui prélève l'ensemble des sédiments du banc (maërl et sédiments fins en mélange) gorgé d'eau : ce mélange est tamisé et rincé à bord. L'eau rejetée à la mer, sur place, est donc chargée en particules de sables fins ou grossiers coquilliers, qui recouvrent le maërl et contribuent à l'asphyxie par enfouissement de la couche de surface vivante. L'exploitation provoque donc la disparition totale de l'habitat directement et indirectement. Or, compte tenu

de sa très faible vitesse de croissance (Potin *et al.*, 1990) et de son faible pouvoir reproducteur (Cabioc'h, 1970), le maërl peut être considéré comme une ressource non renouvelable. Il est donc particulièrement menacé par les différentes pressions anthropiques subies (Pinot, 1997).

L'exploitation non concertée et inorganisée du maërl aboutit également à la destruction de la ressource biologique et des assemblages floristique et faunistique qui lui sont associés, profondément altérés sur une zone bien supérieure à celle de la zone d'extraction elle-même (Grall et Glémarec, 1997 ; Grall, 2002). Elle détruit aussi le potentiel halieutique que cet habitat représente, par son rôle de nurserie d'espèces halieutiques recherchées : oursins, ormeaux, coquilles S^{t}-Jacques, praires, *etc*... (Bensettiti *et al.*, à paraître).

Les habitats hétérogènes (cailloutis et sédiments hétérogènes et graviers au sens large)

Ces habitats sont particulièrement riches en bivalves de grande taille. Des espèces d'intérêt halieutique, telles que la coquille Saint-Jacques *Pecten maximus* et le pétoncle blanc *Aequipecten opercularis*, ont pour ces habitats un coefficient de présence assez élevé, même si les densités atteintes ne sont pas forcément grandes.

Les crabes exploités (*Maja squinado* et *Cancer pagurus*) ont également une présence régulière dans ce type d'habitat. Ils seraient donc susceptibles d'être particulièrement ciblés pour les pêches aux bivalves et aux crustacés, d'autant plus qu'ils représentent la grande majorité de la surface sédimentaire de la zone.

Parmi les faciès communs différenciés dans les trois habitats hétérogènes de l'Iroise, celui de transition vers les sables grossiers est tout à fait particulier. Il correspond à des dunes de sables moyens ou grossiers, très bien triés, dont l'existence tient aux conditions hydrodynamiques locales. Ces sables dunaires sont souvent instables et peu d'espèces peuvent s'adapter à des conditions de vie aussi aléatoires et changeantes ; c'est pourquoi ils sont très peu peuplés, voire azoïques (Chassé et Glémarec, 1976b). Une partie des dunes de sables grossiers se sont révélées être un habitat privilégié pour les lançons (*Hyperoplus lanceolatus*). Ces petits poissons, qui chassent à l'affût en dissimulant leur corps dans le sable (Quiniou, comm. pers.), ont une importance économique énorme car ils constituent une base trophique essentielle pour des poissons à haute valeur commerciale comme le turbot, le bar, la morue,

ainsi que pour de nombreux oiseaux marins. Ils sont pêchés industriellement en Europe mais n'ont en France qu'un faible intérêt économique. Les sables grossiers à lançons ont donc une valeur écologique et économique indirecte.

Habitat des sables au sens large : les herbiers de zostères (figure S-4)

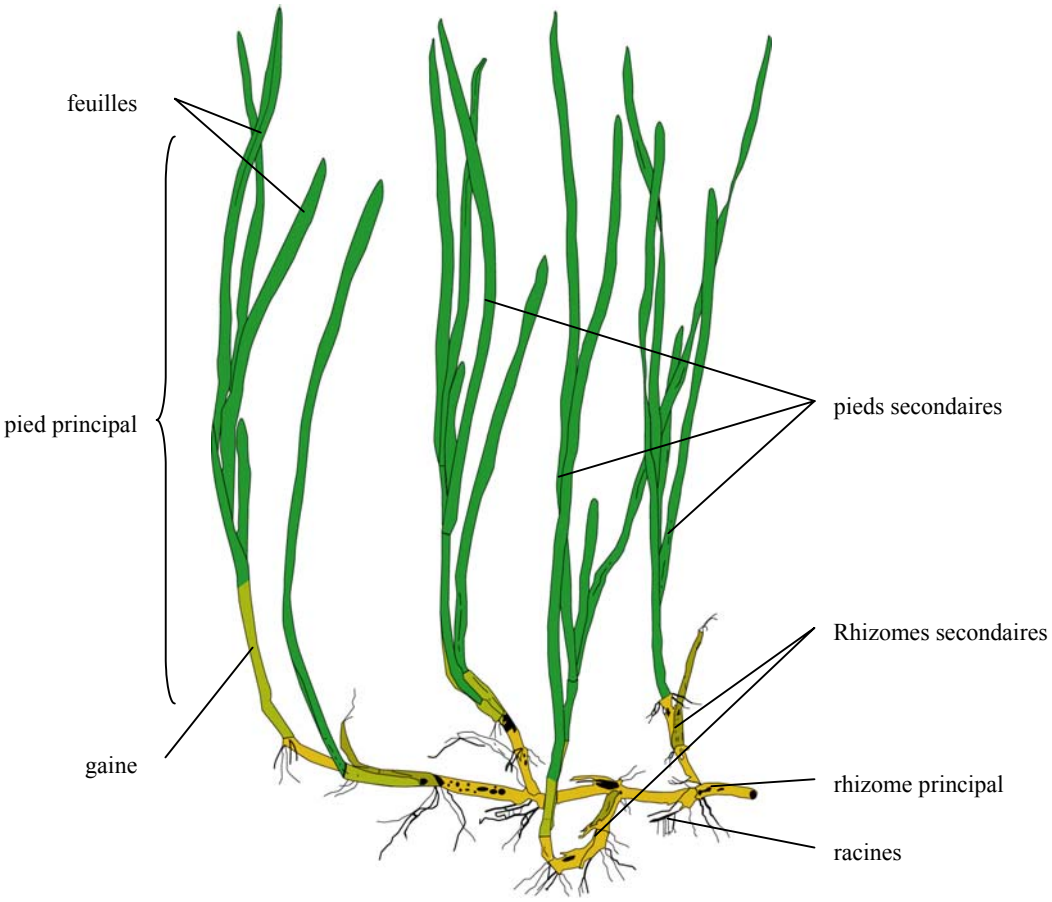


Figure S-5 : Représentation schématique d'un groupe de zostères *Zostera marina*. De véritables racines poussent à partir des rhizomes enfouis dans le sédiment ; à partir de ceux-ci s'individualisent des pieds formés d'une gaine enserrant un faisceau de feuilles vertes (le plus souvent 3 à 6 feuilles). Modifié d'après Olesen et Sand-Jensen (1994).

Figure S-4 : Structure tridimensionnelle d'un herbier de zostères à marée haute. Photo Erwan Amice.

Les herbiers formés par la grande zostère (*Zostera marina*) représentent un habitat très particulier dans la bande côtière. Tout comme le maërl, elles structurent l'espace en créant, par leur seule présence, un habitat complexe à trois dimensions à partir d'un sol sableux uniforme. Dans leur cas, la dimension verticale est d'ailleurs particulièrement bien développée et comporte plusieurs microhabitats, eux-mêmes complexes : l'enchevêtrement des rhizomes et racines (Webster *et al.*, 1998), l'interface eau - sédiment et le volume d'eau compris entre cet interface et l'extrémité des plus hautes feuilles qui se redressent lorsqu'elles sont immergées (figure S-5). Ce dernier microhabitat présente d'ailleurs une hauteur variable selon l'inclinaison des feuilles, qui dépend de la hauteur d'eau en zone intertidale et des conditions locales de courant.

Les herbiers de zostères sont présents sous forme de petites taches dans la zone d'étude, reliques des vastes surfaces couvertes le long des côtes de Bretagne avant les années 1930 (Glémarec *et al.*, 1997). La plupart de ces herbiers ont en effet été massivement détruits dans tout l'Atlantique Nord par un phénomène appelé *wasting disease* (Giesen, 1990). Cet événement semble être dû à la conjonction de variations climatiques à méga-échelle spatio-temporelle et de perturbations locales de l'environnement et non au développement d'un microorganisme pathogène sur les zostères (d'où le terme de *wasting disease*) comme on l'avait d'abord cru ; cette infestation est aujourd'hui reconnue comme étant une conséquence

d'un stress plutôt que sa cause (Short *et al.*, 1988). La présence de ce micro-organisme dans les herbiers de Bretagne n'occasionne actuellement pas de déclin des zostères (Hily *et al.*, 2002) et certains herbiers se trouvent même dans d'excellentes conditions de développement, comme le prouvent les plants de plus de 1,80 mètres observés dans l'archipel de Molène, ce qui constitue une longueur record pour l'espèce (Hily, comm. pers.).

Les zostères jouent de multiples rôles dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers dont ils sont la base. Le réseau dense des rhizomes et des racines aide par exemple à stabiliser le sédiment (Christiansen *et al.*, 1981), tandis que la couverture de feuilles est un frein à l'hydrodynamisme, ce qui favorise le piégeage des particules fines (Fonseca *et al.*, 1982, 1983). Les herbiers jouent aussi un rôle très original pour de nombreuses espèces d'algues et d'invertébrés qui n'occupent normalement pas les substrats meubles : les plantes sont utilisées comme des substrats durs, sur lesquels il est possible de se fixer. Les faunes de substrat dur et de substrat meuble se superposent finalement dans le même habitat, ce qui explique la grande biodiversité du peuplement des herbiers de zostères (Hily et Bouteille, 1999). La diversité de ces épiphytes, animales ou végétales, fournit une nourriture abondante et un refuge aux juvéniles de nombreux poissons, crustacés et mollusques dont les adultes viennent se reproduire et pondre dans les herbiers littoraux (Irlandi *et al.*, 1995 ; Gotceitas *et al.*, 1997). De nombreuses espèces vagiles, crustacés et poissons notamment, utilisent également l'herbier comme lieu de nourrissage, où ils peuvent se déplacer facilement et trouvent leur nourriture sans pour autant quitter le refuge assuré par la densité des feuilles.

Les herbiers sont ainsi largement occupés par des résidents temporaires, parmi lesquels de nombreuses espèces d'intérêt halieutique, qui se succèdent au cours des saisons (rougets, plies, crevettes roses, araignées de mer, seiches). Ils sont enfin un terrain de chasse privilégié pour des poissons prédateurs comme le bar et une source de nourriture qui peut être primordiale pour les oiseaux migrateurs herbivores (Anatidés) dans certaines zones de Bretagne (Den Hartog et Hily, 1997).

Les feuilles de zostères croissent et se renouvellent en l'espace de quelques semaines, les herbiers sont donc des zones de haute production primaire, même en hiver (Hily *et al.*, 2002). Dans des conditions oligotrophiques, ils montrent une grande efficacité pour l'utilisation des nutriments disponibles, ce qui explique aussi leur vulnérabilité aux perturbations liées à un enrichissement des eaux. Ils contribuent à l'oxygénation de l'eau, rôle qui prend toute son importance dans les zones très abritées. Ce renouvellement perpétuel du milieu est une caractéristique intéressante des herbiers : certaines espèces présentes dans les

herbiers ont un cycle de vie plus long que celui de leur habitat, ce qui favorise encore la diversité en évitant la monopolisation de l'espace par quelques espèces à long cycle.

Les herbiers sont donc des milieux où la diversité faunistique et floristique est particulièrement élevée. Autour de cette structure de base, des communautés diverses s'organisent en fonction des combinaisons multiples des facteurs environnementaux, parmi lesquels la lumière, l'hydrodynamisme, la charge en nutriments, la température et le substrat sont déterminants. La richesse spécifique maximale est atteinte dans les herbiers subtidaux non perturbés, qui comportent notamment de nombreuses espèces d'algues et d'animaux très spécifiques (Den Hartog, 1983).

Ils sont cependant très vulnérables au stress et aux perturbations, naturelles et anthropiques, comme une diminution de l'insolation en période de croissance, une augmentation de la température moyenne de la mer ou encore une dégradation de la qualité de l'eau, par l'eutrophisation des eaux côtières ou augmentation des matières organiques (Short et Wyllie-Echeverria, 1996). Les aménagements portuaires ou l'extraction de sédiments à proximité peuvent également être très dommageables, car ils sont sensibles à l'augmentation de la turbidité et à l'étouffement provoqué par un ensablement. Les activités humaines telles que la pêche à pied à l'aide d'engins destructeurs, à la drague ou même les ancres de mouillages provoquent également des dommages irréversibles par labourage, arrachage et écrasement au niveau des feuilles comme des mattes de rhizomes.

Les zostères de nos côtes jouent un rôle similaire -bien que d'un ordre de grandeur inférieur- à celui des posidonies (*Posidonia oceanica*) en mer Méditerranée. Cette autre espèce de phanérogame marine forme en effet des herbiers de structure tout à fait similaire, jouant des rôles équivalents de refuge, de nurserie et de nourriceries dans les écosystèmes benthiques côtiers méditerranéens (Harmelin-Vivien et Francour, 1992 ; Ramos Espla *et al.*, 1997).

Le rôle écologique des herbiers de zostères présente donc des aspects très divers et explique l'intérêt tout particulier qui leur est porté, dans le cadre de la gestion et de la protection de l'environnement côtier. En effet, les peuplements de Posidonies ainsi que toutes les autres phanérogames marines sont protégées par la loi dans le cadre de la Convention de Berne.

Les habitats envasés

L'habitat des sables fins envasés est original en raison de sa relative rareté en mer d'Iroise. En effet, il est spatialement limité à deux zones abritées, en baie de Douarnenez où se situent les plus grandes surfaces et dans le sud de l'anse de Camaret. Des espèces halieutiques ont été pêchées avec une très grande régularité dans ces zones, comme les coquilles S^{t}-Jacques, les pétoncles blancs et les tourteaux.

L'autre zone remarquable est celle du sud des Pierres Noires, située plus profondément au milieu de sables fins fossiles : cette zone correspond à des conditions de courants faibles par rapport aux eaux brassées environnantes. La profondeur (plus de cinquante mètres) permet également aux particules fines de sédimenter et de s'accumuler sans remise en suspension. Une partie de cette zone est sous l'influence du front d'Ouessant : nos travaux ont montré que le sédiment dans l'ouest de la zone des Pierres Noires, est enrichi en matière organique, ce qui induit une structure différente de la macrofaune benthique, plus dense que dans la zone est adjacente. Cette zone riche en proies joue certainement le rôle de nourricerie pour les prédateurs benthiques des milieux environnants (poissons et crustacés). Elle pourrait même jouer un rôle essentiel dans la migration de grandes espèces passant par la mer d'Iroise, induisant le développement de chaînes alimentaires benthiques et pélagiques à partir du phytoplancton produit dans la zone proche de la surface. La zone pélagique du front était déjà connue pour être fréquentée par le requin pèlerin (*Cetorhinus maximus*) se nourrissant de grandes quantités de plancton. Elle fournit également l'essentiel de la nourriture des oiseaux marins, qui chassent dans cette zone riche en poissons grâce à la chaîne trophique pélagique développée.

L'habitat des sédiments hétérogènes envasés n'a pas été suffisamment échantillonné au cours de cette étude pour permettre une analyse de même valeur que celle des autres habitats. Cependant, cet habitat s'est démarqué des autres par son peuplement montrant une forte densité et une richesse spécifique importante. Il est assez peu représenté en Iroise, avec quelques petites surfaces dans l'anse de Camaret et surtout au centre de la baie de Douarnenez. Les mêmes espèces halieutiques que dans les sables fins envasés semblent y être représentées. Le rôle de nourricerie que jouent les sédiments hétérogènes envasés de la baie de Douarnenez a par ailleurs déjà été démontré (Déniel, 1981 ; Quiniou, 1986).

3- PRESSIONS ACTUELLES OU POTENTIELLES

La plupart des habitats et peuplements du milieu marin de la mer d'Iroise sont actuellement soumis à diverses pressions, le plus souvent d'origine anthropique, tandis que d'autres peuvent être menacés dans le futur à cause de leur sensibilité aux facteurs environnementaux. Certains des principaux impacts ont des causes naturelles (réchauffement des eaux dues au global change), mais la plupart sont des conséquences des activités humaines sur le littoral et dans les bassins versants. En effet, le milieu marin côtier et le milieu terrestre sont étroitement liés par les apports des rivières. Pour la mer d'Iroise, ce sont principalement l'Aulne et l'Elorn qui se déversent dans la rade de Brest, elle-même en communication permanente avec la mer d'Iroise au niveau du goulet de Brest et grâce aux marées qui assure un renouvellement des eaux très rapides (temps de résidence moyen des eaux en rade de Brest de l'ordre de 25 jours (S.A.U.M., 1980). La pollution des bassins versants ou un surplus de matière organique dans les rivières se répercute donc sur les peuplements côtiers de la mer d'Iroise. Les aménagements côtiers peuvent également détériorer les habitats et perturber gravement les peuplements marins, en modifiant les caractéristiques de la courantologie locale ou la géomorphologie des fonds. Une autre des causes de perturbation fréquemment citée est la pêche aux engins traînants. Enfin, les conséquences d'un fort développement du tourisme dans la zone concerneraient tous les écosystèmes, cette pression étant d'ailleurs déjà actuelle pour certains d'entre eux, surtout en zones terrestres et très côtières.

Impacts de la pollution des rivières ou des rejets en mer

La pollution des eaux côtières peut avoir plusieurs causes qui se cumulent le plus souvent. Les apports terrigènes induisent un enrichissement en sédiments fins, augmentant la turbidité des eaux. Les apports en matière organique et en nitrates (les bassins versants sont fortement marqués par les activités agricoles) entraînent une eutrophisation de la zone côtière, avec des blooms d'algues toxiques (*Gymnodinium spp*.) ou des proliférations d'algues vertes

opportunistes (ulves, entéromorphes). Les émissaires urbains rejetés en mer provoquent des phénomènes d'anoxie dus au développement d'une forte biomasse bactérienne, dont la croissance est favorisée par la surcharge en matière organique. Sur des substrats rocheux, les rejets urbains modifient la diversité et la nature même des groupes d'espèces, favorisant les algues filamenteuses plutôt que des encroûtantes et influençant la couverture végétale totale dans la zone impactée (Terlizzi *et al.*, 2002). Des métaux lourds sont rejetés en mer, ainsi que d'autres produits très toxiques, comme le TBT, utilisé dans les peintures *antifouling* des navires et interdit en 1982 pour les navires de moins de 25 mètres, les plus communs dans la zone. Ces produits peuvent avoir une à forte résilience dans l'écosystème, puisque certains sont accumulés depuis les producteurs primaires jusqu'aux consommateurs au sommet des réseaux trophiques. D'autres ne se concentrent pas dans les organismes et ont pourtant des effets irréversibles, en provoquant des perturbations dans les phénomènes de reproduction (stérilités, changements de sexe pour certains gastéropodes avec le TBT). Dans notre zone, la pollution au TBT se fait sentir jusque dans l'archipel de Molène, pourtant très exposé aux courants marins ; les symptômes de la pollution (surimposition des caractères sexuels mâles sur des femelles de *Nucella lapillus*) sont plus présents dans les ports (Huet *et al.*, 1996).

En Iroise, les habitats des zones côtières sont les plus touchés à cause de leur proximité avec les émissaires urbains et les apports d'eaux douces. L'eutrophisation facilite le développement des algues opportunistes au détriment d'espèces à développement plus lent. Le maërl peut ainsi être envahi par les macrophytes épiphytes : cette matte d'algues, lorsqu'elle meurt et se décompose, induit un accroissement de matière organique piégée sur place, avec des phénomènes d'hypoxie voire d'anoxie, un envasement et une stratification du sédiment. La structure du peuplement est affectée, ainsi que la production et le recrutement de la macrofaune, la prolifération des espèces opportunistes (animales) est favorisée (Grall, 2002). Les herbiers de zostères peuvent également être envahis par des algues opportunistes, ce qui provoque leur disparition par étouffement et recouvrement des plantes, comme à *Langstone Harbour* (Hampshire, U.K.) où dix hectares d'herbier de zostères ont totalement disparu en moins de cinq ans, suite à son recouvrement par l'espèce opportuniste *Enteromorpha radiata* (Den Hartog, 1994).

Conséquences des aménagements littoraux

Les aménagements littoraux sont très souvent cités comme exemples d'interventions humaines aux conséquences directes et indirectes irréversibles pour les écosystèmes. La première conséquence est souvent la destruction pure et simple des habitats côtiers, afin de dégager l'espace nécessaire à la construction envisagée : jetée, port, cale, remblais, *etc*... Des habitats sensibles comme des marais littoraux, des herbiers de zostères, des dunes et arrière-dunes, des plages ou des cordons littoraux peuvent disparaître. Ces pertes d'habitats provoquent la disparition, au moins locale, des espèces qui leur étaient étroitement liées. Ces pertes sont d'autant plus importantes qu'elles concernent des habitats dont le rôle écologique est reconnu, comme refuge, nurserie, nourricerie ou encore lieu de reproduction.

Mais ces aménagements littoraux peuvent également provoquer des changements dont le plus courant consiste en la modification de la dynamique sédimentaire locale. Il se produit alors une érosion des côtes par endroits et un engraissement sédimentaire à d'autres. Ces conséquences touchent des sites de tous types, selon la courantologie et la géomorphologie locales, provoquant la disparition de plages, l'envasement de ports ou l'ensablement d'autres habitats sensibles à la disponibilité en lumière (zostères, maërl). Le recouvrement des herbiers de phanérogames provoque une mortalité massive et très rapide des plantes (sept à dix mois), l'habitat et son peuplement sont donc entièrement détruits (Manzanera *et al.*, 1998). C'est pourquoi tous les projets d'aménagements côtiers doivent débuter par une sérieuse étude d'impact, surtout si le site envisagé est proche d'un habitat sensible.

Impacts de la pêche aux engins traînants

La pêche aux engins traînants (dragues, chaluts de fond) est, après la destruction d'habitats, la cause de perturbations anthropiques la plus couramment abordée dans la littérature concernant les problèmes de conservation d'habitats ou de peuplements marins. En effet, les zones de bonnes pêches coïncident généralement avec les zones de rassemblement des espèces-cibles, lors d'évènements-clés des cycles biologiques que sont la reproduction, la ponte et les zones de développement des jeunes (nurseries). Lorsque les espèces-cibles sont des prédateurs (poissons), les zones à fortes densités peuvent correspondre à des lieux où se trouve une abondance de proies, donc des zones riches et productives. Une synthèse très

complète des impacts des chalutages et des dragages sur la biodiversité marine a récemment été réalisée par Thrush et Dayton (2002). Celle-ci met en évidence les multiples impacts de ces engins traînants sur les sédiments meubles, tant au niveau des habitats que des peuplements de macrofaune. Un premier effet, qui n'est d'ailleurs pas spécifique aux engins traînants, résulte du prélèvement des espèces cibles : la plupart du temps, ils occupent dans les réseaux trophiques la fonction de prédateurs et sont donc retirés de l'écosystème, ce qui induit des modifications profondes des réseaux trophiques par effet cascade (Steneck, 1998 ; Pinnegar *et al.*, 2000 ; Juanes, 2001). Les engins n'étant pas sélectifs, un certain nombre d'espèces capturées ne sont pas exploitables et sont rejetées, avec un taux de survie très faible (Lindeboom et De Groot, 1998) et avec des conséquences sur leur abondance, l'âge de maturité sexuelle, la diversité ou d'autres aspects de la structure des communautés (Greenstreet et Rogers, 1999 ; Tasker *et al.*, 1999).

Les engins traînants occasionnent, en plus, des destructions directes des habitats et des communautés benthiques sur une profondeur de l'ordre d'une dizaine de centimètres pour une drague, tandis que les panneaux de chalut peuvent creuser des sillons de vingt centimètres à deux mètres de large et trente centimètres de profondeur dans les sédiments meubles (Thrush et Dayton, 2002). Or les organismes des sédiments meubles créent une grande part de l'hétérogénéité de leur habitat à micro échelle (tubes, bioturbation) : leur disparition entraîne donc l'homogénéisation des fonds meubles et la diminution de diversité des faunes associées. La granulométrie, le régime de remise en suspension des particules fines et les flux géochimiques peuvent également être modifiés.

Les pertes dans un écosystème se produisent lorsque les restrictions de tailles, de densités ou de distributions occasionnées par la pêche menacent la biodiversité (structurelle ou fonctionnelle), la résilience ou l'accomplissement des services environnementaux, comme la stabilité du sédiment, la turbidité des eaux, le recyclage de nutriments et du carbone, l'absorption de polluants, *etc*... En effet, les organismes de la macrofaune remplissent des rôles cruciaux dans de nombreux processus au niveau des communautés et des écosystèmes (Snelgrove, 1998). Les changements observés dans les structures des communautés sont principalement la perte d'espèces structurantes, la diminution des prédateurs, des espèces à long cycle de vie et de l'épifaune, menant à la domination des communautés par les stades juvéniles, les espèces mobiles et les espèces opportunistes. Ces impacts semblent cependant minimes dans les sédiments instables comme les sables dunaires, où la faune est déjà adaptée à ces conditions d'instabilité extrême (Thrush et Dayton, 2002).

En mer d'Iroise, les impacts des engins traînants sont principalement ceux des dragages dans les sédiments meubles de la baie de Douarnenez et au large de la zone. Les habitats concernés sont donc principalement les sédiments envasés, sables fins et sédiments hétérogènes de la baie ; or ceux-ci jouent le rôle de zones de nourricerie pour les poissons adultes et les juvéniles. La macrofaune des Pierres Noires est, quant à elle, impliquée dans un réseau trophique benthique qui semble essentiel dans le fonctionnement global de l'Iroise. Les herbiers de zostères ne semblent être ni chalutés ni dragués dans la zone, ils sont trop peu profonds dans la plupart des cas. Ces activités de pêche sont très destructrices pour les herbiers de phanérogames et leur peuplement (Sanchez-Jerez et Ramos Espla, 1996). En Méditerranée, des récifs artificiels "anti-chalutage" ont dû être posés pour empêcher le saccage de ces habitats dans plusieurs aires marines protégées, dont celles de Tabarca (Francour *et al.*, 2001).

Un impact de la pêche sur la population de phoques gris de l'archipel de Molène est également à signaler : des captures accidentelles dans les filets à grandes mailles peuvent se produire en particulier pour les jeunes. Cependant peu d'informations sont disponibles mis à part quelques témoignages de pêcheurs exploitant des zones très côtières (Boncoeur *et al.*, 2000). Cet impact de la pêche sur les populations animales existe aussi lorsque les zones exploitées par les pêcheurs recouvrent les sites de stationnement ou de nourrissage des oiseaux ; ceux-ci risquent alors d'être capturés et noyés dans les filets. Cependant il n'existe actuellement aucune évaluation quantitative de l'ampleur du phénomène.

La gestion des écosystèmes marins dans un but de conservation mais aussi d'utilisation durable des ressources ne peut s'envisager sans la prise en compte des activités de pêche déjà existantes (Badalamenti *et al.*, 2000), dont l'importance sociale et économique est incontestable. Celles-ci ne semblent cependant pas trop intenses sur les peuplements que nous avons étudiés, la nature d'une grande partie des fonds (roches, gros blocs, cailloutis) les rendant inexploitables par les engins traînants.

Développement du tourisme et des activités de loisir

En Iroise, une part importante des activités de loisirs pratiquées en rapport avec le milieu marin sont le fait du tourisme. La plaisance, la pêche à pied, la plongée sous-marine et les activités de bord de mer (baignade, char à voile, etc…) sont beaucoup plus développées pendant la période estivale. Les impacts réels et potentiels des activités humaines sur les peuplements et les habitats doivent absolument être pris en compte dans le cadre d'un projet de gestion d'une zone protégée car le tourisme a tendance à augmenter après sa classification en aire marine protégée (Badalamenti *et al.*, 2000 ; Francour *et al.*, 2001). Ce phénomène peut cependant être positif, comme une réponse aux politiques d'information et d'éducation souvent mises en place pour le public (Harmelin, 2000). Cependant, certaines de ces activités peuvent avoir des impacts sur les habitats et peuplements durant toute l'année étant donné leur popularité locale : c'est notamment le cas pour la pêche à pied et la plongée.

Pêche à pied

La pêche à pied concerne toutes les zones d'estrans. Les grandes plages de sable sont recherchées pour la pêche aux coquillages (palourdes, coques, tellines…) tandis que les champs de blocs abritent des crabes, des ormeaux ou encore des huîtres. Cette activité est pratiquée toute l'année par les riverains et les vacanciers qui se joignent aux locaux l'été. La tendance est à une nette accentuation de la pression de pêche plutôt qu'à une augmentation de la population de pêcheurs à pied, difficile à estimer de manière fiable. En effet, les pêcheurs se concentrent les jours des plus grandes marées. Le recours à des stratégies de pêche plus productives mais aussi plus destructrices devient courant (utilisation de barres à mines et de "ravageurs", blocs retournés laissés en place, *etc*...). De plus, la généralisation du port de combinaison en néoprène a facilité l'élargissement des sites et du temps de pêche. Les prélèvements réalisés au cours de ces pêches à pied concernent seulement les zones intertidales, accessibles à marée basse. Cependant, des habitats riches mais sensibles comme les herbiers de zostères peuvent être gravement endommagés par les pratiques de ratissage ou le bêchage, portant atteinte à la matte de rhizomes et favorisant l'apparition de clairières de sédiments au sein d'un herbier. Celui-ci aura alors tendance à se développer vers des zones non pêchées, tandis que la répétition des pêches agressives pourra provoquer la disparition totale de l'herbier dans la zone impactée : l'herbier de Roscanvel, en rade de Brest, a ainsi été coupé en deux parties séparées par une zone de sédiment nu en moins d'une année (obs. pers.).

Plongée

La plongée sous-marine peut être pratiquée dans le cadre de clubs ou à titre individuel, il est alors plus difficile de savoir quels sont les sites les plus fréquentés. L'impact des plongeurs a été démontré sur les structures marines sessiles dressées (Badalamenti *et al.*, 2000 ; Garcia Charton *et al.*, 2000) mais il est également important dans les zones végétalisées comme les herbiers de zostères et même les forêts de laminaires (Schaeffer *et al.*, 1999). En effet, les plongeurs ont tendance à toucher les animaux et à s'accrocher aux pieds de laminaires lorsque le courant est fort (obs. pers.), si bien qu'ils finissent souvent par s'arracher. Le palmage provoque également la destruction de structures dressées ainsi que l'arrachage d'algues et peut balayer certains organismes ou remettre en suspension suffisamment de sédiments pour en ensevelir d'autres. Enfin, les contacts fréquents avec le sol multiplient les occasions de piétinement et d'écrasement des organismes fragiles. Cependant, ce type d'usagers est souvent très réceptif aux actions éducatives proposées et les plongeurs expérimentés n'occasionnent généralement plus d'impacts conséquents dès lors qu'ils ont pris conscience de ce problème (Harmelin, 2000 ; Mojetta *et al.*, 2001).

Ce type d'impact potentiel apparaît cependant comme négligeable étant donné le rapport surface/nombre de plongées et sites fréquentés.

Plaisance

La plaisance occasionne des impacts négatifs sur les habitats marins pendant la durée de mouillage des navires. Les effets les plus directs sont la destruction d'habitat causée par les ancres, qui dépend directement de la nature des sédiments dans les zones de mouillages. Nous avons vu que les ports offrant des possibilités d'abris sont très nombreux le long des côtes de la mer d'Iroise (troisième partie, § VI-6-1) ; cela montre l'importance qu'a pris cette activité de loisir, en augmentation depuis ces trente dernières années dans la région. Mais le nombre de places restant insuffisant pour pallier cette demande croissante, des mouillages organisés ou sauvages se sont également développés, ce qui a multiplié le nombre de "zones à risques" et la pression exercée sur celles-ci. Ce risque lié aux mouillages des navires de plaisance semble inévitable lorsque les conditions particulières de développement d'un habitat ou d'une espèce sensible coïncident avec les conditions recherchées pour assurer un bon mouillage : zones abritées des courants et des vents, peu profondes, fond qui assure une bonne prise, *etc*…

Une fois de plus, les herbiers de zostères sont particulièrement concernés, puisqu'un nombre important de zones de mouillages, parfois même organisés comme à Porspoder ou dans l'anse du Petit Dellec, est justement situé sur des herbiers. Les effets négatifs diffèrent

selon les types de mouillage : les ancres arrachent les plants, les chaînes de mouillage les écrasent sur une surface qui varient en fonction de la hauteur d'eau et de la position du bateau, donc de la durée de mouillage. Les chaînes des corps-morts reposant au fond créent également un périmètre tout autour du corps-mort fixe dans lequel les zostères sont plaquées au sol et écrasées. Les clairières ainsi formées offrent des possibilités de développement aux espèces algales opportunistes, qui prennent la place des zostères et forment un nouvel habitat qui n'a pas les mêmes qualités écologiques et patrimoniales. Les impacts des mouillages ont été observés en Méditerranée dans les herbiers de posidonies (Francour *et al.*, 1999), avec une augmentation de la fragmentation des herbiers et une diminution de la densité de pieds. Cette même étude a montré que les zones de posidonies les plus vulnérables aux impacts des mouillages sont celles où la matte de rhizomes est la plus dense, ce qui est sans doute aussi le cas pour les zostères.

La concentration de navires dans une aire de mouillage induit aussi des pollutions comprenant le rejet de macro-déchets et le déversement d'eaux usées dans les zones fréquentées. Ces pollutions sont particulièrement marquées en été : l'ajout de matière organique dans le milieu en période d'ensoleillement facilite les développements d'algues opportunistes (ulves, entéromorphes…). C'est ici une véritable menace pour les zones abritées très côtières, qui risquent la saturation.

Autres activités de loisirs

Parmi les autres activités de loisir déjà pratiquées ou susceptibles de se développer dans la zone, les embarquements proposés pour voir des animaux (en particulier les mammifères marins) peuvent constituer un dérangement de ces espèces, surtout en périodes de reproduction ou d'élevage des petits. De même, les activités proposées sur les plages, comme le char à voile, peuvent perturber la reproduction des oiseaux ou détruire directement les nids et les œufs, tout comme la fréquentation des grèves utilisées comme site de ponte par certains oiseaux (Gravelots, sternes, *etc*...). Même des activités comme la promenade éducative sur les estrans rocheux peut devenir une source de dégradation importante des habitats par piétinement et des peuplements en cas de collecte d'espèces rares par des collectionneurs ou des curieux (Murray *et al.*, 1999). Cet impact tendra d'ailleurs à être d'autant plus important que le site représente une valeur patrimoniale forte en abritant une espèce très rare.

Une synthèse des enjeux d'ordres scientifique, économique, écologique ou patrimonial et des pressions auxquelles les habitats et peuplements de la mer d'Iroise sont actuellement soumis est donnée dans les tableaux S-2 à S-7. Ces pressions sont le plus souvent d'origine anthropique ; certaines sont encore potentielles mais pourraient devenir une menace dans un futur proche à cause de la sensibilité de certains habitats aux facteurs environnementaux (qualités des eaux, prélèvements ou exploitations directes, *etc*…).

Tableau S-2 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès des fonds durs et rocheux subtidaux de l'Iroise. Sources : Bensettiti *et al.* (à paraître), Grall et Glémarec (1997).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
Fonds durs et rocheux subtidaux	**Champs de laminaires**	
	Champs de laminaires : valeur écologique exceptionnelle (diversité faunistique et floristique, nurserie, refuge…	Compétition avec l'espèce opportuniste exotique *Undaria pinnatifida* après son introduction en 1983
	Exploitation industrielle des algues (usage agro-alimentaire)	Pêche au scoubidou d'une ressource limitée et en régression Risque de remplacement des *L. digitata* (vie de 3 à 5 ans) par *Saccorhiza polyschides*, espèce annuelle pionnière
	Zone de prédilection des phoques et loutres	Tourisme : risques de dérangement des animaux
	Tombants rocheux, grottes	
	Nombreuses structures animales et végétales dressées fixées sur les roches et tombants Intérêt paysager des tombants et grottes sous-marines	Impact de la plongée

Tableau S-3 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès de graviers biogènes de l'Iroise. Sources : Bensettiti *et al.* (à paraître) ; Grall (1997).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
Graviers biogènes	Suspensivores très diversifiés dont praires et palourdes roses : intérêt économique potentiel	Habitat peu exploité sauf maërl
	Faciès à *Glycymeris glycymeris*	
	Zone à amandes de mer	Pêche : exploitation des amandes de mer
	Faciès de maërl et maërl envasé	
	Intérêt scientifique et patrimonial : milieu peu représenté, valeur écologique exceptionnelle : présence d'espèces rares et d'espèces à forte valeur commerciale (coquilles S^{t}-Jacques, palourdes, pétoncles, praires, oursins…)	Milieu fragile, sensibilité à l'enrichissement des eaux côtières en apports terrigènes : "compétition" avec les macro-épiphytes Enfouissements sableux (tempête, modification de l'hydrodynamisme suite à des aménagements côtiers, rejets de particules fines dus à l'exploitation par suceuse Colonisation locale potentielle par la crépidule : à surveiller (exemple de la rade de Brest)
	Zones de nurseries d'oursins, ormeaux, coquilles S^{t}-Jacques, praires, *etc*… donc potentialités halieutiques	Activités de pêche aux engins traînants
	Granulats marins à usage agricole	Exploitation industrielle du maërl Ressource limitée à croissance très lente donc en régression

Tableau S-4 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès de cailloutis et sédiments hétérogènes et de graviers au sens large de l'Iroise. Source : Bensettiti *et al.* (à paraître).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
cailloutis et sédiments hétérogènes	Présence de bivalves commerciaux (coquilles St-Jacques, pétoncles, *etc*... : intérêt économique	
	Faciès à *Pisidia longicornis*	
	Faciès inédit : intérêt scientifique	
	Faciès à Amphioxus et faciès de sables dunaires	
	Ressource minérale utilisée pour la construction (peu exploitée dans la zone d'étude) Espèces des sables dunaires : spisules, amandes de mer à potentialités commerciales	Activités d'extraction de sédiments marins Activités de pêche aux engins traînants
"graviers" au sens large	Grande richesse en bivalves à haute valeur commerciale	Activités de pêche aux engins traînants
	Faciès à Amphioxus et faciès de sables dunaires	
	Ressource minérale utilisée pour la construction (peu exploité dans la zone d'étude) Espèces des sables dunaires : spisules, amandes de mer à potentialités commerciales	Activités d'extraction de sédiments marins Activités de pêche aux engins traînants
	Faciès à *Pisidia longicornis*	
	Faciès inédit : intérêt scientifique	

Tableau S-5 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès de sables au sens large de l'Iroise. Source : Bensettiti *et al.* (à paraître).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
"sables" au sens large	**faciès des sables mal triés**	
	Peuplement abondant en bivalves, poissons, crustacés	Dragages et chalutages Pollution et eutrophisation (zones côtières)
	Faciès de sables dunaires et sables grossiers à lançons	
	Ressource minérale utilisée pour la construction Espèces des sables dunaires : spisules, amandes, lançons (appâts) à potentialités commerciales	Activités d'extraction de sédiments marins et de pêche aux engins traînants
	Faciès à *Pisidia longicornis*	
	Faciès inédit : intérêt scientifique	
	Faciès de sables fins à petits bivalves	
	Importance halieutique notable : nourricerie de juvéniles de poissons plats, nurseries de soles (fonds de baie) Nourricerie d'oiseaux	Eutrophisation : prolifération d'algues vertes en zones côtières
	Faciès à zostères *Zostera marina*	
	Valeur écologique exceptionnelle : diversités faunistiques et floristiques Forte production primaire des herbiers Nourricerie d'oiseaux (dont Anatidés migrateurs), de juvéniles de poissons plats, grands prédateurs (bars) Nurserie d'espèces à forte valeur commerciales (seiches, araignées, crevettes, poissons plats) Refuge pour de nombreuses espèces Stabilisation des sédiments : retardement de l'érosion des sédiments fins	Sensibilité à la température des eaux (*global change*), à la turbidité des eaux, aux charges en matière organique, qualités des apports d'eaux douces Enfouissements sableux (tempête ou modification de l'hydrodynamisme suite à des aménagements côtiers) Destruction de l'habitat : dragages, chalutages, pêche à pied destructrice, mouillages sauvages (ancres)

Tableau S-6 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès de sables fins envasés, de sédiments hétérogènes envasés et pour les zones d'estuaires abrités et vaseux de l'Iroise. Source : Bensettiti *et al.* (à paraître).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
sables fins envasés	Richesse en bivalves et amphipodes Nourricerie d'oiseaux et juvéniles de poissons plats	Eutrophisation en zones côtières : prolifération d'algues vertes
	Faciès enrichi par le front d'Ouessant	
	Zone de nourricerie probable pour les poissons et les crustacés prédateurs	Activités de pêche aux engins traînants
	Faciès de vases sableuses	
	Caractères patrimoniaux exceptionnels, présence de taxons rares Zones de nourriceries pour juvéniles de poissons plats et crustacés prédateurs	Activités de pêche et d'aquaculture en cages, semis ostréicoles dans les zones peu profondes : risque d'enrichissement en M.O. Qualités des apports d'eaux douces des bassins versants
sédiments hétérogènes envasés	Peuplement très abondant : zone de nourricerie pour poissons plats (dont juvéniles) et crustacés prédateurs Importance économique	Sensibilité de l'habitat et du peuplement aux activités de pêche : dragages et chalutages Pollution et eutrophisation dues aux apports terrigènes
zones d'estuaires abrités et vaseux, avec dessalure	Forte production primaire de ces zones très peu profondes Aire de nourrissage d'oiseaux (basse mer) et de poissons (pleine mer) donc intérêts économique et écologique Zone de transit eau douce/eau de mer pour des espèces migratrices (saumons, anguilles…) Zones d'aquaculture Présence du phoque veau marin (*Phoca vitulina*)	Destruction d'habitat dû au désenvasement des fonds pour maintenir les chenaux d'accès aux rivières Détérioration de la qualité des eaux estuariennes (surcharge en M.O., émissaires urbains, anoxie, micro-polluants, métaux lourds…) Artificialisation des berges

Tableau S-7 : Enjeux scientifiques, économiques, écologiques et/ou patrimoniaux et principales menaces, naturelles ou d'origine anthropique pour les habitats, peuplements et faciès des estrans rocheux et meubles de l'Iroise. Source : Bensettiti *et al.* (à paraître).

HABITAT	ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES, ÉCOLOGIQUES ET/OU PATRIMONIAUX	MENACES ACTUELLES OU POTENTIELLES, NATURELLES OU ANTHROPIQUES
Estrans rocheux	Intérêt scientifique : interface milieu marin/milieu terrestre Exploitations locales du goémon de rive Rôle des moulières dans le réseau trophique des crabes, poissons, oiseaux Présence d'espèces rares (pouce-pied)	Influence directe des polluants d'origine terrestre : qualité des eaux et apports terrigènes Échouages pétroliers accidentels, nettoyages agressifs de ces pollutions Surexploitation d'une espèce devenue rare
	Champs de blocs	
	Mosaïque de microhabitats, diversité des algues rouges : intérêts scientifique et écologique Juvéniles d'espèces commerciales (étrilles, tourteaux, ormeaux) donc intérêt économique Zones de pêche à pied (champs de blocs)	Prolifération d'algues vertes (eutrophisation) Destruction de l'habitat dû aux méthodes de pêche agressives (retournement des blocs)
Estrans meubles	Milieu original : interface milieu marin/terrestre Recyclage du matériel organique en épave Zone de nourrissage pour les oiseaux (basse mer) et les poissons et crustacés (haute mer) dont juvéniles, nurseries de poissons plats donc intérêt économique Zones de pêche à pied	Zone d'échouage : accumulation de macro-déchets, hydrocarbures Impact du nettoyage mécanique des plages Influence directe des polluants (ruissellement, émissaires…), eutrophisation (marées vertes) Pêche à pied avec "ravageurs" Implantations mytilicoles Exploitation du sable pour amendement Loisirs sportifs (perturbations pour les oiseaux) Aménagements côtiers, facilité d'accès

4- QUELLES PRIORITÉS ET QUELLES SOLUTIONS POUR LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE ?

Dans le cadre de la mise en place d'une aire marine protégée en mer d'Iroise, il est indispensable de prendre en compte à la fois les éléments biologiques et écologiques à protéger et les facteurs socio-économiques propres à la zone en question (Badalamenti *et al.*, 2000, 2002).

Les choix initiaux de zonage sont de première importance lors de la mise en place de toute *MPA*. Le principe d'un plan de gestion comprenant deux ou trois niveaux de protection est un compromis simple et efficace pour assurer à la fois une protection efficace de zones et d'espèces-clés contre les dégradations et les perturbations, une utilisation des ressources biologiques et une prévention contre les risques de conflits d'usages d'autant plus efficace qu'ils auront été pris en compte à l'avance (Francour *et al.*, 2001). Le choix du cadre légal que représente un parc national doit faciliter la gestion simultanée des parties terrestres ou intertidales et des zones marines, ce qui semble tout aussi essentiel à la réussite du projet. Cette législation doit pouvoir être adaptée en fonction de l'évolution de la *MPA* et de l'acquisition de nouvelles connaissances. Il faut aussi prévoir la gestion des activités humaines déjà en place ainsi que celles qui seront amenées à se développer dans le futur.

La zone totale choisie pour constituer le Parc National Marin d'Iroise représente une immense surface marine, de la côte jusqu'au large par des fonds de plus de cent mètres et intégrant donc tous les types d'habitats, de peuplements et de faciès définis et étudiés dans ces travaux. Notre zone comporte ainsi de grands plateaux rocheux supportant une végétation algale très riche, mais une grande partie de la zone est constituée de sédiments meubles, encore très peu étudiés dans le cadre de la gestion des pêcheries ou de la protection de la biodiversité par la mise en place d'une *MPA* (Pinnegar *et al.*, 2000). En effet, une abondante littérature est consacrée aux zones rocheuses, notamment de mer Méditerranée où la majorité des *MPA* concernent des zones de roche souvent situées autour d'îles et îlots (Badalamenti *et al.*, 2000 ; Fraschetti *et al.*, 2002). Elles jouent le rôle de refuges naturels où l'usage d'engins traînants n'est pas envisageable (Caddy, 2000). La situation de la mer d'Iroise est inédite puisque le plateau rocheux principal, celui de Molène, est exploité par les goémoniers pour la

pêche aux laminaires. Un autre aspect inédit dans la situation de la mer d'Iroise est sa situation dans un système macrotidal largement ouvert vers le large et traversé par des courants très forts : c'est donc un milieu dispersif.

Le choix de la taille de la zone doit être réalisé en fonction des besoins des espèces ciblées par la protection (Planes *et al.*, 2000), ce qui est rendu difficile si les objectifs sont larges et visent la conservation de la totalité d'un écosystème. Cependant, les chances de réussite dans la protection des richesses naturelles et l'exploitation durable des ressources biologiques sont meilleures si les zones choisies représentent une forte hétérogénéité spatiale, avec tous les types d'exposition aux courants, une grande variété d'habitats dont des zones de ponte, de nurseries et de nourriceries et si la disponibilité en nourriture n'est pas limitée (Francour, 1993 ; Garcia Charton *et al.*, 2000 ; Francour *et al.*, 2001).

Dans le cas du futur Parc National Marin de la mer d'Iroise, la situation n'est pas simple car, si les éléments biologiques et écologiques à protéger sont nombreux, diversifiés et pour certains à très grande valeur patrimoniale, les activités humaines d'exploitation des ressources sont également bien développées et représentent une part primordiale dans la vie sociale et économique de la région. De plus, les habitats et peuplements représentant des enjeux majeurs de conservation (champs de laminaires, herbiers de zostères, bancs de maërl, zones de sables envasés des Pierres Noires et de la baie de Douarnenez, *etc*…) équivalent soit à de très grandes surfaces, soit à des zones de petites tailles mais très dispersées, ce qui complique la mise en place d'une protection efficace assurée par un marquage visible et une surveillance des usagers par une équipe présente sur le terrain et bien formée (Murray *et al.*, 1999 ; Francour *et al.*, 2001). Les zones représentant un regroupement d'habitats ou une transition brutale avec un gradient rapide, comme les tombants rocheux, sont également à privilégier pour la protection de la biodiversité. Ces sites constituent des paysages uniques qui dépendent des conditions locales et régionales et méritent d'être conservés au titre de monument naturel (catégorie III de l'*IUCN*), ce qui peut tout à fait être envisagé dans le cadre d'un parc national.

C'est pourquoi la solution consistant à mettre en réserve intégrale une proportion de chaque type d'habitat ou de peuplement à protéger pourrait être un compromis acceptable par tous les acteurs concernés. Le projet de parc national marin se dirigerait alors vers un système de réseau de petites réserves intégrales (*no-take areas*), à l'intérieur d'une vaste zone centrale où la majorité des usages ne seraient pas interdits mais réglementés et qui serait elle-même entourée d'une zone périphérique "tampon" où le développement économique et touristique

pourrait être encouragé. Le zonage correspondrait alors à des réglementations des usages différentes selon les zones, il s'agirait donc d'une *MPA* multi-usages.

La zone centrale définie pour le projet de Parc Marin de la mer d'Iroise déborde de notre zone d'étude puisqu'elle s'étend au large jusqu'à la ligne du méridien 5°10' Ouest et descend vers le sud jusqu'au parallèle 47°58' Nord. Les fonds concernés incluent donc entièrement ceux étudiés dans ces travaux. Mis à part quelques activités de chalutage et de dragage au large de la zone, ces fonds sont actuellement peu impactés par les activités humaines et ne semblent pas menacés à court terme.

Il faut rappeler cependant qu'ils sont étroitement intégrés à un écosystème global : le milieu marin de la mer d'Iroise, lui-même en relation avec les milieux terrestres environnants. Ces travaux ont montré -ou confirmé- que cette zone marine est extrêmement diversifiée, tant au niveau des conditions environnementales (hydrodynamisme, température, bathymétrie, apports nutritifs) que de la couverture sédimentaire et des habitats présents. Ceux-ci sont en fait représentatifs de la quasi-totalité de ceux rencontrés le long des côtes Manche/Atlantique françaises. Les assemblages d'espèces y sont tout aussi diversifiés, avec quelques peuplements et faciès constituant des particularités locales originales. La zone marine de la mer d'Iroise est alors, selon les espèces, le cadre de leur cycle de vie entier ou d'une ou plusieurs phases essentielles de ce cycle, une étape migratoire (requins pèlerins, oiseaux) ou encore un site transitoire de nourrissage (cétacés pélagiques).

Nous avons vu que cette zone est très productive, grâce notamment à la présence de systèmes frontaux engendrant de fortes productions phytoplanctoniques en zone pélagique, dont une partie est exportée vers le benthos. Cette productivité élevée, croisée avec la diversité biologique, induit la mise en place de réseaux d'interactions complexes faisant intervenir de nombreuses espèces. Le maintien des nombreux prédateurs fréquentant la zone, dont certains sont rares et/ou protégés, dépend du fonctionnement de tous les niveaux de ces réseaux.

Cette complexité est d'ailleurs une autre caractéristique de l'Iroise, nous l'avons mise en évidence à tous les niveaux abordés : couverture sédimentaire, habitats et assemblages d'espèces. La stabilité de cette structure complexe est dynamique et tous ses éléments sont liés entre eux par des relations spatiales ou alimentaires (compétition, prédation). L'enjeu de la conservation du milieu marin de la mer d'Iroise est donc la préservation du fonctionnement de l'ensemble de ces réseaux d'interactions, ce qui ne peut s'envisager que par la gestion de l'ensemble de la zone centrale au sein d'un parc national marin.

La figure S-6 représente une carte des zones prioritaires pour la conservation et la gestion des ressources de la mer d'Iroise. Une partie de chaque type de zone prioritaire est proposée pour être classée en réserve intégrale : la surface de chacune peut ne représenter que quelques dizaines d'hectares à l'intérieur des zones proposées. En effet, des expériences concluantes ont été menées avec de très petites zones de réserves intégrales incluses dans une grande aire marine protégée, comme dans la réserve naturelle de Cerbère-Banyuls (France : 65 ha sur 650), dans celle de Scandola (France, Corse : 72 ha sur 1 000), dans celle des Bouches de Bonifacio (Corse), avec trois petites réserves intégrales représentant au total 1 200 ha sur 80 000 ou encore dans les réserves marines de *Ustica Island* (Italie : 65 ha sur 1 400) et de Tabarca (Espagne : 100 ha sur 1 400) (Francour *et al.*, 2001).

La mer d'Iroise offre plusieurs originalités par rapport aux aires marines protégées déjà en place en Méditerranée : c'est une zone connaissant de grandes marées et de forts courants, largement ouverte vers le large et comportant de vastes étendues sédimentaires. Il serait donc très intéressant de tester le fonctionnement des petites zones de réserve intégrale dans de telles conditions. La mise en place d'un tel plan de zonation associé à un parc national marin aurait valeur d'expérimentation grandeur nature, afin de répondre aux interrogations formulées sur l'efficacité de la protection dans des mers à marée et de l'"effet réserve", en milieu dispersif comme en zone de courants résiduels, (*i.e.* la baie de Douarnenez avec ses courants giratoires). Les réserves intégrales instituées seraient donc des zones laboratoires pour permettre des études scientifiques à long terme.

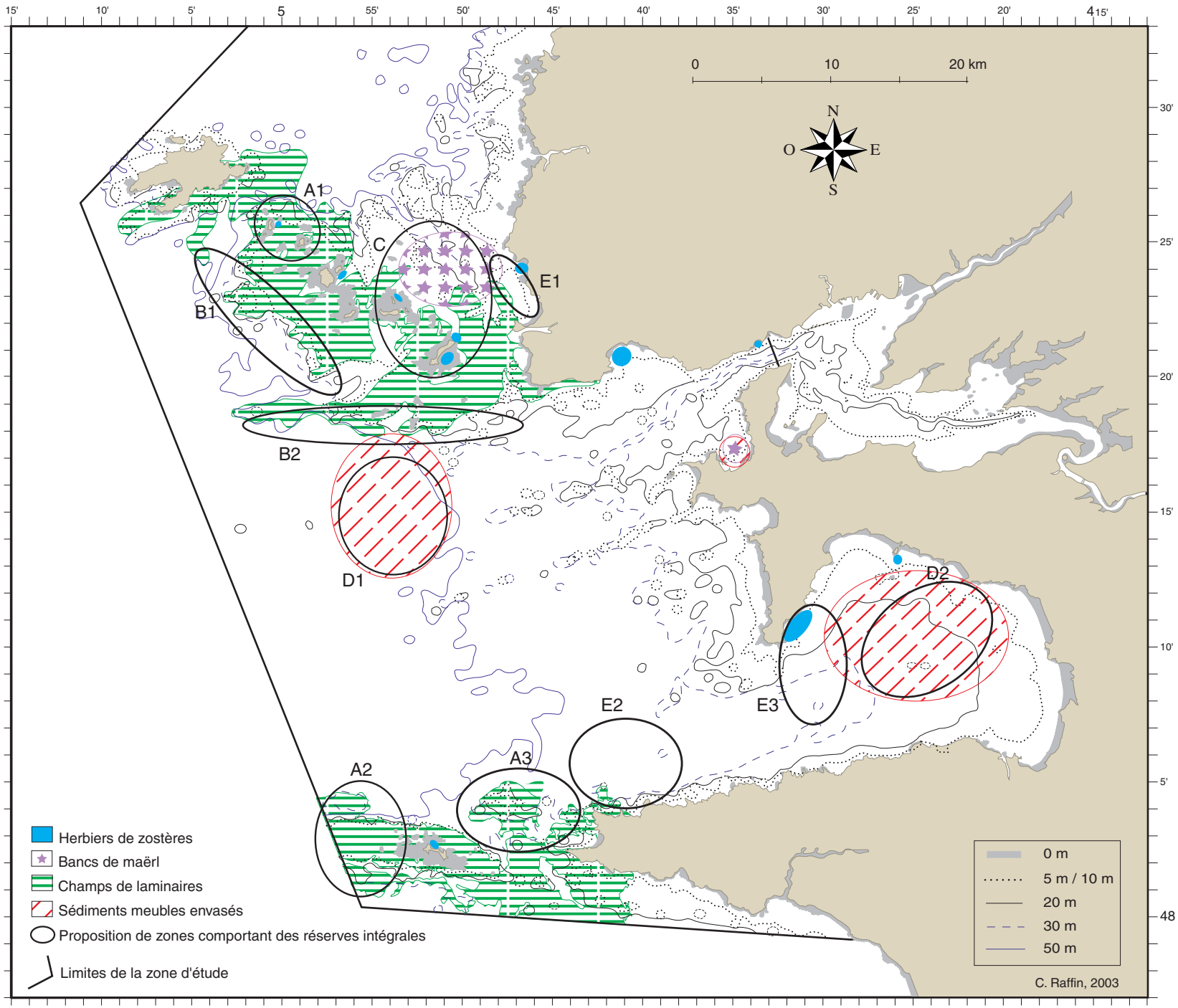


Figure S-6 : Priorités de conservation définies pour le milieu marin de la mer d'Iroise et proposition de zones qui pourraient comporter des réserves intégrales.

Le tableau S-8 récapitule les enjeux majeurs de chaque zone proposée pour accueillir une réserve intégrale.

Tableau S-8 : Enjeux majeurs de conservation dans les zones proposées pour accueillir une réserve intégrale.

ZONE PROPOSÉE (figure S-6)	**ENJEUX MAJEURS DE CONSERVATION**
A1	Champs de laminaires Présence de phoques gris, de dauphins, d'oiseaux Partie terrestre classée en réserve naturelle (îles de Bannec et Balanec)
A2	Champs de laminaires Présence de dauphins
A3	Champs de laminaires Présence d'oiseaux
B1 et B2	Tombants rocheux : intérêt paysager
C	Zone mixte maërl-laminaires Présence de phoques gris, de dauphins, d'oiseaux Mosaïque d'habitats
D1	Rôle majeur dans le fonctionnement du réseau trophique benthique Aire de nourrissage des oiseaux marins
D2	Nourricerie de poissons (adultes et juvéniles) et crustacés
E1	Mosaïque d'habitats (graviers) au large des Blancs Sablons Présence d'un herbier de zostère à proximité
E2	Mosaïque d'habitats (graviers et sables) au nord du Cap Sizun Importante colonie d'oiseaux (mouettes tridactyles) à proximité
E3	Mosaïque d'habitats sableux au sud-est du Cap de la Chèvre Présence d'un herbier de zostères subtidal

Si ce fonctionnement est mis en place et qu'un effet réserve comparable à ceux observés dans de nombreuses réserves méditerranéennes et mondiales est obtenu, les pêcheurs professionnels exploitant la zone en suivant la réglementation établie devraient commencer à constater l'augmentation des prises au bout de quelques années seulement. Badalamenti *et al.* (2000) donnent trois exemples de succès de réserves malgré une opposition des pêcheurs locaux lors de leurs créations. Dans la *Leigh Marine Reserve* comme dans *Great Barrier Area* (Nouvelle-Zélande) ou à *Apo Marine Reserve* (Philippines), tous les pêcheurs ont témoigné de l'augmentation des prises et dans certains cas ont demandé la mise en place de nouvelles zones de réserves intégrales (Cerbère-Banyuls, *Great Barrier Area*).

La protection des herbiers de zostères, habitat prioritaire mais très dispersé, pourrait consister en un zonage des herbiers assurant qu'une partie sera totalement protégée des impacts humains, préférentiellement celle où les rhizomes et les pieds sont les plus denses. Une zone intacte pourrait permettre un repeuplement plus rapide de la zone impactée lorsque la pression des mouillages sera minimale voire nulle, c'est-à-dire en dehors de la saison touristique. L'information des plaisanciers sur les effets néfastes des mouillages dans les herbiers et sur la valeur écologique et patrimoniale exceptionnelle qu'ils représentent, semble également indispensable. Ce point s'inscrit d'ailleurs dans le cadre de la mise en place de programmes éducatifs du public, liée à la création d'un parc national marin.

CONCLUSIONS

ET

PERSPECTIVES

Cette étude aura permis de faire le point sur les connaissances biologiques et écologiques relatives au milieu marin de la mer d'Iroise, ainsi que sur l'état actuel des réflexions internationales sur les aires marines protégées. De nouvelles informations ont été apportées et permettent de mieux comprendre le fonctionnement de cette zone marine complexe.

Nous avons montré que la couverture sédimentaire des fonds de la mer d'Iroise présente une large gamme de mélanges sédimentaires, dont la présence s'explique par les conditions environnementales locales (hydrodynamisme, profondeur) et par l'histoire géologique de la zone. Nous avons également montré l'importance originale des cailloutis et graviers en Iroise, ainsi que l'organisation des sédiments en couches superposées, induisant une complexité d'habitats pour la faune associée. La nécessité de suivi des zones pour détecter la variabilité saisonnière à long terme a également été démontrée ; en effet, celle-ci est souvent masquée par l'importante variabilité spatiale, conséquence de cette complexité.

Six grandes unités de peuplement ont été identifiées, chacun comportant plusieurs faciès dont certains représentent une grande valeur écologique et patrimoniale. L'importance de la zone frontale du large et son influence sur le domaine benthique ont été mises en évidence, résultat inédit pour la mer d'Iroise à notre connaissance.

Enfin, connaissant les activités humaines et l'utilisation des ressources en mer d'Iroise, nous avons proposé un plan de zonation dans le cadre du futur Parc National Marin de la Mer d'Iroise. Celui-ci aurait un rôle d'expérimentation scientifique, pour tester l'efficacité des mesures de conservation (mise en place de réserves intégrales, réglementations spécifiques, *etc*...) dans ces conditions originales cumulant un milieu pouvant être très dispersif, un système macrotidal et des fonds sédimentaires largement représentés.

L'acquisition de ces résultats a fait appel à différentes disciplines comme la géographie, l'économie, la sociologie, la géologie, la géomorphologie, l'histoire, la biologie, l'écologie, *etc*... Les limites des analyses réalisées correspondent à un besoin d'études complémentaires dans certaines de ces disciplines.

C'est notamment le cas pour l'évaluation de l'impact de la pêche (chalut, drague, scoubidou pour les algues). Or, la réussite de l'intégration des activités de pêche professionnelle est indispensable au succès d'une zone marine protégée (Bohnsack, 1998 ; Badalamenti *et al.*, 2000 ; Harmelin, 2000 ; Francour *et al.*, 2001). Il est donc souhaitable d'envisager des collaborations avec d'autres études et avec les pêcheurs professionnels afin d'affiner les propositions de zonage des aires marines à protéger, en tenant compte de la réalité des impacts de pêche plutôt que des perturbations potentielles.

Ces travaux constituent une base de données préalable sur les habitats et les peuplements de la mer d'Iroise. Ils apportent des données nouvelles et spatialisées directement intégrables dans le cadre d'un Système d'Information Géographique. Elles pourraient donc constituer ou compléter des couches d'informations au sein d'une Base d'Informations Géographiques, notamment en ce qui concerne les types sédimentaires, les habitats, les peuplements et faciès ou encore la répartition de certaines populations remarquables.

Au-delà de ce travail, la mise en place d'un SIG fournirait un support d'archivage et d'analyse pour un ensemble de données très variées (thèmes, échelles). La puissance de traitement des informations et les possibilités de leurs analyses qualitatives et quantitatives seraient alors énormes et comprendraient même la possibilité de couplage avec des modèles spatio-temporels. En effet, il serait possible de croiser ces données pour en produire de nouvelles, d'effectuer des statistiques spatiales (comme des calculs de surface), des prévisions, des simulations... En retour, l'information intégrée à la BIG pourrait fournir une base de connaissance pour la définition de stratégies d'échantillonnages, l'exploitation de l'information, la validation de modèles, *etc*... (Le Berre, 1999).

Cette perspective n'est cependant envisageable que si le SIG est pérennisé, ce qui nécessite un support institutionnel. Le Parc National Marin de la Mer d'Iroise pourrait avoir cette fonction.

Les perspectives majeures de ce travail de thèse prennent tout leur sens dans le cadre de la mise en place du Parc National Marin de la Mer d'Iroise.

Les bases apportées par ces travaux contribueront aux programmes scientifiques qui pourront être lancés par la suite en fournissant un point de référence "initial". La mise en place d'un suivi à long terme s'avère en effet incontournable pour connaître l'évolution de l'écosystème marin de la mer d'Iroise et les effets du développement de sa conservation et de sa gestion (Van Der Meer, 1997). Or la protection d'une telle zone marine est innovante en raison de sa situation mégatidale, de la diversité des régimes de dispersion représentés et de l'abondance des sédiments meubles, plus vulnérables aux perturbations que les zones rocheuses sur lesquelles sont établies la plupart des réserves de Méditerranée. Ces caractéristiques pourraient en faire une zone expérimentale et une référence pour d'autres projets similaires.

Le deuxième domaine d'intérêt majeur est d'ordre socio-économique et concerne l'impact de la protection du milieu sur la pêcherie locale en cas de mise en place d'un Parc National Marin. Cette évaluation est capitale et peut se faire par le suivi de l'évolution des populations de poissons dans et hors du parc. Elle nécessite l'élaboration de stratégies de gestion et de conservation efficaces, avec des plans de gestion adaptatifs prenant en compte l'expérience acquise. L'approche à plusieurs échelles spatiales et temporelles que nous avons utilisée est reconnue comme indispensable pour distinguer la variabilité naturelle des dégradations de diversité ou des effets réserves escomptés (Garcia Charton *et al.*, 2000 ; Fraschetti *et al.*, 2002), d'autant que cette variabilité est particulièrement forte en Iroise et que toutes les échelles sont interconnectées (Fraschetti *et al.*, 2001). Une collaboration entre les scientifiques de différentes disciplines et les acteurs locaux (usagers, élus, associations, *etc*...) reste indispensable pour l'avenir du Parc National Marin d'Iroise.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A.D.M.S., 1994. Inventaire de la faune et de la flore sur les fonds rocheux autour de l'île d'Ouessant. Ministère de l'Environnement - Préfecture de la région Bretagne - Conseil général du Finistère: 59 p. + annexes.

A.D.M.S., 1996. Inventaire de la faune et de la flore sur les fonds rocheux subtidaux en proche Iroise et en rade de Brest. Direction régionale de l'Environnement - Conseil général de Bretagne - Département du Finistère: 99 p. + annexes.

ADEUPa, 1999. Etude économique des activités liées à la mer d'Iroise. Partie 1 : Activités maritimes. ADEUPa de Brest, SAFI, Portances Conseils, Brest: 65 p.

Afli A., 1999. Variabilité temporelle du benthos de la partie orientale du golfe du Morbihan (Bretagne). Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 194 p.

Afli A. et M. Glémarec, 2000. Fluctuation à long terme des peuplements macrobenthiques dans le Golfe du Morbihan (Bretagne, France). *Cahiers de Biologie Marine* 41: 67-89.

Agardy T.M., 1994. Advances in marine conservation : the role of marine protected areas. *Trends in Ecology and Evolution* 9 (7): 267-270.

Airame S., B. Leeworthy, B. Fletcher, C. Miller et A. Guglielmo, 2001. Science as a central tool in planning marine reserves : case study of the Channel Islands. *MPA News* 2 (10): 1-3.

Alayse J.-P., 1987. Le complexe *Solea lascaris* : mise en évidence par l'étude du polymorphisme enzymatique de deux espèces sympatriques en mer d'Iroise. *Biochemical Systematics and Ecology* 15 (2): 273-284.

Allison G.W., J. Lubchenco et M.H. Carr, 1998. Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation. *Ecological Applications* 8 (1 (Supplement)): 79-92.

Antoine L., 1979. La croissance de la coquille St-Jacques *Pecten maximus* L. et ses variations en mer Celtique et en Manche. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 148 p.

Arzel P., 1988. Les laminaires des côtes bretonnes : évolution de l'exploitation et de la flottille de pêche, état actuel et perspectives. Editions Ifremer: 139 p.

Arzel P. et A. Castric-Fey, 1997. Les forêts de laminaires. Dans *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives* (Museum National d'Histoire Naturelle (ed) : pp. 159-167.

Arzel P., S. Gros et F. Pors, 1992. Inventaire des ressources végétales marines du SMVM Pointe du Raz-Odet. Ifremer, DDE, Brest.

Augris C., E. Houlgatte, J. Rolet et A. Grotte, 1988. Carte des sédiments superficiels et carte géologique de la baie de Douarnenez - partie septentrionale. 22 pages + 2 cartes, 1/15 000, Ifremer, UBO, Conseil Général du Finistère.

Autissier I., A. Coum, J.-P. Cuillandre et G. Veron, 1981. Etude préalable à la gestion des stocks de crustacés en Bretagne. Conseil Régional des Pêches et Cultures Maritimes.

Badalamenti F., C. Wahle, B. Causey, J. Simms et J. Tulungen, 2002. Human dimensions of MPAs : facing the challenges of social science and its implementation. *MPA News* 4 (1): 1-4.

Badalamenti F., A.A. Ramos, E. Voultsiadou, J.L. Sanchez Lizaso, G. D'anna, C. Pipitone, J. Mas, J.A. Ruiz Fernandez, D. Whitmarsh et S. Riggio, 2000. Cultural and socio-economic impacts of Mediterranean marine protected areas. *Environmental Conservation* 27 (2): 110-125.

Baron J., 1983. Les Triglidae (Téléostéens, Scorpaeniformes) de la baie de Douarnenez. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 124 p.

Baron J., 1985a. Les Triglidés (Téléostéens, Scorpaeniformes) de la baie de Douarnenez. 2. La reproduction de *Eutrigla gunardus*, *Trigla lucerna*, *Trigloporus lastoviza* et *Aspitrigla cuculus*. *Cybium* 9 (3): 255-281.

Baron J., 1985b. Les Triglidés (Téléostéens, Scorpaeniformes) de la baie de Douarnenez. 1. La croissance de *Eutrigla gunardus*, *Trigla lucerna*, *Trigloporus lastoviza* et *Aspitrigla cuculus*. *Cybium* 9 (2): 127-144.

Barrière M., L. Chauris, Y. Fouquet, A. Guilcher, J.P. Lefort et A. Pelhate, 1985. Notice explicative de la feuille pointe du Raz à 1/50 000. Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans.

Bavestrello G., C.N. Bianchi, B. Calcinai, R. Cattaneo-Vietti, C. Cerrano, C. Morri, S. Puce et M. Sarà, 2000. Bio-mineralogy as a structuring factor for marine epibenthic communities. *Marine Ecology Progress Series* 193: 241-249.

Bensettiti F., F. Bioret, M. Glémarec, D. Bellan-Santini et J.-M. Géhu, à paraître. Cahiers d'habitats Natura 2000. Tome 3, Habitats côtiers.

Bioret F., M. Glémarec et J.-M. Géhu, 2003. Identification des habitats côtiers de la Directive Habitats présents en France. *Fitosociologia* à paraître.

Birrien J.-L., 1987. Cycles de variations des éléments nutritifs et du phytoplancton en baie de Douarnenez et dans les secteurs adjacents : importance du front côtier de l'Iroise. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale: 160 p.

Birrien J.-L., M.V.M. Wafar, P. Le Corre et R. Riso, 1991. Nutrients and primary production in a shallow stratified ecosystem in the Iroise Sea. *Journal of Plankton Research* 13 (4): 721-742.

Blondel J., 1979. Biogéographie et écologie. Masson: 173 p.

Bodin P., 1984. Densité de la méiofaune et peuplements de copépodes harpacticoïdes en baie de Douarnenez (Finistère). *Annales de l'Institut océanographique* 60 (1): 5-17.

Bodin P., D. Boucher, J. Guillou et M. Guillou, 1984. The trophic system of the benthic communities in the bay of Douarnenez (Brittany). *Marine Biology Symposium*, Cambridge University Press, Gibbs P. E.: 361-370.

Bohnsack J.A., 1998. Application of marine reserves to reef fisheries management. *Australian Journal of Ecology* 23: 298-304.

Boillot G., 1960. La répartition des fonds sous-marins au large de Roscoff (Finistère). *Cahiers de Biologie Marine* I: 3-23.

Boncoeur J., F. Alban, P. Arzel, P. Berthou, O. Guyader, P. Le Floc'h, O. Thébaud et G. Véron, 2000. Activités halieutiques et activités récréatives dans le cadre d'un espace à protéger : le cas du Parc National de la mer d'Iroise. CEDEM, IUEM, UBO, IFREMER-DRV, Brest: 213 p.

Boncoeur J., F. Alban, G. Appéré, S. Bermell, P. Berthou, O. Curtil, S. Demanèche, M. Drogou, O. Guyader, J. Huet, M. Jézéquel, A. Sabourin, O. Thébaud et G. Véron, 2002. Activités halieutiques et activités récréatives dans le cadre d'un espace à protéger : le cas du Parc National de la mer d'Iroise. CEDEM, IUEM, UBO, IFREMER-DRV-SEM-LRH, Brest: 126 p.

Bond W.J., 1994. Keystone species. Dans *Biodiversity and Ecosystem Function* (Schulze E.-D. et H. A. Mooney, eds), Springer-Verlag: pp. 237-253.

Bourgoin A., 1987. Ecologie et démographie d'*Acrocnida brachiata* (Montagu) (Echinodermata: Ophiuroidea) en baie de Douarnenez (Bretagne). Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 146 p.

Bourgoin A. et M. Guillou, 1990. Variations in the reproductive cycle of *Acrocnida brachiata* (Echinodermata: Ophiuroidea) according to environment in the bay of Douarnenez (Brittany). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 70: 57-66.

Bourgoin A. et M. Guillou, 1994. Arm regeneration in two populations of *Acrocnida brachiata* (Montagu) (Echinodermata: Ophiuroidea) in Douarnenez bay (Brittany: France): an ecological significance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 184: 123-139.

Bourgoin A., M. Guillou et M. Glémarec, 1991. Environmental instability and demographic variability in *Acrocnida brachiata* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Douarnenez bay (Brittany: France). *Marine Ecology* 12 (2): 89-104.

Breton G.O., 1997. Les oiseaux nicheurs de Bretagne. 290 p.

Brigand L., 2002. Les îles du Ponant. Histoires et géographie des îles et archipels de la Manche et de l'Atlantique. Editions Palantines: 479 p.

Brunckhorst D., 2001. Building capital through bioregional planning and biosphere reserves. *Ethics in Science and Environmental Politics*: 19-32.

Cabioc'h J., 1970. Le maërl des côtes de Bretagne et le problème de sa survie. *Penn Ar Bed* 7 (63): 421-429.

Cabioc'h J., J.Y. Floc'h, A. Le Toquin, C. Boudouresque, A. Meinesz et M. Verlaque, 1992. Guide des algues des mers d'Europe. Delachaux et Niestlé (Eds): 231 p.

Cabioch L., 1961. Etude de la répartition des peuplements benthiques au large de Roscoff. *Cahiers de Biologie Marine* 2: 1-40.

Cabioch L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cahiers de Biologie Marine* IX (5 (suppl)): 493-720.

Caddy J.F., 2000. A fisheries management perspective on marine protected areas in Mediterranean. *Environmental Conservation* 27 (2): 98-103.

Cadiou B., 1998. Oiseaux marins nicheurs de Bretagne, 1995-1998. Bretagne Vivante-SEPNB, Conseil Régional de Bretagne, DIREN Bretagne: 121 p.

Cairns J.J., 2003. Integrating top-down / bottom-up sustainability strategies : an ethical challenge. *Ethics in Science and Environmental Politics*: 1-6.

Campillo A., 1984. La crevette rose *Palaemon serratus*. Biologie et exploitation. *La pêche maritime* 20 juillet 1984: 385-390.

Carlton J.T., 1993. Neoextinctions of marine invertebrates. *American Zoology* 33: 499-509.

Carr M.H., 2000. Marine protected areas : challenges and opportunities for understanding and conserving coastal marine ecosystems. *Environmental Conservation* 27 (2): 106-109.

Castric-Fey A., 1996. Le Sclératinaire *Dendrophyllia cornigera* en eau peu profonde, à Ouessant (Bretagne, Atlantique NE) en l'absence de barrière thermique. *Oceanologica Acta* 19 (6): 665-671.

Castric-Fey A. et M. Beuzen, 1987. Répartition des oursins *Sphaerechinus granularis* et *Echinus esculentus* en baie de COncarneau. Résultats préliminaires. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France* suppl. H.S.: 111-119.

Castric-Fey A. et C. Chassé, 1991. Factorial analysis in the ecology of rocky subtidal areas near Brest (west Brittany, France). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 71: 515-536.

Castric-Fey A., A. Girard-Descatoire, F. Gentil, D. Davoult et J.-M. Dewarumez, 1997. Macrobenthos des substrats durs intertidaux et subtidaux. Dans *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives*. (Museum National d'Histoire Naturelle (ed), Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie - Service du Patrimoine naturel / IEGB / MNHN: pp. 83-95.

Chalabi A., 1984. Biologie et écologie des populations de la petite vive *Euchiichthys vipera* (Cuvier, 1829 ; Bentivegna & Fiorino, 1983) sur les plages du Finistère. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 173 p.

Chassé C., 1972. Economie sédimentaire et biologique des estrans meubles des côtes de Bretagne. Thèse de doctorat d'état, Université de Paris VI: 256 p.

Chassé C. et M. Glémarec, 1976a. Atlas des fonds meubles du plateau continental du Golfe de Gascogne. Cartes biosédimentaires, I.C.A.

Chassé C. et M. Glémarec, 1976b. Principes généraux de la classification des fonds pour la cartographie sédimentaire. *Journal de la Recherche Océanographique* 1: 1-18.

Chauris L., 1966. Vue d'ensemble sur la géologie de l'île d'Ouessant (Finistère). *Bulletin de la Société de Géologie et de Minéralogie de Bretagne* 1964-1965 (nouvelle série - nov. 1966): 87-119.

Chauris L., 1969. Les confins occidentaux du Pays du Léon : archipel de Molène et Chaussée des Pierres Noires. *Bulletin de la Société de Géologie et de Minéralogie de Bretagne*: 119-145.

Chauris L., 1982. Nouvelles observations géologiques dans l'archipel de Molène. *Penn Ar Bed* 13 (110): 98-111.

Chauris L., 1991a. Intérêt des mesures systématiques de la radioactivité au scintillomètre. L'exemple de l'île d'Ouessant (Massif Armoricain). *Géologie de la France* 4: 9-15.

Chauris L., 1991b. Le granite porphyroïde de Porzpaul dans l'île d'Ouessant : un nouvel élément dans la ceinture des "granites rouges" du Massif Armoricain (France). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 313 (série II): 245-250.

Chauris L., 1991c. Intrusions sodiques à affinité trondhjémitique à l'île d'Ouessant (Finistère). *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France* 13 (4): 119-122.

Chauris L., 1992a. Granites à tourmaline et tourmalinites de l'île d'Ouessant. Contribution à l'étude de la tourmalinisation liée aux intrusions granitiques. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France* 14 (4): 119-123.

Chauris L., 1992b. Problèmes d'insularité : origine des pierres de construction à Ouessant (Finistère, France). *Norois. Poitiers* 153: 45-55.

Chauris L. et B. Hallégouët, 1994. Notice explicative. Feuille Plouarzel - île d'Ouessant (1/50 000). Bureau de Recherches Géologiques et Minières: 132 p.

Chauris L., J. Deunff, F. Lapierre, J.P. Lefort et Y. Plusquellec, 1972. Les formations précambriennes et paléozoïques au large des côtes occidentales du Finistère. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 274: 2624-2626.

Chauvaud L., 1998. La coquille Sant-Jacques en rade de Brest : un modèle biologique d'étude des réponses de la faune benthique aux fluctuations de l'environnement. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale: 265 p.

Christiansen C., H. Christoffersen, J. Dalsgaard et P. Nornberg, 1981. Coastal and near-shore changes correlated with die-back in eelgrass (*Zostera marina*, L.). *Sedimentory Geology* 28: 163-173.

Collin L., 1936. Formations quaternaires de l'Ouest du Finistère. *Bulletin de la Société de Géologie et de Minéralogie de Bretagne* Fasc. Spéc.: 69 p.

Collin L., 1940. Morphologie des côtes du Finistère en rapport avec la nature géologique du sol. *Bulletin de la Société de Géologie et de Minéralogie de Bretagne* Fasc. Spéc.: 72 p.

Cornell H.V., 1999. Unsaturation and regional influences on species richness in ecological communities : a review of the evidence. *Ecoscience* 6 (3): 303-315.

Costanza R., R. D'arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton et M. Van Der Bert, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

CRPCM de Bretagne, 1981a. Le homard - Biologie, pêche, gestion en Bretagne. CORPECUM: 8 p.

CRPCM de Bretagne, 1981b. La pêche des crustacés en Bretagne. CORPECUM: 12 p.

CRPCM de Bretagne, 1981c. Le tourteau - Biologie, pêche en Bretagne. CORPECUM: 11 p.

Cuillandre J.P., 1988. Réserve de la Biosphère d'Iroise. Parc Naturel Régional d'Armorique, SEPNB: 201 p.

Cuillandre J.-P., D. Latrouite et A. Le Foll, 1984. Le tourteau - Biologie et exploitation. *La pêche maritime* 20 septembre 1984: 502-520.

Daget P. et M. Godron, 1982. Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés. Masson: 163 p.

Darboux J.R., 1973. Le Briovérien de la baie de Douarnenez. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 207 p.

Darboux J.R., 1991. Evolution tectonosédimentaire et structuration synmétamorphe des zones externes du segment hercynien ouest-européen : le modèle du domaine centre armoricain occidental. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 267 p.

Dauvin J.-C. eds 1994. Typologie des ZNIEFF-MER. Liste des paramètres et des biocénoses des côtes françaises métropolitaines. Paris, Museum National d'Histoire Naturelle: 64 p.

Dauvin J.-C. eds 1997. Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives. 28s 28, Paris, Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie - Service du Patrimoine naturel / IEGB / MNHN: 376 p.

Davies C.E. et D. Moss, 2002. EUNIS habitat classification. 2001 work programme, final report. EEA, ETCNPB, CEH, NERC: 108 p.

Day J.C., 2002. Zoning-lessons from the Great Barrier Reef Marine Park. *Ocean and Coastal Management* 45: 139-156.

DDAM du Finistère, 1998. Le secteur des pêches maritimes et des cultures marines en Finistère. Bilan annuel de la conjoncture économique 1997. Quimper: 11 p. + annexes.

De Kergariou G., 1984. L'araignée de mer *Maia squinado* H., biologie et exploitation. *La pêche maritime*: 575-583.

Den Hartog C., 1977. Structure, function, and classification in seagrass communities. Dans *Seagrass Ecosystems, a scientific perspective* (Mc Roy C. P. et C. Helfferich, eds), Marcel Dekker: pp. 89-121.

Den Hartog C., 1983. Structural uniformity and diversity in *Zostera*-dominated communities in Western Europe. *Marine Technology Society Journal* 17 (2): 6-14.

Den Hartog C., 1994. Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquatic Botany* 47: 21-28.

Den Hartog C. et C. Hily, 1997. Les herbiers de zostères. Dans *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives* (Dauvin J.-C. (ed) Museum National d'Histoire Naturelle: pp. 140-144.

Déniel C., 1974. Régime alimentaire des jeunes turbots *Scophthalmus maximus* de la classe 0 dans leur milieu naturel. *Cahiers de Biologie Marine* XV: 551-566.

Déniel C., 1975. Régimes alimentaires d'*Arnoglossus thori* Kyle et d'*Arnoglossus imperialis* rafinesque (Téléostéens - Bothidae) en baie de Douarnenez. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 39 (1): 105-116.

Déniel C., 1979. La baie de Douarnenez : réserve ichthyologique naturelle. *Penn Ar Bed* 12 (98): 116-130.

Déniel C., 1981. Les poissons plats (Téléostéens, Pleuronectiformes) en baie de Douarnenez. Reproduction, croissance et migration des Bothidae, Scophthalmidae, Pleuronectidae et Soleidae. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 476 p.

Déniel C., 1983. La reproduction des poissons plats (Téléostéens, Pleuronectiformes) en baie de Douarnenez. 1- Cycles sexuels et fécondité des arnoglosses, *Arnoglossus thori*, *A. laterna*, *A. imperialis* (Bothidae). *Cahiers de Biologie Marine* XXIV: 231-252.

Déniel C., 1984. La reproduction des poissons plats (Téléostéens, Pleuronectiformes) en baie de Douarnenez. 2- Cycles sexuels et fécondité des Soleidae : *Solea vulgaris*, *S. lascaris*, *Buglossidium luteum* et *Microchirus variegatus*. *Cahiers de Biologie Marine* XXV: 257-285.

Déniel C., 1990. Comparative study of growth of flatfishes on the west coast of Brittany. *Journal of Fish Biology* 37: 149-166.

Déniel C. et M. Tassel, 1986. Reproduction et croissance de la limande *Limanda limanda* (Linnaeus 1758) (Téléostéen, Pleuronectidae) en Manche orientale et en baie de Douarnenez. *Cybium* 10: 155-176.

Descatoire A., 1967. Les peuplements sessiles de l'archipel de Glénan. Spongiaires. Thèse de doctorat de 3ème cycle.

Diallo M., 1987. Le peuplement ichtyologique de l'Aber en Crozon. Composition, évolution, reproduction et croissance d'une espèce caractéristique, l'équille *Ammodytes tobianus* L., 1758. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 154 p.

Dias P.C., 1996. Sources and sinks in population biology. *Trends in Ecology and Evolution* 11 (8): 326-330.

Dobson A., 1996. Environmental ethics. Dans *Birth to death. Science and bioethics* (Thomasma D. C. et T. Kushner, eds), Cambridge University Press: pp. 348-356.

Dupuy P.Y., 1993. Mesures des courants forts dans les passages resserrés de l'Iroise et dans la rade de Brest: analyse des profils de courant mesurés. Services Hydrographiques et Océanographiques de la Marine – Brest.

Ehrlich P.R. et E.O. Wilson, 1991. Biodiversity studies : science and policy. *Science* 253: 758-762.

Eichbaum W., M. Crosby, T.M. Agardy et S. Laskin, 1996. The role of marine and coastal protected areas in the conservation and sustainable use of biological diversity. *Oceanography* 9 (1): 60-70.

Enemark J., H. Wesemüller et A. Gerdiken, 1998. The Wadden Sea : an international perspective on managing marine resources. *Parks* 8 (2): 36-40.

Erwin T.L., 1991. An evolutionary basis for conservation strategies. *Science* 253: 750-752.

FAO, 1998. The state of the world fisheries and aquaculture. Rome, Italy.

Fey A., 1967. Les peuplements sessiles de l'infralittoral rocheux de l'archipel de Glénan. Hydraires et Bryozoaires. Thèse de doctorat de 3ème cycle.

Fichaut B., 1984. Réactualisation de la sédimentologie de la rade de Brest. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 2 tomes : 215 et 86 p.

Fifas S., 1998. Campagne PERCOL (Pêche et Ecologie des Ressources COquillières du Large). Résultats préliminaires. Ifremer, Brest: 24 p.

Floc'h J.-Y., 1967. Cartographie de la végétation marine et observations écologiqes dans l'archipel de Molène (Finistère). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Rennes: 135 p. + 13 cartes.

Floc'h J.-Y., 1982. Quelques aspects de l'écologie des algues marines de l'archipel de Molène. *Penn Ar Bed* 13 (110): 116-123.

Fonseca M.S., J.S. Fisher, J.C. Zieman et G.W. Thayer, 1982. Influence of the seagrass, *Zostera marina* L., on current flow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15: 351-364.

Fonseca M.S., J.C. Zieman, G.W. Thayer et J.S. Thayer, 1983. The role of current velocity in structuring Eelgrass (*Zostera marina* L.) meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 17: 367-380.

Francour P., 1991. Ichtyofaune de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale). Influence spatiale et temporelle de l'effet de réserve. *Travaux Scientifiques du Parc naturel régional de Corse, France* 31: 1-33.

Francour P., 1993. Analyse pluriannuelle de l'effet réserve sur l'ichtyofaune de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale). *Marine Life* 3 (1-2): 83-93.

Francour P., 1996. L'ichthyofaune de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la réserve marine de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale) : influence des mesures de protection. *Journal de la Recherche Océanographique* 21 (1 et 2): 29-34.

Francour P., A. Ganteaume et M. Poulain, 1999. Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Pors-Cros National Park (north-western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater ecosystems* 9: 391-400.

Francour P., J.-G. Harmelin, D. Pollard et S. Sartoretto, 2001. A review of marine protected areas in the northwestern Mediterranean region : siting, usage, zonation and management. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater ecosystems* 11: 155-188.

Fraschetti S., A. Terlizzi, F. Micheli, L. Benedetti-Cecchi et F. Boero, 2002. Marine Protected Areas in the Mediterranean sea : objectives, effectiveness and monitoring. *Marine Ecology* 23 (1): 190-200.

Fraschetti S., C.N. Bianchi, A. Terlizzi, G. Fanelli, C. Morri et F. Boero, 2001. Spatial variability and human disturbance in shallow subtidal hard substrate assemblages : a regional approach. *Marine Ecology Progress Series* 212: 1-12.

Frontier S., 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson: 494 p.

Garcia Charton J.A., I.D. Williams, A. Perez Ruzafa, M. Milazzo, R. Chemello, C. Marcos, M.-S. Kitsos, A. Koukouras et S. Riggio, 2000. Evaluating the ecological effects of Mediterranean marine protected areas : habitat, scale and the natural variability of ecosystems. *Environmental Conservation* 27 (2): 159-178.

Gerrodette T., P.K. Dayton, S. Macinko et M.J. Fogarty, 2002. Precautionary management of marine fisheries : moving beyond burden of proof. *Bulletin of marine science* 70 (2): 657-668.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), 1997. Marine biodiversity : patterns, threats and conservation needs. GESAMP Reports and Studies n° 62. London: 24 p.

Gherbi-Barré A., 1983. Biologie de *Trisopterus luscus* (L. 1758) de la baie de Douarnenez (reproduction, croissance, régime alimentaire). Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 92 p.

Ghilarov A.M., 1996. What does "biodiversity" mean - scientific problem or convenient myth? *Trends in Ecology and Evolution* 11 (7): 304-306.

Giesen W., 1990. Wasting disease and present eelgrass condition. Ministry of transport and Public Works, Tidal Waters Division, Catholic University of Nijmegen, Nijmegen, the Netherlands.

Glémarec M., 1963. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Paris: 91 p.

Glémarec M., 1964. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. *Cahiers de Biologie Marine* 5: 33-96.

Glémarec M., 1965. La faune benthique dans la partie méridionale du massif armoricain - étude préliminaire. *Cahiers de Biologie Marine* VI: 51-66.

Glémarec M., 1969. Les peuplements benthiques du plateau continental nord-Gascogne. Thèse de doctorat d'état, Faculté des sciences de Paris: 167 p.

Glémarec M., 1973. The benthic communities of the european north atlantic continental shelf. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 11: 263-289.

Glémarec M., 1978. Distribution bathymétrique et latitudinale des bivalves du golfe de Gascogne. *Haliotis* 9: 23-32.

Glémarec M., 1988. Les facteurs déterminants la distribution des bivalves actuels sur les plate-formes Nord-Est atlantiques. *Géologie méditerranéenne* tome XV (1): 73-81.

Glémarec M., 1994. Classification of soft habitats in the Gulf of Gascony and English Channel. *Marine Biology Annual Revue* 11: 263-289.

Glémarec M., Y. Le Faou et F. Cuq, 1997. Long-term changes of seagrass beds in the Glenan Archipelago (South Brittany). *Oceanologica Acta* 20 (1): 217-227.

Gotceitas V., S. Fraser et J.A. Brown, 1997. Use of eelgrass beds (*Zostera marina*) by juveniles Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 1306-1319.

Graham A., 1988. Molluscs : Prosobranch and Pyramidellid Gastropods. D.M. Kermack et R.S.K. Barnes: 662 p.

Grall J., 2002. Biodiversité spécifique et fonctionnelle du maerl : réponses à la variabilité de l'environnement côtier. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 301 p.

Grall J. et M. Glémarec, 1997. Biodiversité des fonds de maerl en Bretagne : approche fonctionnelle et impacts anthropiques. *Vie et Milieu* 47 (4): 339-349.

Grall J.R., P. Le Corre, J. Le Fèvre, Y. Marty et B. Tournier, 1981. Caractéristiques estivales de la couche d'eau superficielle dans la zone des fronts thermiques Ouest-Bretagne. *Océanis* 6: 235-249.

Gray J.S., 1997. Marine biodiversity : patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 6: 153-175.

Green M. et J. Paine, 1997. State of the world's protected areas at the end of the twentieth century. *IUCN World Commission on Protected Areas (WCPA) symposium on protected areas in the 21th century : from islands to networks*, Albany, Australia.

Greenstreet S.P.R. et S.I. Rogers, 1999. Effects of fishing on non-target species. Dans *Effects of fishing on non-target species and habitats. Biological, conservation and socio-economic issues* (Kaiser M. J. et S. J. de Groot, eds), Blackwell Science: pp. 217-234.

Guilcher A., 1948. Le relief de la Bretagne méridionale, de la baie de Douarnenez à la Vilaine. Thèse de doctorat d'état, La Roche-sur-Yon: 682 p.

Guilcher A., 1950. L'île de Béniguet (Finistère), exemple d'accumulation en queue de comète. *Bull. C.O.E.C.* II (7): 243-250.

Guilcher A., 1957a. Quelques aspects et problèmes morphologiques et sédimentologiques de l'île d'Ouessant. *Norois* 15: 289-304.

Guilcher A., 1957b. À propos de la vallée fossile de Lampaul à Ouessant. *Norois. Poitiers* 16 (4): 507-508.

Guilcher A., 1958. Les accumulations sous-marines du plateau de Molène et de la Chaussée de Sein (Finistère). *83ème Colloque International du CNRS, topographie et géologie des profondeurs océaniques*, Nice: 109-141.

Guilcher A., 1959. L'archipel de Molène (Finistère). Etude morphologique. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2)* II (fasc. 2): 81-96.

Guilcher A., 1969. Présentation des premières feuilles de la carte sédimentologique sous-marine en couleurs de la plate-forme continentale atlantique de la France à 1/100 000 (Saint-Vaast-la-Hougue, Bricquebec, Brest, Pont-Croix, Saint-Nazaire). *Bulletin de l'Association des Géographes Français* 371-372: 421-431.

Guilcher A., B. Adrian et A. Blanquart, 1959. Les "queues de comète" de galets et de blocs derrière des roches isolées sur les côtes Nord-Ouest de la Bretagne. *Norois. Poitiers* 22 (6): 125-145.

Guille A., 1970a. Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française. II : les communautés de la macrofaune. *Vie et Milieu* XXI (1 B): 149-280.

Guille A., 1970b. Les communautés benthiques des substrats meubles du plateau continental au large de Banyuls-sur-Mer. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 270: 189-192.

Guillou J., 1980. Les peuplements de sables fins du littoral nord-Gascogne. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 209 p.

Guillou J., 1982. Variabilité des populations de *Donax trunculus* et *Donax vittatus* en baie de Douarnenez. *Netherlands Journal of Sea Research* 16: 88-95.

Guillou J., 1984. Population dynamics of *Echinocardium cordatum* (Pennant) in the bay of Douarnenez (Brittany). *Fifth International Echinoderm Conference*, Galway: 275-280.

Guillou J., 1985a. Aspects de la variabilité des populations de la macrofaune des sables fins en baie de Douarnenez. *Océanis* 11 (3): 243-252.

Guillou J. et Y. Le Moal, 1978. Variabilité spatio-temporelle des populations de *Donax* en baie de Douarnenez. *Haliotis* 9 (1): 77-80.

Guillou J. et R. Robert, 1979. Principaux aspects de la dynamique d'une population d' *Ophiura texturata* en Baie de Douarnenez. *Colloque européen sur les Echinodermes*, Bruxelles: 171-177.

Guillou J. et Y. Le Moal, 1980. Aspects de la dynamique des populations de *Donax vittatus* et *Donax trunculus* en baie de Douarnenez. *Annales de l'Institut océanographique* 56 (1): 55-64.

Guillou J. et P.G. Sauriau, 1985. Some observations on the biology and the ecology of a *Venus striatula* population in the bay of Douarnenez, Brittany. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 65: 889-900.

Guillou M., 1981. Les populations d'*Asterias rubens* L. (Echinodermata : Asteroidea) en baie de Douarnenez (Finistère). Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 122 p.

Guillou M., 1983. La croissance d'*Asterias rubens* L. (Echinodermata Asteroidea) en baie de Douarnenez (Finistère). *Annales de l'Institut océanographique* 59 (2): 141-154.

Guillou M., 1985b. Dynamique des populations d'étoiles de mer en baie de Douarnenez (Finistère). *Océanis* 11 (3): 253-261.

Guillou M., 1990. Biotic interactions between predators and super-predators in the bay of Douarnenez, Brittany. *24th European Marine Biology Symposium*: 141-156.

Guillou M., 1996. Biotic and abiotic interactions controlling starfish outbreaks in the bay of Douarnenez, Brittany, France. *Oceanologica Acta* 19 (3-4): 415-420.

Guillou M. et A. Guillaumin, 1984. Variations in the growth rate of *Asterias rubens* (L.) from west and south Brittany. *Fifth International Echinoderm Conference*, Galway: 513-521.

Hallegouët B., 1982a. Géomorphologie de l'archipel de Molène. *Penn Ar Bed* 110: 83-97.

Hallegouët B., 1982b. L'archipel de Molène. *Penn Ar Bed* 110: 79-82.

Hallegouët B., 1984. Contribution à l'étude géomorphologique de l'archipel de Molène. *107ème Congrès National Soc. Sav.*, Brest: 61-77.

Hallegouët B., 1993. Elaboration des paysages armoricains : rôle des données structurales et de l'évolution géomorphologique. *Penn Ar Bed* 148/149: 18-31.

Hallegouët B. et A. Hénaff, 1995. L'engraissement des plages de l'anse de Dinan, à l'ouest de la presqu'île de Crozon. *Norois. Poitiers* 42 (165): 131-152.

Halpern B.S. et R.R. Warner, 2002. Marine reserves have rapid and lasting effects. *Ecology Letters* 5: 361-366.

Harmelin J.-G., 2000. Mediterranean marine protected areas : some prominent traits and promising trends. *Environmental Conservation* 27 (2): 104-105.

Harmelin-Vivien M.L. et P. Francour, 1992. Trawling or visual censuses? Methodological bias in the assessment of fish populations in Seagrass beds. *Marine Ecology* 13 (1): 41-51.

Hénaff A., 1998. Morphologie dynamique et budget sédimentaire des estrans meubles de la façade occidentale de la presqu'île de Crozon, de l'anse de Combrit et de l'anse du Pouldu. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 441 p.

Hénaff A. et J.-C. Bodéré, 1999. Modifications récentes des apports biodétritiques littoraux : conséquence sur le budget sédimentaire des estrans sableux du Massif Armoricain. *Revue de Géographie de Lyon*.

Heywood V.H. et R.T. Watson ed, 1995. Global Biodiversity Assessment. Cambridge, Cambridge University Press: 1140 p.

Hily C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hyper-trophiques de la rade de Brest. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne occidentale: 359 p. (+ annexes).

Hily C., 1989. La mégafaune benthique des fonds meubles de la rade de Brest : pré-échantillonnage par vidéo sous-marine. *Cahiers de Biologie Marine* 30: 433-454.

Hily C. et F. Jean, 1997. Macrobenthic biodiversity in intertidal habitats of the Iroise Biosphere Reserve (Brittany, France). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 77: 311-323.

Hily C. et M. Bouteille, 1999. Modifications of the specific diversity and feeding guilds in an intertidal sediment colonized by an eelgrass meadow (*Zostera marina*) (Brittany, France). *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie/Life Sciences* 322: 1121-1131.

Hily C., J.-P. Girardot et B. Quéguiner, 1988. Rythme tidal d'activité trophique d'*Ophiothrix fragilis* en rade de Brest. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. Paris* 307 (III): 265-270.

Hily C., C. Raffin et S. Connan, 1999. Les herbiers de zonstères en Bretagne. Inventaire des sites, faune et flore. UBO, DIREN, Conseil Régional de Bretagne, Brest: 57 p.

Hily C., C. Raffin, A. Brun et C. Den Hartog, 2002. Spatio-temporal variability of wasting disease symptoms in eelgrass meadows of Brittany (France). *Aquatic Botany* 72: 37-53.

Hinschberger F., 1962a. Les hauts fonds sableux de l'Iroise et leurs rapports avec les courants de marée. *Bulletin du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, section de géographie* 75: 53-80.

Hinschberger F., 1962b. Résultats de 14 stations hydroloqiques dans l'Iroise et à ses abords. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. Paris* 255: 2629-2631.

Hinschberger F., 1963. Un problème de morphologie sous-marine: la fosse d'Ouessant. *Norois* 10 (39): 217-233.

Hinschberger F., 1970. L'Iroise et les abords d'Ouessant et de Sein. Etude morphologique et de sédimentologie sous-marines. Thèse de doctorat d'état, Université de Caen: 309 p.

Hinschberger F. et A. Guilcher, 1962. Les bancs de sable sous-marins des abords d'Ouessant et de la chaussée de Sein (Finistère). *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. Paris* 254 (58): 4065-4067.

Hinschberger F. et J.P. Corlay, 1967. Reconstitution d'un réseau hydrographique immergé autour d'Ouessant et du plateau de Molène (Finistère). *Norois* 14 (56): 569-584.

Hinschberger F. et R.B. Pauvret, 1968. Les fonds sous-marins de l'Iroise et de la baie de Douarnenez (Finistère): reconstitution d'un réseau hydrologique immergé. *Norois* 15 (58): 213-225.

Hinschberger F., A. Saint-Requier et A. Toulemont, 1967. Recherches sédimentologiques et écologiques sur les fonds sous-marins dans les parages de la chaussée de Sein (Finistère). *Revue des travaux de l'Institut des Sciences et Techniques des Pêches Maritimes* 31 (4): 425-448.

Hinschberger F., A. Guilcher, M. Pruleau, A. Moign et Y. Moign, 1968. Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France - Feuille de Brest. 1/100 000, DGRST, CNEXO, IGN.

Hockings M., A. White, M. Polino, L. Pet-Soede, R. Pollnac, L. Garbutt, P. Hoetjes et M. Van Der Velde, 2001. Paper parks : why they happen and what can be done to change them. *MPA News* 2 (11): 1-4.

Holligan P.M., P.J. Williams, D. Purdie et R.P. Harris, 1984. Photosynthesis, respiration and nitrogen supply of plankton populations in stratified, frontal and tidally mixed shelf waters. *Marine Ecology Progress Series* 17: 201-213.

Holme N.A., 1984. Fluctuations of *Ophiothrix fragilis* in the western english Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 64: 351-378.

Holthus P.F. et J.E. Maragos, 1995. Marine ecosystem for the tropical island Pacific. Dans *Marine and coastal biodiversity in the Tropical Island Pacific Region. Volume 1 : species systématics and information management priorities* (Maragos, Petersen, Eldredge, Bardach et Takeuchi, eds): pp. 239-278.

Howson C.M. et B.E. Picton ed, 1997. The species directory of the marine fauna and flora of the British Isles and surrounding seas. The Ulster Museum, The Marine Conservation Society: 508 p.

Huet M., Y.-M. Paulet et M. Glémarec, 1996. Tributyltin (TBT) pollution in the coastal waters of West Brittany indicated by imposex in *Nucella lapillus*. *Marine Environmental Research* 41 (2): 157-167.

Hussenot E., 1980. Le grand dauphin *Tursiops truncatus* en Bretagne : types de fréquentation. *Penn Ar Bed* 12 (103): 355-380.

Idechong N.T. et T. Graham, 1998. The Ngerukewid Islands of Palau : 40 years of managing a marine protected area. *Parks* 8 (2): 17-22.

INSEE, 1990 à 2000. Tableaux de l'économie bretonne. Rennes: 166 p. (annuel).

Irlandi E.A., W.G. Ambrose, Jr et B.A. Orlando, 1995. Lanscape ecology and the marine environment: how spatial configuration of seagrass habitat influences growth and survival of the bay scallop. *Oikos* 72: 307-313.

Ives A.R., J.L. Klug et K. Gross, 2000. Stability and species richness in complex communities. *Ecology Letters* 3: 399-411.

Jacobi C.M. et R. Langevin, 1996. Habitat geometry of benthic substrata: effects on arrival and settlement of mobile fauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 206: 39-54.

Jangoux M., 1982. Food and feeding mechanisms : Asteroidea. Dans *Echinoderm Nutrition* (Jangoux M. et J. M. Lawrence, eds), A.A. Balkema: pp. 117-159.

Jean F., C. Guinet et C. Hily, 1993. Réserve de la Biosphère d'Iroise : inventaire quantitatif de la macrofaune intertidale. UBO, Parc Naturel Régional d'Armorique: 65 p.

Johnson K.H., K.A. Vogt, H.J. Clark, O.J. Schmitz et D.J. Vogt, 1996. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 11 (9): 372-377.

Jones P.J.S., 2002. Marine protected area strategies : issues, divergences and search for middle ground. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 197-216.

Jonsson M. et B. Malmqvist, 2003. Mechanisms behind positive diversity effects on ecosystem functioning : testing the facilitation and interference hypotheses. *Ecosystems Ecology* 134: 554-559.

Josefson A.B. et D.J. Conley, 1997. Benthic response to a pelagic front. *Marine Ecology Progress Series* 147: 49-62.

Juanes F., 2001. Mediterranean marine protected areas. *Trends in Ecology and Evolution* 16 (4): 169-170.

Judas A., 1998. Impact écologique de la ferme aquacole marine Elsamer sur le site de Camaret. Ecosystem-U.B.O., Brest: 19 p.

Kaiser M.J. et S.J. De Groot, 1999. Effects of fishing on non-target species and habitats. Biological, conservation and socio-economic issues. Blackwell Science: 399 p.

Kelleher G., C. Bleakley et S. Wells ed, 1995. A global representative system of marine protected areas. I-IVs I-IV, Washington, DC, GBRMPA/World Bank/IUCN.

King M. et U. Faasili, 1998. A network of small, community-owned village fish reserves in Samoa. *Parks* 8 (2): 11-16.

Kinne O., 2002. Revisiting eco-ethics and econ-ethics. *Ethics in Science and Environmental Politics*: 88-89.

Lafargue F., 1967. Les peuplements sessiles de l'infralittoral de l'archipel de Glénan. Anthozoaires et Ascidies. Thèse de doctorat de 3ème cycle.

Lafontaine L., 1986. Présence historique de la loutre sur les côtes bretonnes. SEPNB, World Wildlife Fund: 52 p.

Lambshead P.J.D., 1986. Sub-catastrophic sewage and industrial waste contamination as revealed by marine nematode faunal analysis. *Marine Ecology Progress Series* 29: 247-260.

Latrouite D. et D. Le Foll, 1989. Données sur les migrations des crabes tourteau *Cancer pagurus* et araignées de mer *Maja squinado*. *Océanis* 15 (2): 133-142.

Lauck T., C.W. Clark, M. Mangel et G.R. Munro, 1998. Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves. *Ecological Applications* 8 (1): S72-S78.

Le Berre I., 1999. Mise au point de méthodes d'analyse et de représentation des interactions complexes en milieu littoral. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 236 p.

Le Bris H., 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale: 311 p.

Le Corre P., S. L'helguen et M. Wafar, 1993. Nitrogen source for uptake by *Gyrodinium* cf. *aureolum* in a tidal front. *Limnology and Oceanography* 38 (2): 446-451.

Le Corre P., M. Wafar, S. L'helguen et J.-F. Maguer, 1996. Ammonium assimilation and regeneration by size-fractionated plankton in permanently well-mixed temperate waters. *Journal of Plankton Research* 18 (3): 355-370.

Le Danois E., 1948. Les profondeurs de la mer. 303 p.

Le Duff M., 1997. Cinétique de l'ovogenèse et stratégies de ponte chez les poissons Téléostéens en milieu tempérés. Thèse de doctorat d'université, Université de Bretagne Occidentale: 170 p.

Le Duff M. et C. Hily, 1999a. Environnement naturel de l'Iroise. Bilan des connaissances et intérêt patrimonial. Groupe de travail scientifique pour la mise en place du parc national marin d'Iroise, DIREN, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Brest: 79 p.

Le Duff M. et C. Hily, 1999b. Environnement naturel de l'Iroise. Bilan des connaissances et intérêt patrimonial. Rapport de synthèse. Groupe de travail scientifique pour la mise en place du parc national marin d'Iroise, DIREN, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Brest: 20 p.

Le Fèvre J., 1986. Aspects of the biology of frontal systems. *Adv. Mer. Biol.* 23: 163-299.

Le Fèvre J., P. Le Corre, P. Morin et J.-L. Birrien, 1983. The pelagic ecosystem in frontal zones and other environments off tne West coast of Brittany. *17ème Symposium Européen de Biologie Marine*, Brest, Oceanologica Acta: 125-129.

Le Foll A., 1982. La pêcherie du tourteau *Cancer pagurus* sur les côtes de Bretagne sud : déplacements, croissance, reproduction. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale.

Le Foll D., 1993. Biologie et exploitation de l'araignée de mer *Maja squinado* herbst en Manche Ouest. Thèse de doctorat d'université, Université de Bretagne Occidentale: 517 p.

Le Hir M., 1999. Etude sur la diversité biologique de l'écosystème intertidal de l'île de Sein. UBO, IUEM, CROEMI, Brest: 27 p.

Le Hir M., 2002. Les champs de blocs intertidaux à la pointe de la Bretagne (France). Biodiversité, structure et dynamique de la macrofaune. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 214 p.

Le Hir M. et C. Hily, 1997. Fonction écologique de la zone intertidale de la réserve de biosphère d'Iroise : rôle dans le cycle biologique des crabes exploités et projet pédagogique. Université de Bretagne Occidentale, DIREN Bretagne, CROEMI, Brest: 25 p.

Le Moal G., 1996. Variations interannuelles et saisonnières de l'utilisation de l'espace par les grands dauphins de l'archipel de Molène. Brest: 25 p.

Le Moal Y., 1993. Variabilité spatio-temporelle interannuelle des populations de *Donax* en baie de Douarnenez. *Bulletin d'Ecologie* 24 (2-3-4): 75-77.

Le Tixerant M., 2000. Représentation logique et spatiale de la réglementation des pêches en mer d'Iroise. UBO, IUEM, Brest: 59 p. (+ cartes).

Levin S.A., 1997. Human perspectives on the environment. *Trends in Ecology and Evolution* 12 (3): 91-92.

L'Helguen S., P. Morin, P. Le Corre, C. Salaün, J. Le Fèvre, J.Y. Le Tareau et R. Mazé, 1993. Frontal ecosystems: physical control of the C and N fluxes. *Annales de l'Institut océanographique* 69 (1): 95-99.

Lindeboom H.J. et S.J. De Groot ed, 1998. The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic ecosystems. Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ): 404 p.

Liret C., 2001. Les grands dauphins *Tursiops truncatus* de l'île de Sein. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 155 p.

Liret C., P. Creton et V. Ridoux, 1995. Seasonal variations in habitat use and activity budget by resident bottlenose dolphins at île de Sein, France. *European Research on Cetaceans* 9: 146-149.

Liret C., P. Creton, G. Le Moal et V. Ridoux, 1996. Dolphin home range and reserve zonation : do we need field studies to define management policy ? *European Research on Cetaceans* 10: 15-19.

Liret C., P. Creton, C. Guinet et V. Ridoux, 1997. Les grands dauphins de l'île de Sein. *Penn Ar Bed* 157-158: 35-44.

Lubchenco J., 1995. The role of Science in formulating a biodiversity strategy. *Bioscience* supplement: 7-9.

Lünning K., 1990. Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology. John Wiley & Sons, Inc.: 527 p.

Maguer J.-F., P. Le Corre et S. L'helguen, 1996a. Sources d'azote pour le phytoplancton dans le système brassé peu profond de la Manche Occidentale. Importance de la production régénérée: bilan annuel. *Journal de la Recherche Océanographique* 21 (3 et 4): 103-108.

Maguer J.-F., P. Le Corre et C. Madec, 1996b. Variations saisonnières de l'absorption de l'azote dans un système brassé peu profond (Manche occidentale). *Oceanologica Acta* 19 (5): 529-537.

Mangel M., 1998. No-take areas for sustainability of harvested species and a conservation invariant for marine reserves. *Ecology Letters* 1: 87-90.

Mangel M., 2000a. On the fraction of habitat allocated to marine reserves. *Ecology Letters* 3: 15-22.

Mangel M., 2000b. Irreductible uncertainties, sustainable fisheries and marine reserves. *Evolutionary Ecology Research* 2: 547-557.

Manzanera M., M. Pérez et J. Romero, 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation* 4: 67-70.

Marec A. et F. Hinschberger, 1975. Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France - Feuille de Plabennec. 1/100 000, DGRST, CNEXO, IGN.

Mariette V., 1983. Effets des échanges atmosphériques sur la structure thermique marine: application à des zones du large et à une zone côtière. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 282 p.

Mariette V. et B. Le Cann, 1985. Simulation of the formation of Ushant thermal front. *Continental Shelf Research* 4 (6): 637-660.

Mariette V., V. Verbeque et G. Rougier, 1985. Circulation résiduelle et zone frontale dans le domaine côtier. *Colloque d'océanographie spatiale*, Ifremer-Brest.

Mariette V., G. Rougier, J.C. Salomon et B. Simon, 1982. Courants de marée en mer d'Iroise. *Oceanologica Acta* 5: 149-159.

May R.M., 1988. How many species are there on earth ? *Science* 241: 1441-1449.

May R.M., 1994. Biological diversity : differences between land and sea. *Phil. Trans. of the Royal Society of London B.* 343: 105-111.

Mc Clanahan T.R. et S. Mangi, 2000. Spillover of exploitable fishes from a marine park and its effect on the adjacent fishery. *Ecological Applications* 10 (6): 1792-1805.

Mc Neill S.E. et P.G. Fairweather, 1993. Single large or several small marine reserves ? An experimental approach with seagrass fauna. *Journal of Biogeography* 20: 429-440.

Menesguen A., 1980. La macrofaune benthique de la baie de Concarneau : peuplements, dynamique de populations, prédation exercée par les poissons. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 127 p.

MICROMER, 1994. Compte rendu des études menées sur le site aquacole de Camaret. Ifremer: 37 p.

Mojetta A., M. Rudd, P. Murray et M. Geitz, 2001. MPAs and tourism : stakeholders work to build a productive relationship. *MPA News* 2 (9): 1-3.

Monbet Y., 1972. Etude bionomique du plateau continental au large d'Arcachon (application de l'analyse factorielle). Thèse de 3ème cycle, Université de Marseille: 95 p.

Morin P., 1984. Evolution des éléments nutritifs dans les systèmes frontaux de l'Iroise : assimilation et régénération ; relation avec les structure hydrologiques et les cycles de développement du plancton. Thèse de doctorat de spécialité, Université de Bretagne Occidentale: 220 p.

Morin P. et P. Le Corre, 1985. Assimilation and regeneration of nutrients off the west coast of Brittany. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 65: 677-695.

Morin P., J.-L. Birrien et P. Le Corre, 1989. The frontal systems in the Iroise Sea: development of *Gyrodinium aureolum* Hulburt on the inner front. *Scient. Mar.* 53 (2-3): 215-221.

Morin P., M.V.M. Wafar et P. Le Corre, 1993. Estimation of nitrate flux in a tidal front from satellite-derived temperature data. *Journal of Geophysical Research* 98 (C3): 4689-4695.

Morin P., O. Conan et P. Le Corre, 1994. Fronts thermiques de marée: cas des fronts de Manche Occidentale et de la mer Celtique. *Océanis* 20 (6): 21-43.

Morin P., P. Le Corre, Y. Marty et S. L'helguen, 1991. Evolution printanière des éléments nutritifs et du phytoplancton sur le plateau continental armoricain (Europe du Nord-Ouest). *Oceanologica Acta* 14 (3): 263-279.

Moss D. et C.E. Davies, 2002. Cross-references between the EUNIS habitat classification and habitats included on Annex I of the EC Habitats Directive (92/43/EEC). EEA, ETCNPB, CEH, NERC: 69 p.

Mouillot D., J.-M. Culioli et T. Do Chi, 2002. Indicator species analysis as a test of non-random distribution of species in the context of marine protected areas. *Environmental Conservation* 29 (3): 385-390.

Mumby P.J., 2001. Beta and habitat diversity in marine systems : a new approach to measurement, scaling and interpretation. *Oecologia* 128: 274-280.

Murray S.N., T. Gibson Denis, J.S. Kido et J.R. Smith, 1999a. Human visitation and the frequency and potential effects of collecting on rocky intertidal populations in southern California marine reserves. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 40: 100-106.

Murray S.N., R.F. Ambrose, J.A. Bohnsack, L.W. Botsford, M.H. Carr, G.E. Davis, P.K. Dayton, D. Gotshall, D.R. Gunderson, M.A. Hixon, J. Lubchenco, M. Mangel, A. Maccall, D.A. Mcardle, J.C. Ogden, J. Roughgarden, R.M. Starr, M.J. Tegner et M.M. Yoklavich, 1999b. No-take reserve networks : sustaining fishery populations and marine ecosystems. *Fisheries* 24: 11-25.

Muxart T. et F.-D. Vivien, 2002. Les recherches en environnement au CNRS : quelle interdisciplinarité veut-on ? *Nature, Sciences, Sociétés* 10 (1): 66-67.

Naeem S., L.J. Thompson, S.P. Lawler, J.H. Lawton et R.M. Woodfin, 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368: 734-737.

NCEAS, 2001. Scientific Consensus Statement on Marine Reserves and Marine Protected Areas. http://www.nceas.ucsb.edu.

NCI, 2000. NCI fact sheet. http://www.oncolink.upenn.edu.

NOAA, 1998. Ensuring the sustainability of ocean livilg resources. *International Year of the Ocean*, http://www.yoto98.noaa.gov: 47 p.

Offredo C., 1999. Nos oiseaux de mer. Penn Ar Bed, SEPNB: 153 p.

Olesen B. et K. Sand-Jensen, 1994. Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations - shoot dynamics and biomass development. *Journal of Ecology* 82: 379-390.

Palmer M.A., J.D. Allan et C.A. Butman, 1996. Dispersal as a regional process affecting the local dynamics of marine and stream benthic invertebrates. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 322-326.

Pérès J.M., 1967. Les biocoenoses benthiques dans le système phytal. *Recueil des travaux de la station marine d'Endoume* 42: 3-113.

Picard J., 1965. Recherches qualitatives sur les biocoenoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Recueil des travaux de la station marine d'Endoume* 52 (36): 1-158.

Pielou E.C., 1966. Shannon's formula as a measure of specific diversity : its use and measure. *American Naturalist* 100: 463-465.

Pinnegar J.K., N.V.C. Polunin, P. Francour, F. Badalamenti, R. Chemello, M.-L. Harmelin-Vivien, B. Hereu, M. Milazzo, M. Zabala, G. D'anna et C. Pipitone, 2000. Trophic cascades in benthic marine ecosystems : lessons for fisheries and protected-area management. *Environmental Conservation* 27 (2): 179-200.

Pinot J.P., 1974. Le précontinent Breton entre Penmarc'h, Belle-Ile et l'escarpement continental. Thèse de doctorat d'état, Université de Brest: 256 p.

Pinot J.P., 1994. Manipulations sédimentologiques courantes. Cours de géographie de la mer. Université de Bretagne Occidentale: 118 p.

Pinot J.P. et J.R. Vanney, 1972. Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France - Feuille de Lorient. 1/100 000, IGN, CNEXO.

Pinot J.-P., 1997. Une biocénose menacée par la surexploitation : le maërl, cas de la baie de Concarneau. Dans *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives* (Dauvin J.-C. (ed), Museum National d'Histoire Naturelle : pp. 149-158.

Piriou J.-Y., 1987. Cartographie de la végétation marine surle littoral bas-léonard. Ifremer, Brest: 48 p.

Planes S., R. Galzin, A. Garcia Rubies, R. Goni, J.-G. Harmelin, L. Le Direach, P. Lenfant et A. Quetglas, 2000. Effects of marine protected areas on recruitment processes with special reference to Mediterranean littoral ecosystems. *Environmental Conservation* 27 (2): 126-143.

Polacheck T., 1990. Year around closed areas as a management tool. *Natural Resource Modeling* 4 (3): 327-354.

Potin P., J.-Y. Floc'h, C. Augris et J. Cabioc'h, 1990. Annual growth rate of the calcareous red algua *Lithothamnion corallioides* in the bay of Brest. *Hydrobiologica* 204/205: 263-267.

Power M.E., D. Tilman, J.A. Estes, B.A. Menge, W.J. Bond, L.S. Mills, G. Daily, J.C. Castilla, J. Lubchenco et R.T. Paine, 1996. Challenges in the quest for keystones. *Bioscience* 46 (8): 609-620.

Prenant M., 1939. Etudes de biologie intercotidale. La baie de Douarnenez et ses abords. *Bulletin de Biologie, France-Belgique*: 451-476.

Prenant M., 1963. Etudes écologiques sur les sables intercotidaux. II : distribution des granulométries sur les plages bretonnes exposées au large. *Cahiers de Biologie Marine* 4 (4): 353-497.

Prendergast J.R., R.M. Quinn, J.H. Lawton, E.B. C. et D.W. Gibbons, 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature* 365: 335-337.

Qinghong L., 1995. A model for species diversity monitoring at community level and its applications. *Environmental Monitoring and Assessment* 34: 271-287.

Quiniou L., 1978. Les poissons démerseaux de la baie de Douarnenez. Alimentation et écologie. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale: 222 p.

Quiniou L., 1986. Les peuplements de poissons démerseaux de la pointe de la Bretagne. Environnement, écologie, structure démographique, relations trophiques. Thèse de doctorat d'état, Université de Bretagne Occidentale: 350 p.

Quiniou L. et C. Déniel, 1985. Les poissons benthiques de la baie de Douarnenez, de la rade de Brest et de l'Iroise. *Océanis* 11 (3): 277-286.

Quiniou-Le Mot F. et L. Quiniou, 1977. Les espèces de poissons chalutées en baie de Douarnenez. Importance, répartition géographique. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 41 (1): 93-105.

Raillard J., 1976. Quelques aspects de la structure thermique sur le plateau continental breton. *Annales d'Hydrologie*: 11-30.

Ramos Espla A.A., A.M. Seva, J.L. Sanchez Lizaso et J.T. Bayle, 1997. Megabenthos asociado a dos praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 del sureste ibérico con diferente grado de conservacion. *Publicaciones Especiales Instituto Espanol de Oceanografia* 23: 265-271.

Ramos M.A., J.M. Lobo et M. Esteban, 2001. Ten years inventorying the Iberian fauna : results and perspectives. *Biodiversity and Conservation* 10: 19-28.

Reid W.V., 1998. Biodiversity hotspots. *Trends in Ecology and Evolution* 13 (7): 275-280.

Richer De Forges B., 1998. La diversité du benthos marin de Nouvelle-Calédonie : de l'espèce à la notion de patrimoine. Thèse de doctorat, Museum National d'Histoire Naturelle: 326 p.

Ricklefs R.E., 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235: 167-171.

Ridoux V., C. Guinet, C. Carcaillet et P. Creton, 1994. Réserve de Biosphère de la mer d'Iroise : utilisation de l'espace par les mammifères marins et propositions de zonage. MAB UNESCO, Conseil Général du Finistère, UBO, Océanopolis, Brest.

Robequain C., 1935. Les côtes d'Ouessant. *A.F.A.S.*, Nantes: 557-560.

Roberts C.M., 1995. Rapid build-up of fish biomass in a Caribbean marine reserve. *Conservation Biology* 9 (4): 815-826.

Roberts C.M., J.A. Bohnsack, F. Gell, J.P. Hawkins et R. Goodridge, 2001. Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science* 294: 1920-1923.

Rodriguez A., 1996a. Les soles poles *Solea lascaris* et *Solea impar* à la pointe de la Bretagne. Reproduction, croissance, alimentation. Thèse de doctorat d'université, Université de Bretagne Occidentale: 264 p.

Rodriguez A., 1996b. Régime alimentaire de deux Soleidae, *Solea lascaris* et *Solea impar* de la côte ouest de Bretagne. *Cybium* 20 (3): 261-277.

Russ G.R. et A.C. Alcala, 1998. Natural fishing experiments in marine reserves 1983-1993 : community and trophic responses. *Coral reefs* 17: 383-397.

S.A.U.M., 1980. S.A.U.M. de la rade de Brest. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Ministère des transports, DDE du Finistère, Brest: 197 p. + 3 cartes.

SAFI, 1999. Etude économique des activités liées à la mer d'Iroise. Partie 2 : Activités terrestres, activités de loisirs et professionnelles maritimes. ADEUPa de Brest, SAFI, Portances Conseils, Brest: 66 p.

Saint-Requier A., 1970. Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France - Feuille de Pont Croix. 1/100 000, DGRST, CNEXO, IGN.

Sanchez-Jerez P. et A.A. Ramos Espla, 1996. Detection of environmental impacts by bottom trawling on *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows : sensitivity of fish and macroinvertebrate communities. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 5: 239-253.

Schaeffer T.N., M.S. Foster, M.E. Landrau et R.K. Walder, 1999. Diver disturbance in kelp forests. *California Fish and Game* 85 (4): 170-176.

Shepard F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. sediment. Petrol.* 24: 151-158.

SHOM, 1994. Courants de marée de la côte ouest de Bretagne : de Goulven à Penmarc'h. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine: 44 p.

SHOM, 1996. Nature des fonds de la Chaussée de Sein à la Pointe de Penmarc'h, baie d'Audierne. 1/50 000, EPSHOM.

SHOM, 1998. Annuaire des marées, tome 1 : ports de France. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine: 192 p.

Short F.T. et S. Wyllie-Echeverria, 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation* 23 (1): 17-27.

Short F.T., B.W. Ibelings et C.D. Hartog, 1988. Comparison of a current eelgrass disease to the wasting disease in the 1930s. *Aquatic Botany* 30: 295-304.

Snelgrove P.V.R., 1998. The biodiversity of macrofaunal organisms in marine sediments. *Biodiversity and Conservation* 7: 1123-1132.

Steele J.H., 1985. A comparison of terrestrial and marine ecological systems. *Nature* 313: 355-358.

Steneck R.S., 1998. Human influences on coastal ecosystems : does overfishing create trophic cascades? *Trends in Ecology and Evolution* 13: 429-430.

Stork N.E., 1994. Inventories of biodiversity : more than a question of numbers. Dans *Systematics and Conservation Evaluation* (Forey P. L., C. J. Humphries et R. I. Vane-Wright, eds), Clarendon Press: pp. 81-100.

Tasker M.L., P.A. Knapman et D. Laffoley, 1999. Effects of fishing on non-target species and habitats : identifying key nature conservation issues. Dans *Effects of fishing on non-target species and habitats. Biological, conservation and socio-economic issues* (Kaiser M. J. et S. J. de Groot, eds), Blackwell Science: pp. 281-289.

Terlizzi A., S. Fraschetti, P. Guidetti et F. Boero, 2002. The effects of sewage discharge on shallow hard substrate sessile assemblages. *Marine Pollution Bulletin* 44: 544-550.

Thouzeau G. et M. Glémarec, 1984. Impacts prévisibles de l'implantation du port du Stiff (Ouessant) sur la biologie marine. UBO, DDE Finistère, Brest: 25 p.

Thrush S.F. et P.K. Dayton, 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging : implications for marine biodiversity. *Annual Review of Ecological Systems* 33: 449-473.

Tilman D., 1999. The ecological consequences of changes in biodiversity : a search for general principles. *Ecology* 80 (5): 1455-1474.

Toulemont A., 1972. Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques. Baies de Douarnenez et d'Audierne (Ouest-Finistère). *Cahiers de Biologie Marine* XIII: 91-136.

Toulmond A., 1964. Les Amphipodes des faciès sableux intertidaux de Roscoff. Aperçus faunistiques et écologiques. *Cahiers de Biologie Marine* 5: 319-342.

Toulmond A. et J.P. Truchot, 1964. Inventaire de la faune marine de Roscoff. Amphipodes et Cumacés. *Travaux de la Station biologique de Roscoff* 15: 1-42.

Tuck G.N. et H.P. Possingham, 2000. Marine protected areas for spatially structured exploited stocks. *Marine Ecology Progress Series* 192: 89-101.

Underwood A.J., 1997. Experiments in ecology : their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press: 504 p.

UNEP-CBD, 2000. Review of existing instruments relevant to integrated marine and coastal area management and their implications for the implementation of the Convention on Biological Diversity. *Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*, Nairobi, Kenya, United Nations Environment Programme, UNESCO: 12 p.

UNEP-CBD, 2001a. The value and effects of Marine and Coastal Protected Areas (MCPAs) on marine and coastal biological diversity : a review of available information. *First Meeting of the Ad Hoc Technical Expert Group on Marine and Coastal Protected Areas*, Leigh, New Zealand, United Nations Environment Programme, UNESCO: 35 p.

UNEP-CBD, 2001b. The role of protected areas within the COnvention on biological diversity. *First Meeting of the Ad Hoc Technical Expert Group on Marine and Coastal Protected Areas*, Leigh, New Zealand, United Nations Environment Programme UNESCO: 13 p.

Ursin E., 1960. A quantitative investigation of the echinoderm fauna of the central North sea. *Meddelelser fra Kommissionen for Havundersogelser, Kobenhavn* N.S. (2): 1-204.

Van Der Meer J., 1997. Sampling design of monitoring programmes for marine benthos: a comparison between the use of fixed versus randomly selected stations. *Journal of Sea Research* 37: 167-179.

Vanney J.R., 1968. Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France - Feuille de Saint-Nazaire. 1/100 000, IGN.

Vannuccini S., 2003. Overview of fish production, utilization, consumption and trade (based on data 2001). FAO, Fishery Information, Data and Statistics Unit, Rome: 18 p.

Videau, 1987. Primary production and physiological state of phytoplankton at the Ushant tidal front (West Coast of Brittany, France). *Marine Ecology Progress Series* 35: 141-151.

Vincent C., 2001. Bases écologiques de la conservation du phoque gris *Halichoerus grypus* en mer d'Iroise. Thèse de doctorat d'université, Université de Bretagne Occidentale: 215 p.

Vincent C., L. Meunier, V. Ridoux et P. Yésou, 1999. Photo-identification des phoques gris de l'archipel de Molène. *Bulletin mensuel de l'ONC* 243: 30-35.

Vitousek P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco et J.M. Melillo, 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.

Walls K., 1998. Leigh Marine Reserve, New Zealand. *Parks* 8 (2): 5-10.

Webster P.J., A.A. Rowden et M.J. Attrill, 1998. Effect of shoot density on the infaunal macro-invertebrate community within a *Zostera marina* seagrass bed. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47: 351-357.

Zaniewski A.E., A. Lehmann et J.M. Overton, 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data : a case of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling* 157: 261-280.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADMS : Association de Découverte du Monde Sous-marin

BDBS : Base de Donnée Bathymétrique du SHOM

BIG : Base d'Information Géographique

CAAM : Centre Administratif des Affaires Maritimes

CELRL ou CEL : Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres, appelé aussi Conservatoire de l'Espace Littoral

CITES : *Convention of the International Trade in Endangered Species*

CMS : Convention on Migratory Species

COI : Commission de l'Océan Indien

CRPCM : Comité Régional des Pêches et Cultures Maritimes

CRPMEM : Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins

DDAM : Direction Départementale des Affaires Maritimes

DDE : Direction Départementale de l'Équipement

DIREN : DIrection Régionale de l'ENvironnement

DPM : Domaine Public Maritime

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche

EEA : *European Environment Agency*

EPSHOM : Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

FAO : *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FFESSM : Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins

GESAMP : *Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection*

GPS : Géo Positionnement par Satellite

IAEA : International Atomic Energy Agency = Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA)

ICES : *International Council for the Exploration of the Sea*

IGN : Institut Géographique National

IMCAM : *Integrated Marine and Coastal Area Management*

IMO : *International Maritime Organization*

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

IOC : *Intergovernmental Oceanographic Commission*

IUCN : *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* = Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN)

J.O. : Journal Officiel

MAB : *Man And Biosphere*

NCEAS : *National Center for Ecological Analysis and Synthesis*, signataire du *Scientific Consensus Statement on Marine Reserves and Marine Protected Areas*

NCI : *National Cancer Institute*

NRC : *National Research Council*

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAME : Protection of the Arctic Marine Environment

PME : Permis de Mise en Exploitation

PNMI : Parc National Marin de la mer d'Iroise

PNRA : Parc Naturel Régional d'Armorique

POP : Programme d'Orientation Pluriannuel

POS : Plan d'Occupation des Sols

SAGE : Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SEPNB : Société pour l'Étude et la Protection de la Nature en Bretagne, actuellement Bretagne Vivante

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIG : Système d'Information Géographique

SMVM : Schéma de Mise en Valeur de la Mer

SPAW : *Specially Protected Areas and Wildlife*

UN : *United Nations*

UNEP : *United Nations Environment Programme*

UNESCO : *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

US NOAA : *United States National Oceanographic and Atmospheric Administration*

WCMC : *World Conservation Monitoring Center*

WCU : *World Conservation Union* = Union Mondiale pour la Nature

WHO : *World Health Organisation* = Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

WMO : *World Meteorological Organization* = Organisation Météorologique Mondiale (OMM)

ZEE : Zone Économique Exclusive

ZICO : Zone d'Intérêt pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Écologiques, Faunistique et Floristique

ANNEXES

ANNEXE A

Courbes granulométriques des échantillons de sédiments prélevés à la benne Hamon

ANNEXE B

Présence des espèces (densités / m²) aux différents niveaux bathymétriques. Tableaux comparatifs

ANNEXE C

Coefficients de présence des espèces de mégafaune et macrofaune dans les différents habitats (prélèvements non quantitatifs)

ANNEXE D

Inerties relatives et cosinus carrés des lignes et des colonnes pour les Analyses Factorielles des Correspondances

ANNEXE E

Liste totale des espèces rencontrées. Codes des espèces et codes trophiques

ANNEXE F

Liste des correspondances taxinomiques

ANNEXE G

Classifications européennes de référence utilisées

ANNEXE H

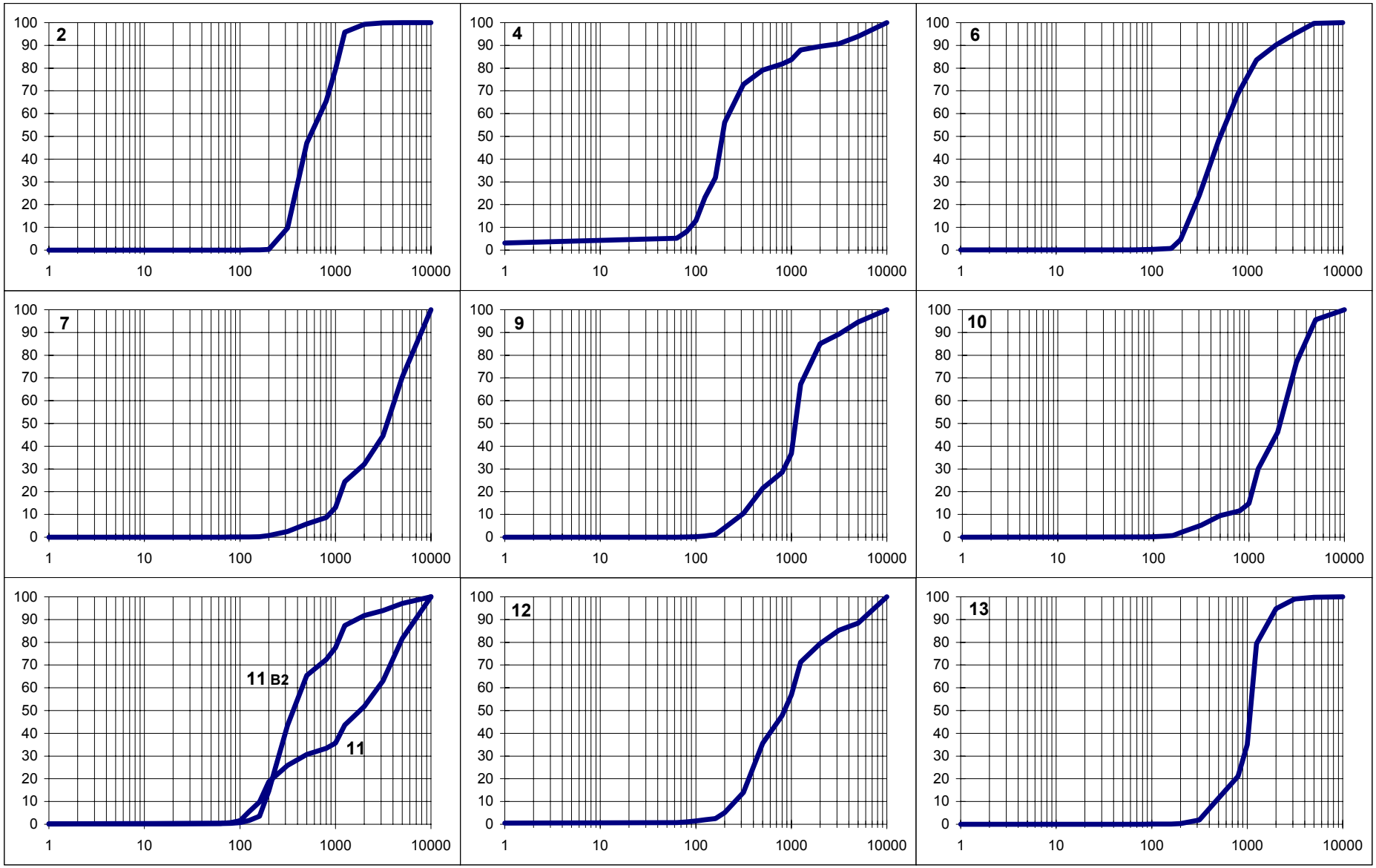
Publications scientifiques et participations à des congrès

ANNEXE I

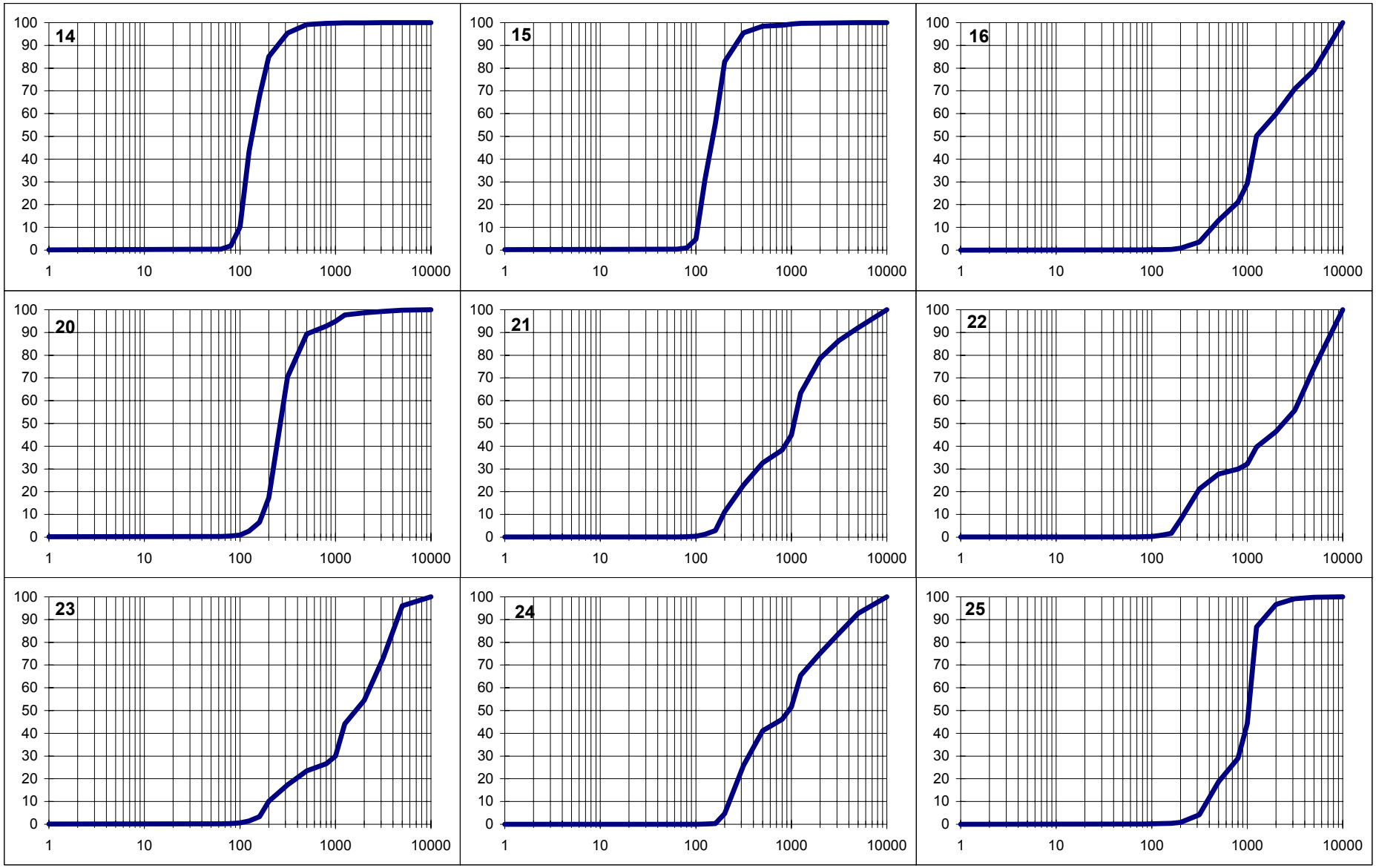
Nouveau Chapitre de Thèse

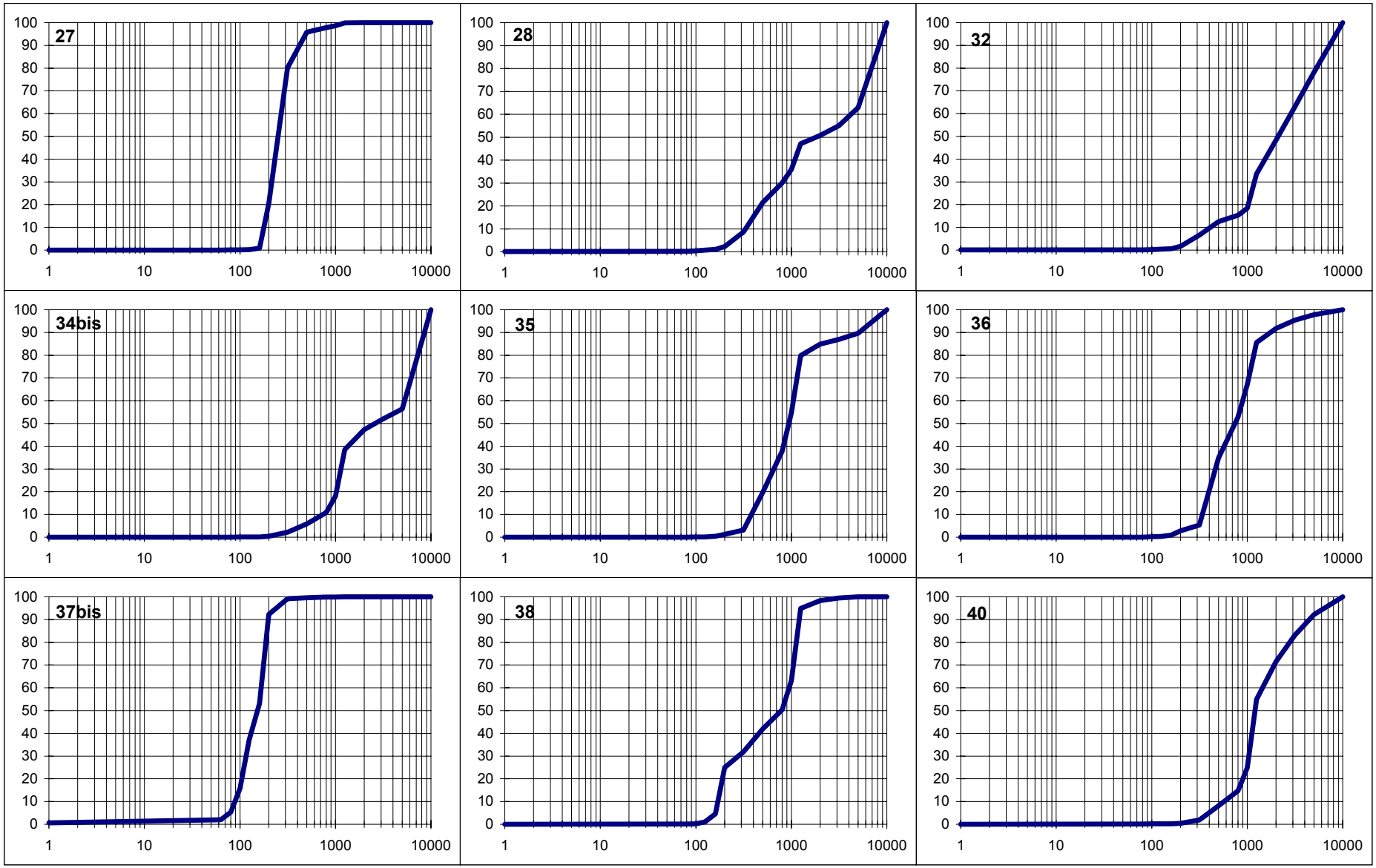
ANNEXE A

Courbes granulométriques des échantillons de sédiments prélevés à la benne Hamon

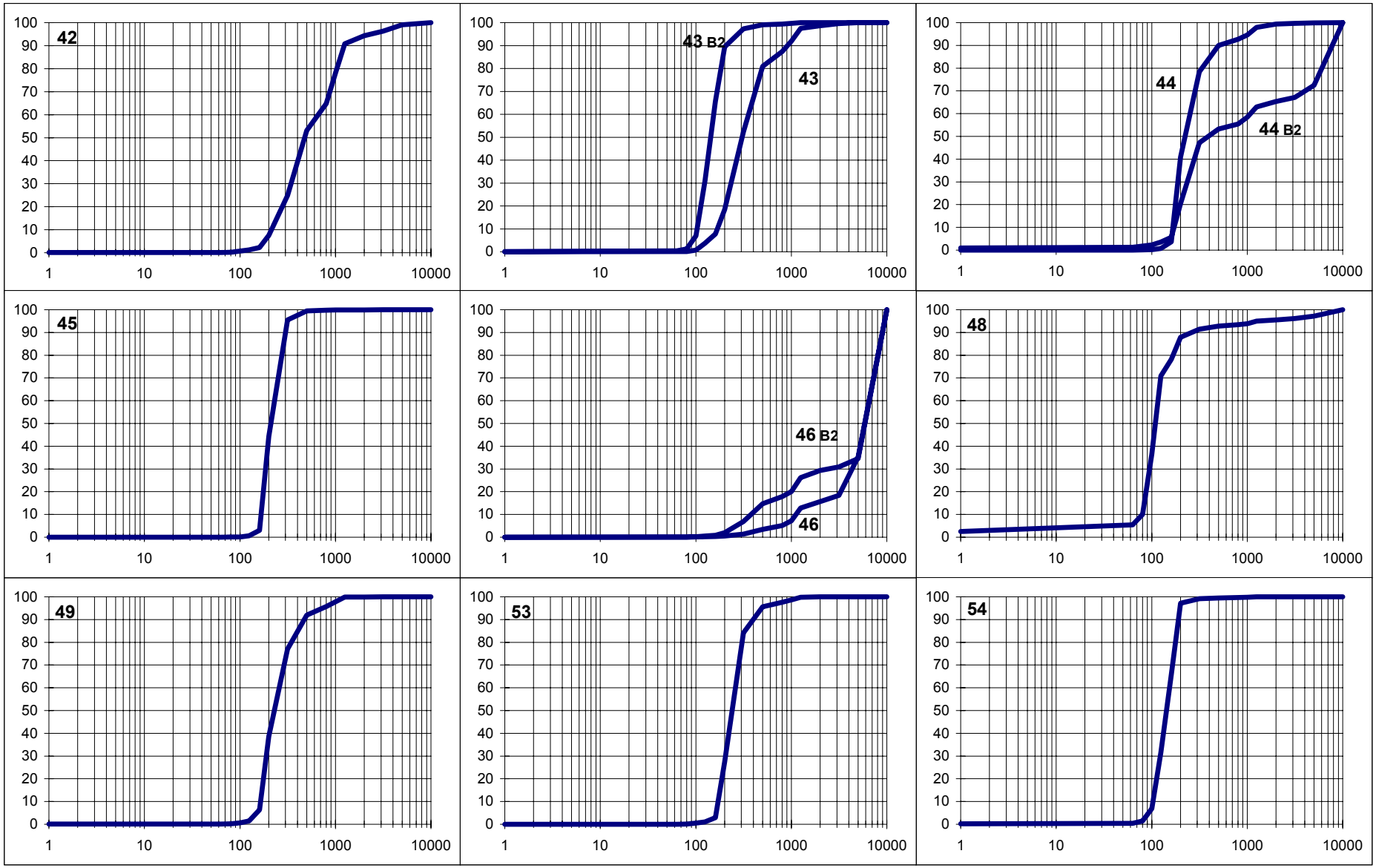

2
4
6
7
9
10
11 B2
11
12
13
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

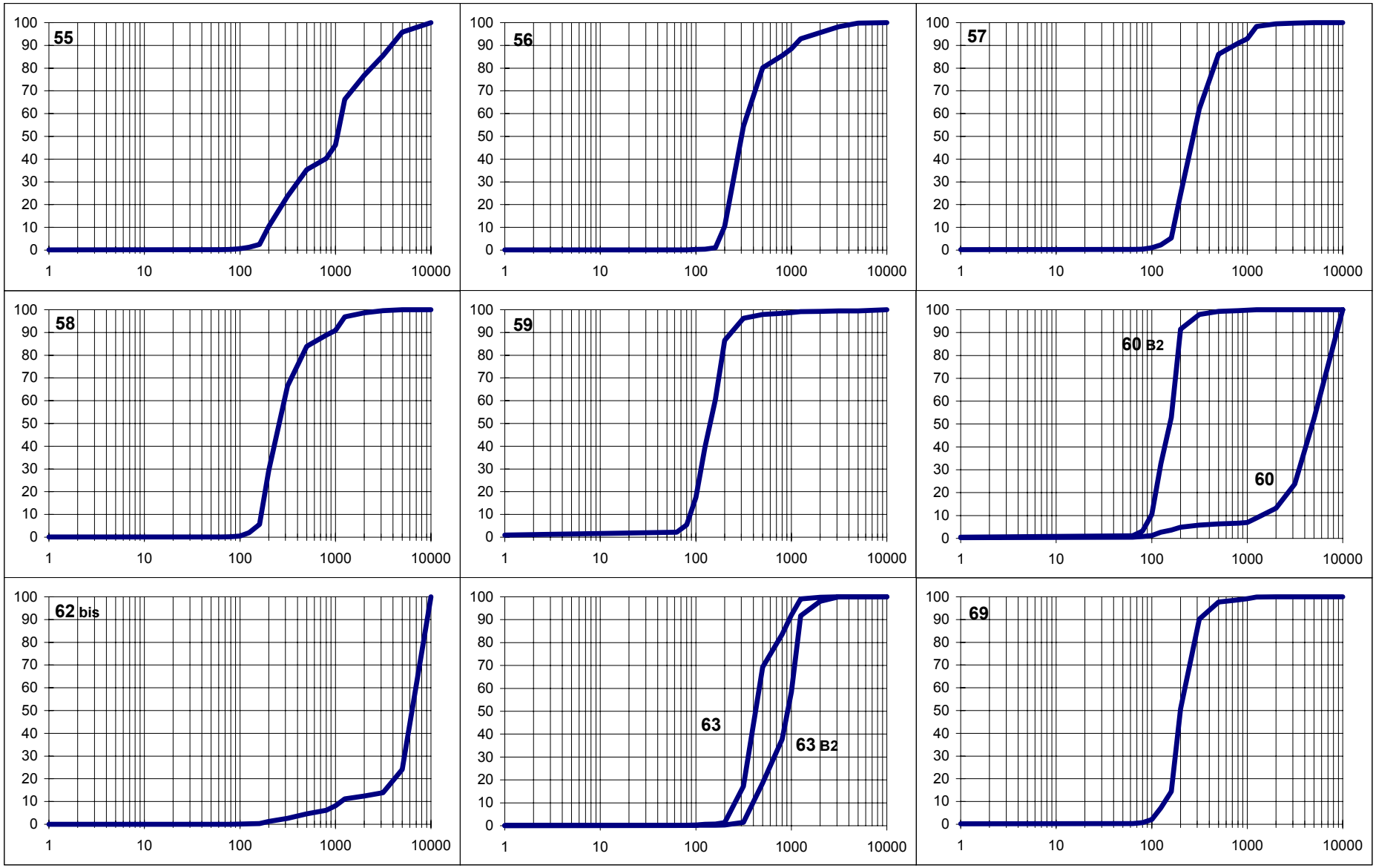
ANNEXE A


14
15
16
20
21
22
23
24
25
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

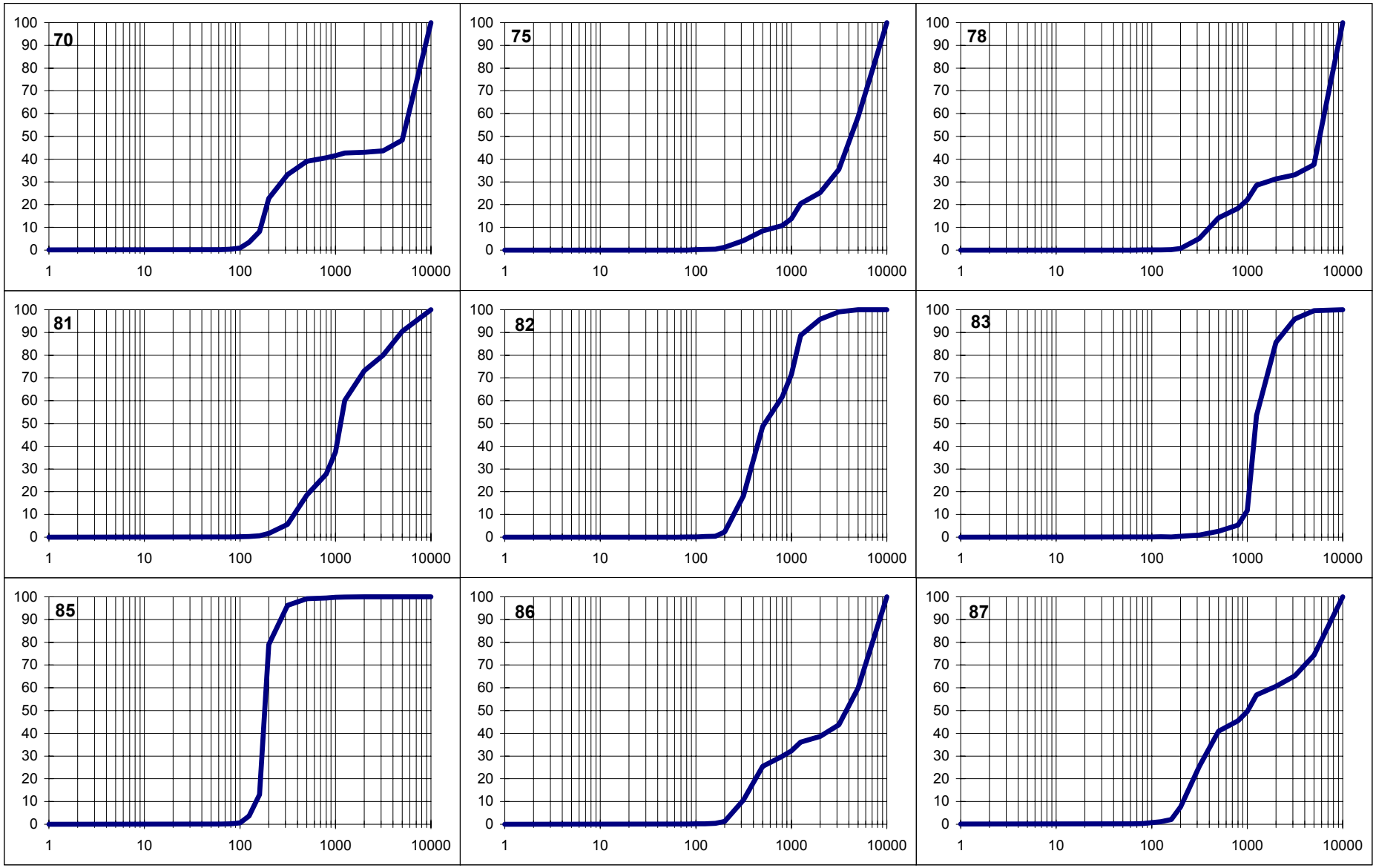

27
28
32
34bis
35
36
37bis
38
40
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

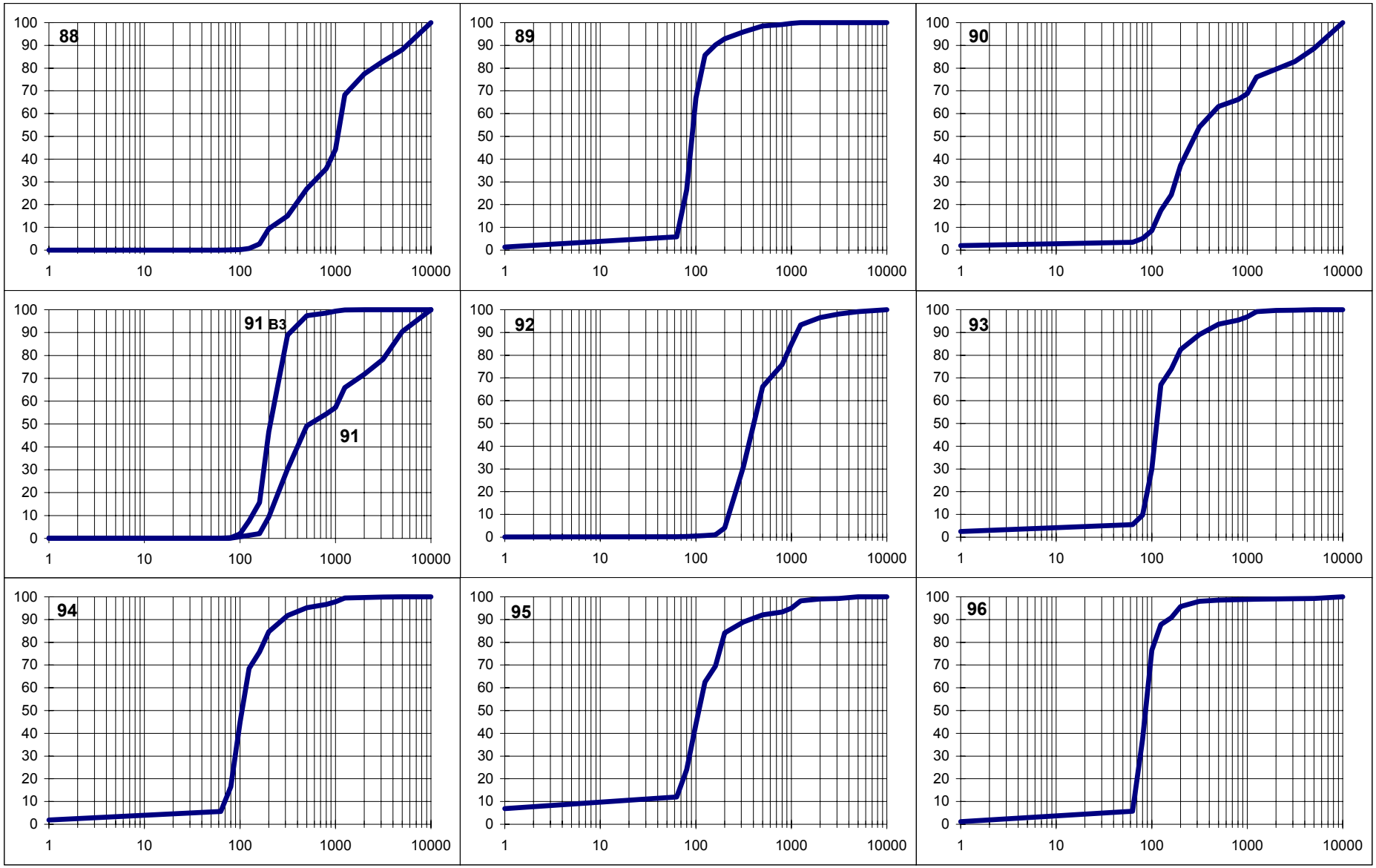
ANNEXE A


42
43 B2
43
44
44 B2
45
46 B2
46
48
49
53
54
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

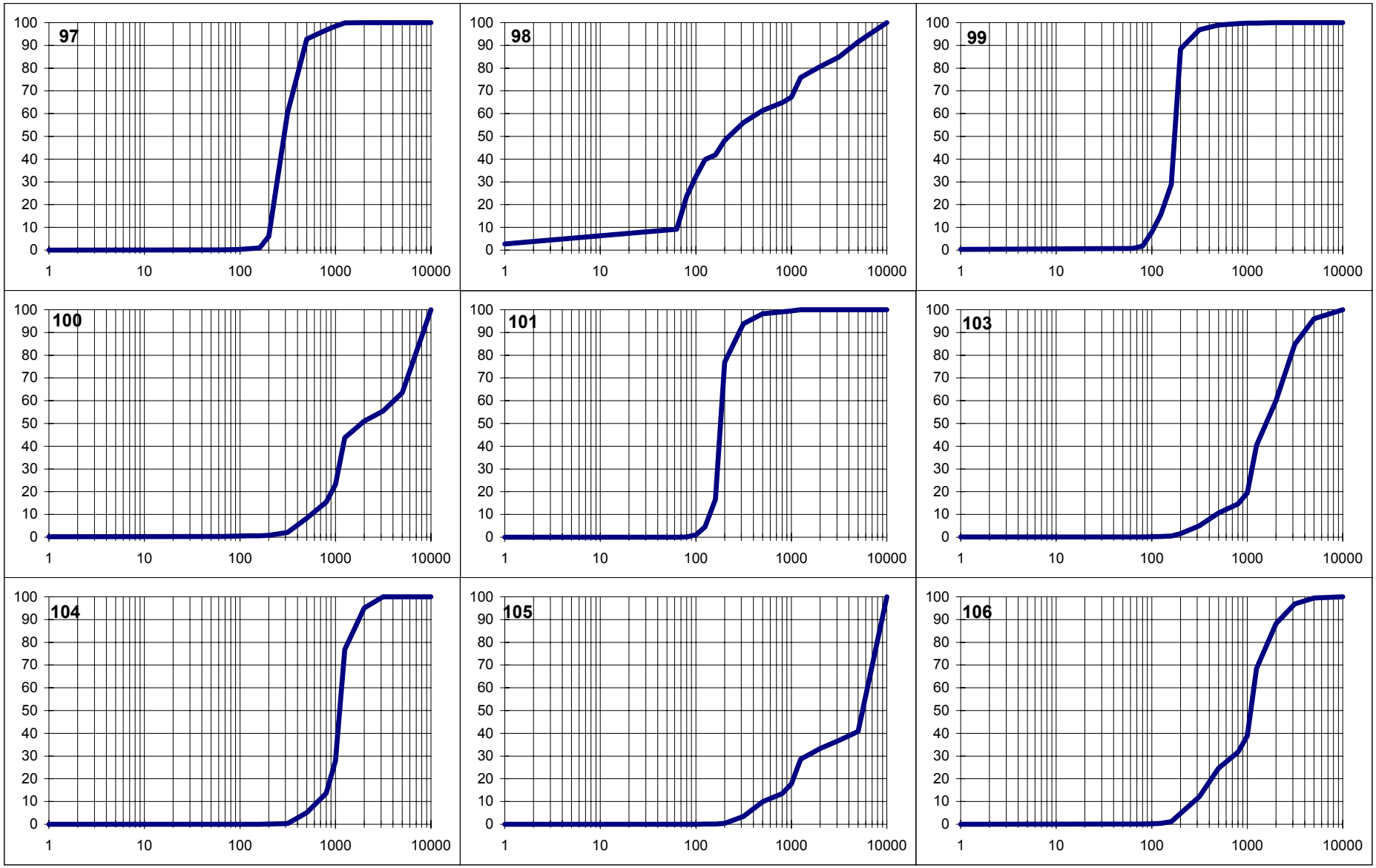

55
56
57
58
59
60 B2
60
62 bis
63
63 B2
69
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

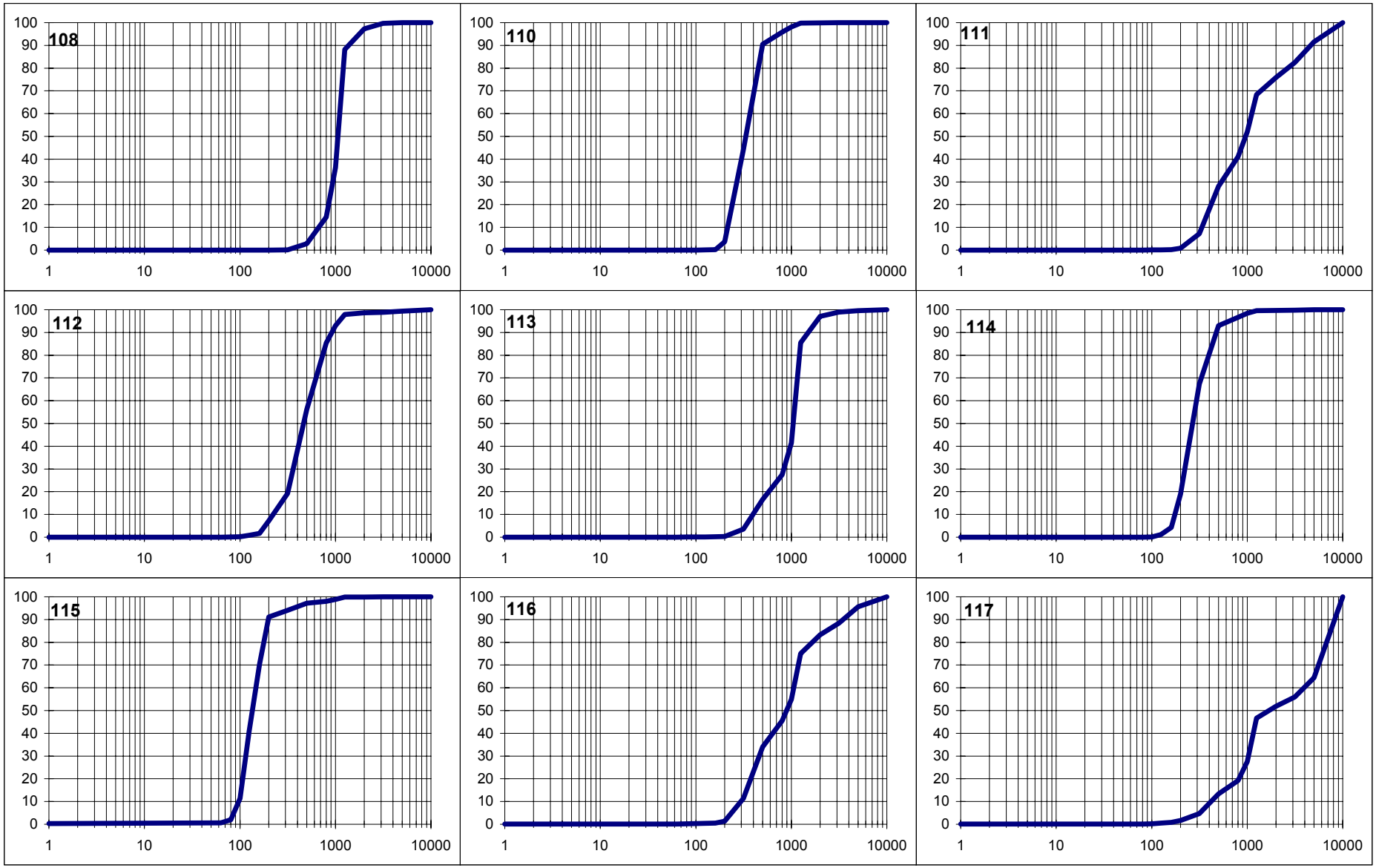
ANNEXE A


70
75
78
81
82
83
85
86
87
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

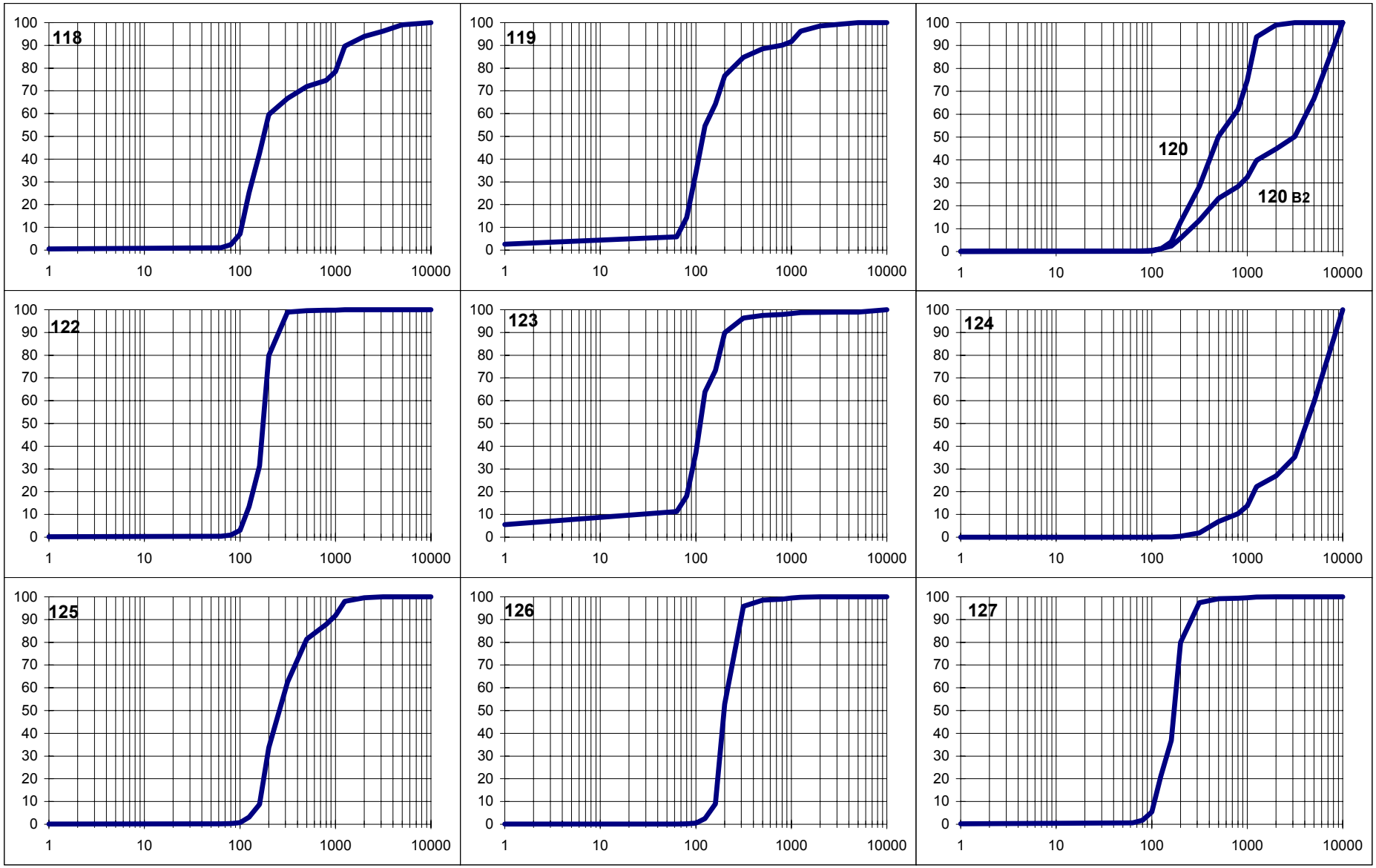

88
89
90
91 B3
91
92
93
94
95
96
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

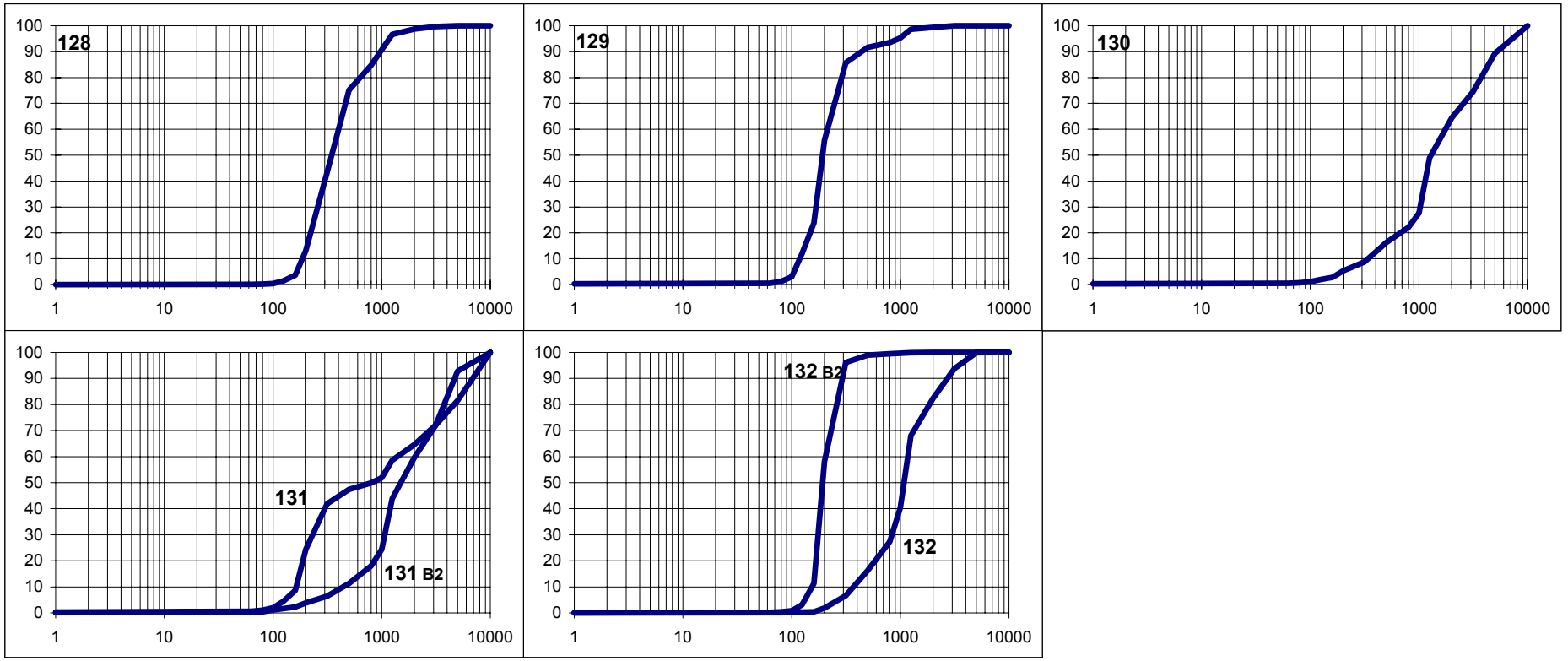
ANNEXE A


97
98
99
100
101
103
104
105
106
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000


108
110
111
112
113
114
115
116
117
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

ANNEXE A


118
119
120
120 B2
122
123
124
125
126
127
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000


128
129
130
131
131 B2
132 B2
132
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000

ANNEXE B

Présence des espèces (densités / m²) aux différents niveaux bathymétriques
Tableaux comparatifs

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des cailloutis (C) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :		cailloutis (C)		
Catégorie bathymétrique :		15 à 30 m		
Nombre de bennes :		7		
Genre	**Espèce**	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Pisidia	*longicornis*	6	38,29	*94,29*
Ophiothrix	*fragilis*	6	8,00	*13,27*
Circomphalus	*casina*	6	2,86	*7,56*
Galathea	***sp***	6	2,86	*7,56*
Galathea	*strigosa*	6	2,86	*7,56*
Gibbula	*tumida*	9	2,28	*6,05*
Branchiostoma	***lanceolatum***	6	1,71	*3,15*
Ebalia	*tuberosa*	6	1,71	*4,54*
Ophiocomina	***nigra***	6	1,71	*3,15*
Anthura	***gracilis***	5	1,14	*3,02*
Galathea	***intermedia***	6	1,14	*3,02*
Gari	***tellinella***	6	1,14	*3,02*
Janira	***maculosa***	5	1,14	*1,95*
Leptochiton	***cancellatus***	9	1,14	*3,02*
Tectura	*virginea*	9	1,14	*1,95*
Amphiura	***brachiata***	2	0,57	*1,51*
Antalis	***vulgare***	7	0,57	*1,51*
Aphroditidae	**ind**	2	0,57	*1,51*
Arcopagia	***crassa***	6	0,57	*1,51*
Caryophyllia	***smithii***	2	0,57	*1,51*
Clausinella	***fasciata***	6	0,57	*1,51*
Cochlodesma	***praetenue***	7	0,57	*1,51*
Crangon	***fasciatus***	2	0,57	*1,51*
Diodora	***graeca***	2	0,57	*1,51*
Emarginula	*conica*	2	0,57	*1,51*
Eurydice	***pulchra***	2	0,57	*1,51*
Eurynome	***spinosa***	2	0,57	*1,51*
Hiatella	***arctica***	6	0,57	*1,51*
Hinia	***reticulata***	3	0,57	*1,51*
Idotea	***sp***	9	0,57	*1,51*
Moerella	***donacina***	6	0,57	*1,51*
Myoxocephalus	***scorpius***	2	0,57	*1,51*
Nematode	**ind**	-	0,57	*1,51*
Pagurus	***bernhardus***	3	0,57	*1,51*
Pirimela	***denticulata***	2	0,57	*1,51*
Thoralus	***cranchii***	5	0,57	*1,51*
Xantho	***incisus***	2	0,57	*1,51*
Xantho	***pilipes***	2	0,57	*1,51*

Densité moyenne totale :	**82,28**	***123,65***
Richesse spécifique :	**38**	

Strate :		cailloutis (C)		
Catégorie bathymétrique :		31 à 89 m		
Nombre de bennes :		5		
Genre	**Espèce**	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Pisidia	*longicornis*	6	17,60	*25,08*
Gibbula	*tumida*	9	3,20	*5,22*
Ophiothrix	*fragilis*	6	3,20	*5,22*
Paguridae	**ind**	3	3,20	*7,16*
Emarginula	*conica*	2	1,60	*3,58*
Harmothoë	***sp***	2	1,60	*2,19*
Ophiura	***albida***	2	1,60	*2,19*
Upogebia	***deltaura***	6	1,60	*3,58*
Anapagurus	***brevicarpus***	5	0,80	*1,79*
Chaetopterus	***variopedatus***	6	0,80	*1,79*
Circomphalus	*casina*	6	0,80	*1,79*
Ebalia	*tuberosa*	6	0,80	*1,79*
Euphrosyne	***foliosa***	2	0,80	*1,79*
Galathea	*strigosa*	6	0,80	*1,79*
Halichondria	***panicea***	6	0,80	*1,79*
Hinia	***incrassata***	3	0,80	*1,79*
Hippolyte	***huntii***	5	0,80	*1,79*
Leptochiton	***asellus***	9	0,80	*1,79*
Psammechinus	***miliaris***	4	0,80	*1,79*
Sthenelais	***boa***	2	0,80	*1,79*
Tectura	*virginea*	9	0,80	*1,79*

Densité moyenne totale :	**44,00**	***55,50***
Richesse spécifique :	**21**	

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des graviers sableux hétérogènes (GH) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate : graviers sableux hétérogènes (GH)
Catégorie bathymétrique : < 15 m
Nombre de bennes : 2

Genre	Espèce	CT	N/m² pour chaque benne	
Pisidia	*longicornis*	6	8	328
Crepidula	***fornicata***	6	28	4
Calyptraea	***chinensis***	6	16	4
Galathea	*intermedia*	6	0	12
Venerupis	***senegalensis***	6	8	0
Callochiton	***achatinus***	9	0	4
Glycymeris	*glycymeris*	6	0	4
Moerella	*donacina*	6	4	0
Polinices	*pulchellus*	2	4	0
Psammechinus	*miliaris*	4	0	4
Venus	***verrucosa***	6	0	4

Densité moyenne totale : 68
Richesse spécifique : 11

Strate : graviers sableux hétérogènes (GH)
Catégorie bathymétrique : 15 à 30 m
Nombre de bennes : 5

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Pisidia	*longicornis*	6	31,20	*35,15*
Ophiothrix	*fragilis*	6	20,80	*35,93*
Leptochiton	***cancellatus***	9	6,40	*14,31*
Eurydice	*pulchra*	2	4,80	*8,67*
Paguridae	ind	3	4,00	*8,94*
Galathea	*intermedia*	6	3,20	*7,16*
Janira	*maculosa*	5	3,20	*7,16*
Ophiocomina	*nigra*	6	3,20	*5,22*
Psammechinus	*miliaris*	4	3,20	*3,35*
Clausinella	*fasciata*	6	2,40	*2,19*
Gibbula	*tumida*	9	2,40	*5,37*
Galathea	***strigosa***	6	1,60	*2,19*
Gouldia	***minima***	6	1,60	*3,58*
Hinia	*reticulata*	3	1,60	*2,19*
Lepadogaster	***sp***	2	1,60	*3,58*
Sthenelais	***boa***	2	1,60	*3,58*
Thoralus	***cranchii***	5	1,60	*3,58*
Xantho	***pilipes***	2	1,60	*3,58*
Anapagurus	*hyndmanni*	5	0,80	*1,79*
Aphroditidae	ind	2	0,80	*1,79*
Aureliana	***heterocera***	2	0,80	*1,79*
Crangon	***fasciatus***	2	0,80	*1,79*
Dosinia	*exoleta*	6	0,80	*1,79*
Echinocardium	*flavescens*	8	0,80	*1,79*
Eualus	***occultus***	5	0,80	*1,79*
Euphrosyne	***foliosa***	2	0,80	*1,79*
Galathea	*sp*	6	0,80	*1,79*
Liocarcinus	***pusillus***	2	0,80	*1,79*
Marthasterias	***glacialis***	2	0,80	*1,79*
Onchidoris	*inconspicua*	2	0,80	*1,79*
Ophiura	*albida*	2	0,80	*1,79*
Pagurus	*bernhardus*	3	0,80	*1,79*
Pandalina	***brevirostris***	5	0,80	*1,79*
Tapes	*rhomboides*	6	0,80	*1,79*
Timoclea	*ovata*	6	0,80	*1,79*

Densité moyenne totale : 109,60 ***186,12***
Richesse spécifique : 35

Strate : graviers sableux hétérogènes (GH)
Catégorie bathymétrique : 31 à 89 m
Nombre de bennes : 17

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Branchiostoma	***lanceolatum***	6	8,47	*17,20*
Goodallia	***triangularis***	6	6,59	*20,44*
Pisidia	*longicornis*	6	5,41	*10,48*
Clausinella	*fasciata*	6	2,35	*4,26*
Ophiothrix	*fragilis*	6	2,12	*5,50*
Galathea	*intermedia*	6	1,88	*5,85*
Glycymeris	*glycymeris*	6	1,65	*2,47*
Gibbula	***tumida***	9	1,65	*5,86*
Aphroditidae	ind	2	1,18	*1,88*
Circomphalus	***casina***	6	1,18	*2,35*
Paguridae	ind	3	1,18	*4,85*
Galathea	*sp*	6	0,94	*2,25*
Hinia	***incrassata***	3	0,94	*2,66*
Arcopagia	***crassa***	6	0,71	*1,57*
Gari	***tellinella***	6	0,71	*2,91*
Anapagurus	*hyndmanni*	5	0,47	*1,33*
Anthura	***gracilis***	5	0,47	*1,33*
Astacilla	***longicornis***	6	0,47	*1,94*
Hinia	*reticulata*	3	0,47	*1,94*
Amphiura	***brachiata***	6	0,24	*0,97*
Aspidosiphon	***muelleri***	8	0,24	*0,97*
Atelecyclus	***rotundatus***	2	0,24	*0,97*
Calliactis	***parasitica***	2	0,24	*0,97*
Dosinia	*exoleta*	6	0,24	*0,97*
Ebalia	***tuberosa***	6	0,24	*0,97*
Echinocardium	*flavescens*	8	0,24	*0,97*
Eurydice	*pulchra*	2	0,24	*0,97*
Janira	*maculosa*	5	0,24	*0,97*
Jujubinus	***sp***	9	0,24	*0,97*
Limatula	***sulcata***	6	0,24	*0,97*
Liocarcinus	*pusillus*	2	0,24	*0,97*
Majidae	**ind**	2	0,24	*0,97*
Moerella	*donacina*	6	0,24	*0,97*
Nucula	***hanleyi***	7	0,24	*0,97*
Ophiocomina	*nigra*	6	0,24	*0,97*
Ophiura	*albida*	2	0,24	*0,97*
Pagurus	*bernhardus*	3	0,24	*0,97*
Polinices	*pulchellus*	2	0,24	*0,97*
Psammechinus	*miliaris*	4	0,24	*0,97*
Spisula	***elliptica***	6	0,24	*0,97*
Tapes	*rhomboides*	6	0,24	*0,97*
Timoclea	*ovata*	6	0,24	*0,97*
Xantho	***incisus***	2	0,24	*0,97*

Densité moyenne totale : 44,47 ***39,52***
Richesse spécifique : 43

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des graviers propres (GP) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	graviers propres (GP)
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m
Nombre de bennes :	3

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Ophiocomina	*nigra*	6	70,67	*62,52*
Branchiostoma	*lanceolatum*	6	2,67	*2,31*
Apletodon	***dentatus***	2	1,33	*2,31*
Circomphalus	*casina*	6	1,33	*2,31*
Nucula	*hanleyi*	7	1,33	*2,31*
Ophiothrix	*fragilis*	6	1,33	*2,31*
Pisidia	*longicornis*	6	1,33	*2,31*
Spatangus	*purpureus*	8	1,33	*2,31*
Timoclea	*ovata*	6	1,33	*2,31*
Xantho	***pilipes***	2	1,33	*2,31*

Densité moyenne totale :	**84,00**	***60,00***
Richesse spécifique :	**10**	

Strate :	graviers propres (GP)
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m
Nombre de bennes :	28

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Branchiostoma	*lanceolatum*	6	9,29	*14,57*
Clausinella	***fasciata***	6	4,57	*6,41*
Glycymeris	*glycymeris*	6	3,29	*3,62*
Aphroditidae	ind	2	1,86	*4,55*
Arcopagia	***crassa***	6	1,86	*2,77*
Goodallia	*triangularis*	6	1,57	*3,98*
Circomphalus	*casina*	6	1,00	*1,76*
Echinocardium	***flavescens***	8	1,00	*2,58*
Eurydice	***pulchra***	2	1,00	*3,87*
Dosinia	***exoleta***	6	0,86	*1,99*
Ophiocomina	*nigra*	6	0,86	*3,83*
Ophiothrix	*fragilis*	6	0,86	*3,83*
Tapes	***rhomboides***	6	0,86	*2,52*
Halcampa	***chrysanthellum***	2	0,71	*3,09*
Amphiura	***filiformis***	6	0,43	*1,26*
Asterias	***rubens***	2	0,43	*1,26*
Conilera	***cylindracea***	2	0,43	*1,26*
Ebalia	***tuberosa***	6	0,43	*1,26*
Gari	***tellinella***	6	0,43	*1,26*
Liocarcinus	***pusillus***	2	0,43	*1,26*
Timoclea	*ovata*	6	0,43	*1,26*
Upogebia	***deltaura***	6	0,43	*1,67*
Gibbula	***tumida***	9	0,29	*1,05*
Gouldia	***minima***	6	0,29	*1,51*
Holothurie	**ind**	-	0,29	*1,51*
Phascolion	***strombus***	8	0,29	*1,05*
Polinices	***pulchellus***	2	0,29	*1,05*
Solecurtus	***scopula***	6	0,29	*1,05*
Spatangus	*purpureus*	8	0,29	*1,05*
Spisula	***elliptica***	6	0,29	*1,05*
Thyone	***fusus***	6	0,29	*1,05*
Aequipecten	*opercularis*	6	0,14	*0,76*
Aspidosiphon	***muelleri***	8	0,14	*0,76*
Astacilla	***longicornis***	6	0,14	*0,76*
Astropecten	***irregularis***	2	0,14	*0,76*
Crepidula	***fornicata***	6	0,14	*0,76*
Eurydice	***spinigera***	2	0,14	*0,76*
Galathea	***sp***	6	0,14	*0,76*
Gari	***depressa***	6	0,14	*0,76*
Hinia	***incrassata***	3	0,14	*0,76*
Liocarcinus	***marmoreus***	2	0,14	*0,76*
Luidia	***ciliaris***	2	0,14	*0,76*
Lutraria	***angustior***	6	0,14	*0,76*
Marthasterias	***glacialis***	2	0,14	*0,76*
Nucula	*hanleyi*	7	0,14	*0,76*
Pandora	***pinna***	6	0,14	*0,76*
Pecten	*maximus*	6	0,14	*0,76*
Psammechinus	***miliaris***	4	0,14	*0,76*

Densité moyenne totale :	**38,00**	***24,91***
Richesse spécifique :	**48**	

Strate :	graviers propres (GP)
Catégorie bathymétrique :	> 90 m
Nombre de bennes :	3

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Pecten	*maximus*	6	6,67	*11,55*
Aequipecten	*opercularis*	6	5,33	*9,24*
Goodallia	*triangularis*	6	4,00	*4,00*
Aphroditidae	ind	2	2,67	*2,31*
Eualus	***pusiolus***	5	1,33	*2,31*
Eurynome	***spinosa***	2	1,33	*2,31*
Galathea	***strigosa***	6	1,33	*2,31*
Glycymeris	*glycymeris*	6	1,33	*2,31*
Nucula	*hanleyi*	7	1,33	*2,31*
Ophiothrix	*fragilis*	6	1,33	*2,31*
Pagurus	***prideauxi***	3	1,33	*2,31*
Pisidia	*longicornis*	6	1,33	*2,31*
Timoclea	*ovata*	6	1,33	*2,31*

Densité moyenne totale :	**30,67**	***33,31***
Richesse spécifique :	**13**	

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des graviers biogènes (GRB) ; CT=catégorie trophique. Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	graviers biogènes (GRB)		
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m		
Nombre de bennes :	6		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Glycymeris glycymeris	6	88,00	*215,56*
Tapes rhomboides	6	18,00	*36,81*
Dosinia exoleta	6	13,33	*21,27*
Clausinella fasciata	6	5,33	*13,06*
Liocarcinus pusillus	2	2,67	*2,07*
Calyptraea chinensis	6	2,00	*4,90*
Branchiostoma lanceolatum	6	1,33	*3,27*
Conilera cylindracea	2	1,33	*2,07*
Ophiura albida	2	1,33	*3,27*
Pisidia longicornis	6	1,33	*3,27*
Dosinia lupinus	6	0,67	*1,63*
Ebalia tuberosa	6	0,67	*1,63*
Ebalia tumefacta	6	0,67	*1,63*
Gibbula tumida	9	0,67	*1,63*
Liocarcinus arcuatus	2	0,67	*1,63*
Marphysa sanguinea	2	0,67	*1,63*
Moerella donacina	6	0,67	*1,63*
Nymphon gracile	2	0,67	*1,63*
Polinices pulchellus	2	0,67	*1,63*
Psammechinus miliaris	4	0,67	*1,63*
Solecurtus scopula	6	0,67	*1,63*
Xantho pilipes	2	0,67	*1,63*

Densité moyenne totale :	**142,67**	***246,64***
Richesse spécifique :	**22**	

Strate :	graviers biogènes (GRB)		
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m		
Nombre de bennes :	3		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Glycymeris glycymeris	6	6,67	*6,11*
Ebalia tuberosa	6	4,00	*4,00*
Clausinella fasciata	6	2,67	*2,31*
Galathea intermedia	6	2,67	*4,62*
Liocarcinus arcuatus	2	2,67	*4,62*
Pisidia longicornis	6	2,67	*4,62*
Venerupis pullastra	6	2,67	*4,62*
Apletodon dentatus	2	1,33	*2,31*
Branchiostoma lanceolatum	6	1,33	*2,31*
Golfingia vulgaris	8	1,33	*2,31*
Ophiura albida	2	1,33	*2,31*
Psammechinus miliaris	4	1,33	*2,31*

Densité moyenne totale :	**30,67**	***15,14***
Richesse spécifique :	**12**	

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des sables grossiers (SG) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	sables grossiers (SG)		
Catégorie bathymétrique :	< 15 m		
Nombre de bennes :	8		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Echinocardium flavescens	8	13,00	*17,34*
Hyperoplus lanceolatus	6	7,00	*10,20*
Goodallia triangularis	6	5,00	*9,26*
Hippolyte varians	5	2,00	*5,66*
Arcopagia crassa	6	1,50	*4,24*
Glycymeris glycymeris	6	1,50	*2,07*
Spisula elliptica	6	1,50	*2,98*
Anapagurus brevicarpus	5	1,00	*2,83*
Branchiostoma lanceolatum	6	1,00	*1,85*
Clausinella fasciata	6	1,00	*1,85*
Dosinia exoleta	6	1,00	*1,85*
Paguridae ind	3	1,00	*1,85*
Polinices pulchellus	2	1,00	*1,85*
Aphroditidae ind	2	0,50	*1,41*
Apletodon dentatus	2	0,50	*1,41*
Chamelea gallina	6	0,50	*1,41*
Eurydice pulchra	2	0,50	*1,41*
Gari tellinella	6	0,50	*1,41*
Hinia incrassata	3	0,50	*1,41*
Holothurie ind	-	0,50	*1,41*
Laevicardium crassum	6	0,50	*1,41*
Moerella donacina	6	0,50	*1,41*
Pisidia longicornis	6	0,50	*1,41*
Spatangus purpureus	8	0,50	*1,41*
Sphaeroma bidentata	2	0,50	*1,41*
Densité moyenne totale :		**43,50**	***23,85***
Richesse spécifique :		**25**	

Strate :	sables grossiers (SG)		
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m		
Nombre de bennes :	3		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Glycymeris glycymeris	6	6,67	*8,33*
Clausinella fasciata	6	2,67	*2,31*
Antalis vulgare	7	1,33	*2,31*
Apletodon dentatus	2	1,33	*2,31*
Arcopagia crassa	6	1,33	*2,31*
Branchiostoma lanceolatum	6	1,33	*2,31*
Caecum sp	9	1,33	*2,31*
Dosinia exoleta	6	1,33	*2,31*
Echinocardium flavescens	8	1,33	*2,31*
Goodallia triangularis	6	1,33	*2,31*
Ophiura albida	2	1,33	*2,31*
Phascolion strombus	8	1,33	*2,31*
Densité moyenne totale :		**22,67**	***8,3***
Richesse spécifique :		**12**	

Strate :	sables rossiers SG	
Caté orie bath métri ue :	> 90 m	
Nombre de bennes :	2	
	N/m² our	
Genre Es èce	**CT**	**cha ue benne**
Branchiostoma lanceolatum	6	4 4
Densité mo enne totale :	**4**	
Richesse s écifi ue :	**1**	

Strate :	sables grossiers (SG)		
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m		
Nombre de bennes :	15		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Amphiura brachiata	6	4,80	*18,59*
Glycymeris glycymeris	6	3,73	*4,89*
Dosinia exoleta	6	2,67	*5,59*
Hyperoplus lanceolatus	6	1,87	*3,66*
Aphroditidae ind	2	0,80	*1,66*
Labidoplax digitata	7	0,80	*3,10*
Branchiostoma lanceolatum	6	0,53	*2,07*
Gari tellinella	6	0,53	*2,07*
Goodallia triangularis	6	0,53	*1,41*
Abra alba	7	0,27	*1,03*
Arca lactea	6	0,27	*1,03*
Arcopagia crassa	6	0,27	*1,03*
Marthasterias glacialis	2	0,27	*1,03*
Pagurus bernhardus	3	0,27	*1,03*
Spatangus purpureus	8	0,27	*1,03*
Spisula elliptica	6	0,27	*1,03*
Densité moyenne totale :		**18,13**	***23,5***
Richesse spécifique :		**16**	

Densités des espèces (N/m²) pour la strate des sables hétérogènes envasés (SHV) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	sables hétérogènes envasés (SHV)
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m
Nombre de bennes :	2

Genre	Espèce	CT	N/m² pour chaque benne	
Owenia	*fusiformis*	7	60	4
Labidoplax	***digitata***	7	60	0
Aphroditidae	ind	2	20	0
Halcampa	***chrysanthellum***	2	20	0
Phaxas	*pellucidus*	6	20	0
Cerianthus	***lloydii***	2	4	4
Ophiocomina	*nigra*	6	4	4
Amphiura	***filiformis***	6	4	0
Anapagurus	*hyndmanni*	5	0	4
Parvicardium	***exiguum***	6	4	0
Chamelea	***gallina***	6	4	0
Corbula	***gibba***	6	4	0
Eurydice	***pulchra***	2	0	4
Liocarcinus	***holsatus***	2	0	4
Neopentadactyla	*mixta*	6	4	0
Ophiothrix	*fragilis*	6	0	4
Ophiura	*albida*	2	4	0
Paguridae	**ind**	3	4	0
Plathelminthe	**ind**	-	4	0
Pseudothyone	***raphanus***	8	4	0
Tellina	***serrata***	7	4	0

Densité moyenne totale :	**228**
Richesse spécifique :	**21**

Strate :	sables hétérogènes envasés (SHV)
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m
Nombre de bennes :	1

Genre	Espèce	CT	N/m²
Amphiura	***brachiata***	6	36
Ophiothrix	*fragilis*	6	36
Owenia	*fusiformis*	7	20
Sthenelais	***boa***	2	20
Cirolana	***cranchii***	3	12
Ischnochiton	***albus***	9	8
Ophiura	*albida*	2	8
Anapagurus	*hyndmanni*	5	4
Aphrodita	***aculeata***	2	4
Aphroditidae	ind	2	4
Cereus	***pedonculatus***	2	4
Harmothoë	***spinifera***	2	4
Hinia	***incrassata***	3	4
Neopentadactyla	*mixta*	6	4
Ophiocomina	*nigra*	6	4
Phaxas	*pellucidus*	6	4
Psammechinus	***miliaris***	4	4
Tethya	***aurentium***	6	4

Densité moyenne totale :	**184**
Richesse spécifique :	**18**

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des sables fins (SF) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	sables fins (SF)
Catégorie bathymétrique :	< 15 m
Nombre de bennes :	3

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Chamelea	*gallina*	6	2,67	*4,62*
Echinocardium	*cordatum*	8	2,67	*4,62*
Lucinella	*divaricata*	7	2,67	*4,62*
Dosinia	*lupinus*	6	1,33	*2,31*
Hinia	*reticulata*	3	1,33	*2,31*
Owenia	*fusiformis*	7	1,33	*2,31*
Phascolion	***strombus***	8	1,33	*2,31*
Polinices	*pulchellus*	2	1,33	*2,31*

Densité moyenne totale :	**14,67**	***15,14***
Richesse spécifique :	**8**	

Strate :	sables fins (SF)
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m
Nombre de bennes :	12

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Ophiothrix	*fragilis*	6	5,67	*17,26*
Ophiocomina	*nigra*	6	5,33	*17,25*
Eurydice	*pulchra*	2	4,00	*7,82*
Amphiura	*brachiata*	6	1,67	*2,67*
Aphroditidae	ind	2	1,67	*3,60*
Hinia	*reticulata*	3	1,67	*3,17*
Diplodonta	***rotundata***	6	1,33	*4,62*
Lucinella	*divaricata*	7	1,33	*2,61*
Fabulina	*fabula*	6	1,00	*1,81*
Goodallia	*triangularis*	6	1,00	*2,49*
Tapes	*rhomboides*	6	1,00	*3,46*
Antalis	***entalis***	8	0,67	*2,31*
Chamelea	*gallina*	6	0,67	*1,56*
Circomphalus	***casina***	6	0,67	*1,56*
Echinocardium	*cordatum*	8	0,67	*1,56*
Gari	***depressa***	6	0,67	*2,31*
Thyone	***fusus***	6	0,67	*2,31*
Abra	*alba*	7	0,33	*1,15*
Astropecten	*irregularis*	2	0,33	*1,15*
Clausinella	***fasciata***	6	0,33	*1,15*
Dosinia	*lupinus*	6	0,33	*1,15*
Ebalia	***cranchii***	6	0,33	*1,15*
Euspira	***catena***	2	0,33	*1,15*
Gari	*fervensis*	6	0,33	*1,15*
Glycymeris	*glycymeris*	6	0,33	*1,15*
Hiatella	***arctica***	6	0,33	*1,15*
Mercenaria	***mercenaria***	6	0,33	*1,15*
Owenia	*fusiformis*	7	0,33	*1,15*
Pagurus	*bernhardus*	3	0,33	*1,15*
Phaxas	*pellucidus*	6	0,33	*1,15*
Polinices	*pulchellus*	2	0,33	*1,15*
Psammechinus	***miliaris***	4	0,33	*1,15*
Spisula	***subtruncata***	6	0,33	*1,15*

Densité moyenne totale :	**35,00**	***43,39***
Richesse spécifique :	**33**	

Strate :	sables fins (SF)
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m
Nombre de bennes :	22

Genre	Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Amphiura	*brachiata*	6	12,18	*31,70*
Abra	*alba*	7	7,45	*30,69*
Pisidia	***longicornis***	6	5,27	*21,22*
Owenia	*fusiformis*	7	4,91	*15,27*
Abra	***prismatica***	7	3,09	*9,64*
Amphiura	***filiformis***	6	2,18	*7,78*
Aphroditidae	ind	2	1,27	*4,34*
Nucula	***hanleyi***	7	1,27	*5,97*
Echinocardium	*cordatum*	8	1,09	*2,20*
Moerella	***donacina***	6	0,91	*3,48*
Ophiura	***ophiura***	2	0,91	*4,26*
Tapes	*rhomboides*	6	0,91	*4,26*
Paguridae	**ind**	3	0,55	*1,87*
Phaxas	*pellucidus*	6	0,55	*1,41*
Astropecten	*irregularis*	2	0,36	*1,18*
Eurydice	*pulchra*	2	0,36	*1,18*
Fabulina	*fabula*	6	0,36	*1,71*
Galathea	***sp***	6	0,36	*1,18*
Hinia	***incrassata***	3	0,36	*1,18*
Ophiothrix	*fragilis*	6	0,36	*1,18*
Calyptraea	***chinensis***	6	0,18	*0,85*
Chamelea	*gallina*	6	0,18	*0,85*
Crepidula	***fornicata***	6	0,18	*0,85*
Gari	*fervensis*	6	0,18	*0,85*
Gibbula	***tumida***	9	0,18	*0,85*
Glycymeris	*glycymeris*	6	0,18	*0,85*
Goodallia	*triangularis*	6	0,18	*0,85*
Gouldia	***minima***	6	0,18	*0,85*
Janira	***maculosa***	5	0,18	*0,85*
Ophiocomina	*nigra*	6	0,18	*0,85*
Ophiura	***albida***	2	0,18	*0,85*
Pagurus	*bernhardus*	3	0,18	*0,85*
Processa	***sp***	2	0,18	*0,85*
Sipunculus	***nudus***	8	0,18	*0,85*
Spisula	***elliptica***	6	0,18	*0,85*
Turritella	***communis***	6	0,18	*0,85*
Xantho	***pilipes***	2	0,18	*0,85*

Densité moyenne totale :	**47,82**	***56,49***
Richesse spécifique :	**37**	

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des sables fins biogènes (SFB) ; CT=catégorie trophique. Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	sables fins biogènes (SFB)		
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m		
Nombre de bennes :	2		
		N/m² pour chaque benne	
Genre Espèce	CT		
Ophiocomina nigra	6	32	112
Dosinia lupinus	6	12	24
Tapes rhomboides	6	8	4
Eurynome spinosa	2	4	4
Aequipecten opercularis	6	0	4
Chamelea gallina	6	0	4
Conilera cylindracea	2	4	0
Hinia reticulata	3	0	4
Lutraria lutraria	6	4	0
Moerella donacina	6	4	0
Pagurus bernhardus	3	0	4
Phaxas pellucidus	6	0	4
Sipunculus nudus	8	4	0

Densité moyenne totale :	72
Richesse spécifique :	13

Strate :	sables fins biogènes (SFB)		
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m		
Nombre de bennes :	13		
Genre Espèce	CT	N/m²	*e-t*
Pisidia longicornis	6	6,46	*17,01*
Abra prismatica	7	1,85	*6,66*
Glycymeris glycymeris	6	1,85	*5,57*
Moerella donacina	6	1,23	*3,42*
Nucula hanleyi	7	1,23	*4,44*
Eurydice pulchra	2	0,92	*1,75*
Laevicardium crassum	6	0,92	*1,75*
Pandora pinna	6	0,92	*3,33*
Spatangus purpureus	8	0,92	*1,75*
Timoclea ovata	6	0,92	*3,33*
Turritella communis	6	0,92	*2,40*
Aphroditidae ind	2	0,62	*1,50*
Echinocardium cordatum	8	0,62	*1,50*
Ophiura albida	2	0,62	*1,50*
Phaxas pellucidus	6	0,62	*2,22*
Anoplodactylus sp	2	0,31	*1,11*
Aspidosiphon muelleri	8	0,31	*1,11*
Crepidula fornicata	6	0,31	*1,11*
Dosinia exoleta	6	0,31	*1,11*
Ebalia cranchii	6	0,31	*1,11*
Ebalia tuberosa	6	0,31	*1,11*
Goodallia triangularis	6	0,31	*1,11*
Hinia reticulata	3	0,31	*1,11*
Labidoplax digitata	7	0,31	*1,11*
Nucula turgida	7	0,31	*1,11*
Paguridae ind	3	0,31	*1,11*
Polinices pulchellus	2	0,31	*1,11*
Sipunculus nudus	8	0,31	*1,11*
Sphenia binghami	6	0,31	*1,11*

Densité moyenne totale :	24,92	*22,58*
Richesse spécifique :	29	

Densités moyennes des espèces (N/m²) et écart-types associés (e-t, donnés en italique) pour la strate des sables fins envasés (FV) ; CT=catégorie trophique.
Les espèces en caractères gras sont exclusives à la catégorie bathymétrique, pour la strate considérée.

Strate :	sables fins envasés (FV)		
Catégorie bathymétrique :	< 15 m		
Nombre de bennes :	4		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Amphiura brachiata	6	16,00	*13,86*
Chamelea gallina	6	6,00	*2,31*
Echinocardium cordatum	8	6,00	*2,31*
Phascolion strombus	8	5,00	*7,57*
Sipunculus nudus	8	4,00	*4,62*
Dentalium novemcostatum	8	3,00	*3,83*
Turritella communis	6	3,00	*6,00*
Hinia reticulata	3	2,00	*2,31*
Lucinella divaricata	7	2,00	*2,31*
Nucula turgida	7	2,00	*2,31*
Asterias rubens	2	1,00	*2,00*
Callionymus maculatus	2	1,00	*2,00*
Cirolana cranchii	3	1,00	*2,00*
Ophiura ophiura	2	1,00	*2,00*
Phaxas pellucidus	6	1,00	*2,00*
Densité moyenne totale :		**54,00**	***5,16***
Richesse spécifique :		**15**	

Strate :	sables fins envasés (FV)		
Catégorie bathymétrique :	15 à 30 m		
Nombre de bennes :	7		
Genre Espèce	**CT**	**N/m²**	*e-t*
Angulus tenuis	6	44,57	*116,17*
Halcampa chrysanthellum	2	26,29	*47,71*
Amphiura brachiata	6	17,14	*37,00*
Mangelia rugulosa	2	12,00	*20,78*
Sipunculus nudus	8	9,14	*20,88*
Amphiura filiformis	6	8,57	*17,95*
Owenia fusiformis	7	6,86	*11,01*
Mangelia coarctata	2	5,71	*15,12*
Ophiura albida	2	4,57	*10,44*
Angulus squalidus	6	4,00	*7,66*
Bittium reticulatum	9	3,43	*7,46*
Hinia incrassata	3	2,86	*5,98*
Eurydice affinis	2	2,29	*4,54*
Harmothoë lunulata	2	2,29	*3,90*
Holothurie ind	-	2,29	*4,54*
Moerella donacina	6	2,29	*3,90*
Ophiocomina nigra	6	2,29	*6,05*
Pseudothyone raphanus	8	2,29	*4,54*
Conilera cylindracea	2	1,71	*3,15*
Leptosynapta inhaerans	4	1,71	*3,15*
Nematode ind	-	1,71	*4,54*
Phaxas pellucidus	6	1,71	*3,15*
Acanthocardia aculeata	6	1,14	*1,95*
Anapagurus hyndmanni	5	1,14	*3,02*
Astacilla longicornis	6	1,14	*1,95*
Philine aperta	2	1,14	*1,95*
Pholoë minuta	2	1,14	*3,02*
Aphrodita aculeata	2	0,57	*1,51*
Aphroditidae ind	2	0,57	*1,51*
Chamelea gallina	6	0,57	*1,51*
Leptopentacta elongata	6	0,57	*1,51*
Echinocardium cordatum	8	0,57	*1,51*
Eurydice pulchra	2	0,57	*1,51*
Gibbula tumida	9	0,57	*1,51*
Hiatella arctica	6	0,57	*1,51*
Labidoplax digitata	7	0,57	*1,51*
Lepidonotus sp	2	0,57	*1,51*
Lyonsia norwegica	6	0,57	*1,51*
Pagurus bernhardus	3	0,57	*1,51*
Phascolion strombus	8	0,57	*1,51*
Spisula elliptica	6	0,57	*1,51*
Tapes rhomboides	6	0,57	*1,51*
Telepsavrus costarum	6	0,57	*1,51*
Thracia pubescens	7	0,57	*1,51*
Thyone fusus	6	0,57	*1,51*
Turritella communis	6	0,57	*1,51*
Vitreolina collensi	2	0,57	*1,51*
Densité moyenne totale :		**182,86**	***214,58***
Richesse spécifique :		**47**	

Strate :	sables fins envasés (FV)		
Catégorie bathymétrique :	31 à 89 m		
Nombre de bennes :	2		
		N/m² pour chaque benne	
Genre Espèce	**CT**		
Eurydice pulchra	2	20	4
Echinocardium cordatum	6	8	0
Dosinia exoleta	8	4	4
Goodallia triangularis	6	4	4
Glycymeris glycymeris	6	4	0
Nucula hanleyi	7	4	0
Spisula elliptica	6	4	0
Densité moyenne totale :		**48**	
Richesse spécifique :		**7**	

ANNEXE C

Coefficients de présence des espèces de mégafaune et macrofaune dans les différents habitats (prélèvements non quantitatifs)

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les graviers biogènes. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat A : GRB		
nombre d'échantillons concernés :		5
nombre d'espèces :		32
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Cancer*	*pagurus*	80
**Marthasterias*	*glacialis*	80
**Maja*	*squinado*	60
**Aequipecten*	*opercularis*	40
Branchiostoma	*lanceolatum*	40
**Callochiton*	*septemvalvis*	40
**Ebalia*	*tuberosa*	40
**Laevicardium*	*crassum*	40
**Pecten*	*maximus*	40
**Pisidia*	*longicornis*	40
**Psammechinus*	*miliaris*	40
**Apletodon*	*dentatus*	20
**Atelecyclus*	*rotundatus*	20
**Callionymus*	*maculatus*	20
Circomphalus	*casina*	20
Clausinella	*fasciata*	20
**Conilera*	*cylindracea*	20
**Echinus*	*esculentus*	20
**Glycymeris*	*glycymeris*	20
**Inachus*	*phalangium*	20
**Liocarcinus*	*depurator*	20
**Liocarcinus*	*pusillus*	20
**Luidia*	*ciliaris*	20
**Macropodia*	*rostrata*	20
Moerella	*donacina*	20
**Ophiothrix*	*fragilis*	20
**Ophiura*	*albida*	20
**Pagurus*	*bernhardus*	20
Polinices	*pulchellus*	20
**Sphaerechinus*	*granularis*	20
Tapes	*rhomboides*	20
**Xantho*	*pilipes*	20

b : macrofaune

Habitat A : GRB		
nombre d'échantillons concernés :		4
nombre d'espèces :		6
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Lumbrineris	*sp*	75
Glycera	*sp*	50
Amaeana	*trilobata*	25
Nephtys	*hombergii*	25
**Ocinebrina*	*aciculata*	25
**Trivia*	*monacha*	25

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les cailloutis et sédiments hétérogènes. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat B : CSH		
nombre d'échantillons concernés :		18
nombre d'espèces :		92
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Marthasterias*	*glacialis*	50,0
**Pecten*	*maximus*	33,3
**Pisidia*	*longicornis*	27,8
*Anomie	ind	22,2
**Asterias*	*rubens*	22,2
**Echinus*	*esculentus*	22,2
**Ophiothrix*	*fragilis*	22,2
**Psammechinus*	*miliaris*	22,2
**Aequipecten*	*opercularis*	16,7
*Bryozoaires	ind	16,7
**Cancer*	*pagurus*	16,7
Clausinella	*fasciata*	16,7
Crepidula	*fornicata*	16,7
**Maja*	*squinado*	16,7
**Pyura*	*squamulosa*	16,7
**Styela*	*coriacea*	16,7
**Xantho*	*pilipes*	16,7
**Apletodon*	*dentatus*	11,1
Arcopagia	*crassa*	11,1
Circomphalus	*casina*	11,1
**Ebalia*	*tuberosa*	11,1
**Emarginula*	*fissura*	11,1
**Galathea*	*intermedia*	11,1
**Glycymeris*	*glycymeris*	11,1
**Halichondria*	*panicea*	11,1
**Hinia*	*reticulata*	11,1
**Lepidochitona*	*cinerea*	11,1
Leptopentacta	*elongata*	11,1
**Liocarcinus*	*pusillus*	11,1
**Urticina*	*felina*	11,1
**Actinia*	*fragacea*	5,6
**Alcyonium*	*digitatum*	5,6
Amphiura	*brachiata*	5,6
**Anapagurus*	*brevicarpus*	5,6
**Anemonia*	*viridis*	5,6
**Antedon*	*bifida*	5,6
*Aphroditidae	ind	5,6
*Ascidie	ind	5,6
**Ascidiella*	*sp*	5,6
**Atelecyclus*	*rotundatus*	5,6
**Atelecyclus*	*undecimdentatus*	5,6
**Aureliania*	*heterocera*	5,6
Branchiostoma	*lanceolatum*	5,6
**Buccinum*	*undatum*	5,6
**Calliostoma*	*zizyphinum*	5,6
**Callochiton*	*septemvalvis*	5,6
**Calyptraea*	*chinensis*	5,6
*Chiton	ind	5,6
**Conilera*	*cylindracea*	5,6
**Corynactis*	*viridis*	5,6
**Diodora*	*graeca*	5,6
**Diplecogaster*	*bimaculata*	5,6
**Discodoris*	*millegrana*	5,6
**Emarginula*	*rosea*	5,6
*Eponge	ind	5,6
**Eunicella*	*verrucosa*	5,6
**Eurydice*	*pulchra*	5,6
**Eurynome*	*aspera*	5,6
Galathea	*strigosa*	5,6
Gari	*tellinella*	5,6

b : macrofaune

Habitat B : CSH		
nombre d'échantillons concernés :		21
nombre d'espèces :		87
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Glycera	*sp*	42,9
Lumbrineris	*sp*	33,3
Amphipode	ind	28,6
Cirratulidae	ind	28,6
Notomastus	*latericeus*	28,6
Pista	*cristata*	23,8
Echinocyamus	*pusillus*	19,0
Hyalinoecia	*sp*	19,0
Phyllodoce	*sp*	19,0
Polychète	ind	19,0
Ampelisca	*sp*	14,3
Aponuphis	*bilineata*	14,3
Chaetozone	*setosa*	14,3
Maera	*othonis*	14,3
Nematoda	ind	14,3
Nephtys	*sp*	14,3
Syllidae	ind	14,3
Urothoë	*sp*	14,3
Ampelisca	*brevicornis*	9,5
Ampelisca	*toulemonti*	9,5
Amphictene	*auricoma*	9,5
Aonides	*oxycephala*	9,5
Euclymene	*oerstedii*	9,5
Maera	*sp*	9,5
Melitidae	ind	9,5
Mysella	*bidentata*	9,5
Paraonis	*fulgens*	9,5
**Sabellaria*	*spinulosa*	9,5
Staurocephalus	*sp*	9,5
Terebellidae	ind	9,5
**Tricolia*	*pullus*	9,5
Amaeana	*trilobata*	4,8
Ampelisca	*tenuicornis*	4,8
Amphipholis	*squamata*	4,8
Anaitides	*lineata*	4,8
Arachnide	ind	4,8
Aricia	*sp*	4,8
Atylus	*vedlomensis*	4,8
**Balanus*	*perforatus*	4,8
Caulleriella	*caput-esocis*	4,8
Ceradocus	*semiserratus*	4,8
Cirriformia	*tentaculata*	4,8
Clymenura	*clypeata*	4,8
Crabe	larve/juvénile	4,8
Crevette	juvénile	4,8
**Dexamine*	*spinosa*	4,8
Ehlersia	*cornuta*	4,8
Erichtonius	*punctatus*	4,8
**Eteone*	*longa*	4,8
Eunice	*sp*	4,8
Eunice	*vittata*	4,8
Eurysyllis	*tuberculata*	4,8
*Gastropoda	ind	4,8
Glycera	*lapidum*	4,8
Golfingia	*minuta*	4,8
Goniada	*sp*	4,8
Iphinoë	*trispinosa*	4,8
Lagis	*koreni*	4,8
Leptocheirus	*pectinatus*	4,8
Lumbrineris	*fragilis*	4,8

**Gibbula*	*tumida*	11,1
**Harmothoë*	*sp*	5,6
**Helcion*	*pellucidum*	5,6
**Henricia*	*sanguinolenta*	5,6
**Hinia*	*incrassata*	5,6
Holothuria	*forskali*	5,6
**Laevicardium*	*crassum*	5,6
**Leptochiton*	*asellus*	5,6
Limaria	*loscombi*	5,6
**Liocarcinus*	*arcuatus*	5,6
**Luidia*	*ciliaris*	5,6
**Macropodia*	*rostrata*	5,6
**Mytilus*	*edulis*	5,6
**Ophiocomina*	*nigra*	5,6
**Pagurus*	*bernhardus*	5,6
**Palliolum*	*tigerinum*	5,6
**Pandalina*	*brevirostris*	5,6
**Phallusia*	*mammillata*	5,6
Phascolion	*strombus*	5,6
**Pilumnus*	*hirtellus*	5,6
**Pinnotheres*	*pisum*	5,6
**Polinices*	*pulchellus*	5,6
**Scalpellum*	*scalpellum*	5,6
Spatangus	*purpureus*	5,6
**Sphaerechinus*	*granularis*	5,6
**Sphenia*	*binghami*	5,6
**Stichastrella*	*rosea*	5,6
Tapes	*rhomboides*	5,6
**Tethya*	*aurentium*	5,6
**Torpedo*	*marmorata*	5,6
Venus	*verrucosa*	5,6
**Xantho*	*incisus*	5,6

Lysianassa	*plumosa*	4,8
Lysianassidae	ind	4,8
Maera	*loveni*	4,8
Melita	*sp*	4,8
Minuspio	*cirrifera*	4,8
**Modiolula*	*phaseolina*	4,8
Nematonereis	*unicornis*	4,8
Nephtys	*caeca*	4,8
Nephtys	*hystricis*	4,8
Nereis	*zonata*	4,8
Odontosyllis	*gibba*	4,8
Poecilochaetus	*serpens*	4,8
Pomatoceros	*triqueter*	4,8
**Pseudoprotella*	*phasma*	4,8
**Rissoa*	*parva*	4,8
Sabellidae	ind	4,8
Scalibregma	*inflatum*	4,8
Scoloplos	*armiger*	4,8
*Serpulidae	ind	4,8
**Sigalion*	*sp*	4,8
*Sigalionidae	ind	4,8
Spio	*filicornis*	4,8
Spionidae	ind	4,8
Stenothoë	*sp*	4,8
Syllidae	lg cirres articulés	4,8
**Turbonilla*	*crenata*	4,8
Vermiliopsis	*infandibulum*	4,8

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les graviers au sens large. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat C : GL		
nombre d'échantillons concernés :		25
nombre d'espèces :		88
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Marthasterias*	*glacialis*	60
**Pecten*	*maximus*	40
**Echinus*	*esculentus*	32
**Cancer*	*pagurus*	28
**Glycymeris*	*glycymeris*	28
**Ophiothrix*	*fragilis*	24
**Astropecten*	*irregularis*	16
Eponge	ind	16
**Pisidia*	*longicornis*	16
Spatangus	*purpureus*	16
**Aequipecten*	*opercularis*	12
Clausinella	*fasciata*	12
Holothuria	*forskali*	12
**Laevicardium*	*crassum*	12
**Luidia*	*ciliaris*	12
**Ophiocomina*	*nigra*	12
**Psammechinus*	*miliaris*	12
Tapes	*rhomboides*	12
Arcopagia	*crassa*	8
**Asterias*	*rubens*	8
*Bryozoaires	ind	8
**Diazona*	*violacea*	8
**Ebalia*	*tuberosa*	8
**Galathea*	*intermedia*	8
**Halichondria*	*panicea*	8
**Maja*	*squinado*	8
**Pagurus*	*bernhardus*	8
**Scalpellum*	*scalpellum*	8
**Sphaerechinus*	*granularis*	8
**Xantho*	*pilipes*	8
**Alcyonium*	*digitatum*	4
**Anapagurus*	*brevicarpus*	4
*Anomie	ind	4
**Anseropoda*	*placenta*	4
*Aphroditidae	ind	4
**Aplysia*	*punctata*	4
Arcopella	*balaustina*	4
*Ascidie	ind	4
Asteridae	ind	4
**Atelecyclus*	*rotundatus*	4
**Athanus*	*nitescens*	4
**Aulactinia*	*verrucosa*	4
Branchiostoma	*lanceolatum*	4
**Calliactis*	*parasitica*	4
*Chiton	ind	4
**Chlamys*	*distorta*	4
Circomphalus	*casina*	4
**Cirolana*	*cranchii*	4
**Crepidula*	*fornicata*	4
**Diodora*	*graeca*	4
**Dosinia*	*exoleta*	4
Echinocardium	*sp*	4
**Eurydice*	*pulchra*	4
**Galathea*	*sp*	4
**Gibbula*	*tumida*	8
**Harmothoë*	*sp*	4
Hyperoplus	*lanceolatus*	4

b : macrofaune

Habitat C : GL		
nombre d'échantillons concernés :		21
nombre d'espèces :		76
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Glycera	*sp*	61,9
Lumbrineris	*sp*	57,1
Notomastus	*latericeus*	38,1
Syllidae	ind	38,1
Amphipode	ind	28,6
Nematoda	ind	28,6
Echinocyamus	*pusillus*	23,8
Polychète	*ind*	23,8
Ampelisca	*sp*	19,0
Laonice	*cirrata*	19,0
Nephtys	*sp*	19,0
Paraonis	*fulgens*	19,0
Spio	*filicornis*	19,0
Staurocephalus	*sp*	19,0
Ampelisca	*tenuicornis*	14,3
Aponuphis	*bilineata*	14,3
Cirratulidae	ind	14,3
Aponuphis	*sp*	14,3
Nereidae	ind	14,3
Phyllodoce	*sp*	14,3
Terebellidae	ind	14,3
Urothoë	*sp*	14,3
Abra	*nitida*	9,5
Crabe	larve/juvénile	9,5
Eunice	*vittata*	9,5
Goniada	*sp*	9,5
Melita	*sp*	9,5
Pista	*cristata*	9,5
Abra	*sp*	4,8
Ampharete	*grubei*	4,8
Ampharetidae	ind	4,8
Amphipholis	*squamata*	4,8
**Apseudes*	*latreilli*	4,8
Arabella	*iricolor*	4,8
Aricidea	*cerrutii*	4,8
Atylus	*falcatus*	4,8
Atylus	*guttatus*	4,8
Atylus	*sp*	4,8
Atylus	*vedlomensis*	4,8
Bathyporeia	*sp*	4,8
*Chelicerate	ind	4,8
Cirriformia	*tentaculata*	4,8
**Cylichna*	*cylindracea*	4,8
**Dexamine*	*spinosa*	4,8
Erycinacea	ind	4,8
Euclymene	*oerstedii*	4,8
Eunice	*harassii*	4,8
Eunice	*sp*	4,8
**Gnathia*	*dentata*	4,8
Golfingia	*minuta*	4,8
**Hydroides*	*norvegica*	4,8
**Iphinoë*	*trispinosa*	4,8
Lepidepecreum	*longicorne*	4,8
Lysianassidae	ind	4,8
Maera	*othonis*	4,8
Maera	*sp*	4,8
Melanella	*frielei*	4,8

**Idotea*	*sp*	4
**Inachus*	*dorsettensis*	4
**Inachus*	*phalangium*	4
**Lepadogaster*	*sp*	4
**Leptochiton*	*asellus*	4
**Liocarcinus*	*pusillus*	4
Nucula	*hanleyi*	4
Nucula	*nitidosa*	4
**Ophiura*	*albida*	4
*Ostracea	ind	4
*Paguridae	ind	4
**Palliolum*	*tigerinum*	4
**Phallusia*	*mammillata*	4
Phascolion	*strombus*	4
**Pinnotheres*	*pisum*	4
**Plagiocardium*	*papillosum*	4
**Pyura*	*squamulosa*	4
Scypha	*raphanus*	4
Sepia	*officinalis*	4
Sipunculus	*nudus*	4
**Solea*	*solea*	4
Solea	*sp*	4
Sphenia	*binghami*	4
**Striarca*	*lactea*	4
Styela	*coriacea*	4
Tapes	*aureus*	4
Timoclea	*ovata*	4
Torpedo	*marmorata*	4
Turritella	*communis*	4
Venus	*verrucosa*	4
**Xantho*	*incisus*	4

**Modiolus*	*sp*	4,8
Montacuta	*substriata*	4,8
**Musculus*	*marmoratus*	4,8
Mysella	*bidentata*	4,8
Nebalia	*bipes*	4,8
Nematonereis	*unicornis*	4,8
Nephtys	*ciliata*	4,8
Nereis	*sp*	4,8
Onuphis	*sp*	4,8
Opheliidae	ind	4,8
Parvicardium	*ovale*	4,8
Priapulus	*caudatus*	4,8
Sabellidae	ind	4,8
**Scaphander*	*lignarius*	4,8
**Serpula*	*vermicularis*	4,8
Spionidae	ind	4,8
Syllis	*sp*	4,8
Thracia	*phaseolina*	4,8
Thyasira	*flexuosa*	4,8

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les sables au sens large. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat D : SL		
nombre d'échantillons concernés :		34
nombre d'espèces :		98
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Marthasterias*	*glacialis*	52,9
**Glycymeris*	*glycymeris*	26,5
**Laevicardium*	*crassum*	23,5
**Luidia*	*ciliaris*	23,5
**Maja*	*squinado*	23,5
**Pecten*	*maximus*	17,6
Spatangus	*purpureus*	17,6
**Asterias*	*rubens*	14,7
**Astropecten*	*irregularis*	14,7
**Ophiothrix*	*fragilis*	14,7
**Aequipecten*	*opercularis*	11,8
*Bryozoaires	ind	11,8
**Cancer*	*pagurus*	11,8
Echinocardium	*cordatum*	11,8
**Echinus*	*esculentus*	11,8
**Hinia*	*reticulata*	11,8
**Ophiura*	*ophiura*	11,8
*Anomie	ind	8,8
**Crepidula*	*fornicata*	8,8
**Ophiocomina*	*nigra*	8,8
**Pagurus*	*bernhardus*	8,8
**Pisidia*	*longicornis*	8,8
**Raja*	*clavata*	8,8
**Solea*	*solea*	8,8
**Styela*	*coriacea*	8,8
Tapes	*rhomboides*	8,8
Amphiura	*brachiata*	5,9
**Anseropoda*	*placenta*	5,9
*Aphroditidae	ind	5,9
**Apletodon*	*dentatus*	5,9
**Diodora*	*graeca*	5,9
Discodoris	*millegrana*	5,9
Echinocardium	*sp*	5,9
*Eponge	ind	5,9
**Hinia*	*incrassata*	5,9
**Psammechinus*	*miliaris*	5,9
**Sepia*	*officinalis*	5,9
**Acanthocardia*	*echinata*	2,9
**Actinia*	*fragacea*	2,9
*Anémone	ind	2,9
**Antedon*	*bifida*	2,9
**Aplysia*	*punctata*	2,9
Arcopagia	*crassa*	2,9
*Ascidie	ind	2,9
Ascidiella	*sp*	2,9
**Buglossidium*	*luteum*	2,9
**Calliactis*	*parasitica*	2,9
**Callista*	*chione*	2,9
**Caryophyllia*	*smithii*	2,9
*Chiton	ind	2,9
Circomphalus	*casina*	2,9
Clausinella	*fasciata*	2,9
Corynactis	*viridis*	2,9
Dentalium	*novemcostatum*	2,9
**Diplecogaster*	*bimaculata*	2,9
**Ebalia*	*tuberosa*	2,9
**Echiichthys*	*vipera*	2,9

b : macrofaune

Habitat D : SL		
nombre d'échantillons concernés :		24
nombre d'espèces :		89
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Glycera	*sp*	62,5
Nephtys	*sp*	45,8
Notomastus	*latericeus*	41,7
Lumbrineris	*sp*	37,5
Cirratulidae	ind	33,3
Nematoda	ind	29,2
Spio	*filicornis*	29,2
Amphipode	ind	25,0
Phyllodoce	*sp*	25,0
Syllidae	ind	25,0
Urothoë	*sp*	25,0
Iphinoë	*trispinosa*	20,8
Magelona	*mirabilis*	20,8
Moerella	*pygmaea*	20,8
Nereidae	ind	20,8
Polychète	ind	20,8
Bathyporeia	*sp*	16,7
Goniada	*sp*	16,7
Hyalinoecia	*sp*	16,7
Paraonis	*fulgens*	16,7
Terebellidae	ind	16,7
Thracia	*phaseolina*	16,7
Ampelisca	*sp*	12,5
Atylus	*guttatus*	12,5
Echinocyamus	*pusillus*	12,5
Mysella	*bidentata*	12,5
Pista	*cristata*	12,5
Scoloplos	*armiger*	12,5
Abludomelita	*gladiosa*	8,3
Abra	*sp*	8,3
Amphictene	*auricoma*	8,3
Aponuphis	*bilineata*	8,3
Aricia	*sp*	8,3
Atylus	*falcatus*	8,3
**Caprella*	*acanthifera*	8,3
*Caprelle	ind	8,3
Euclymene	*oerstedii*	8,3
Magelona	*minuta*	8,3
Marphysa	*bellii*	8,3
Nematonereis	*unicornis*	8,3
Pontocrates	*sp*	8,3
Sabellidae	ind	8,3
Staurocephalus	*sp*	8,3
Abra	*nitida*	4,2
Ampelisca	*brevicornis*	4,2
Ampelisca	*sarsi*	4,2
Ampelisca	*toulemonti*	4,2
Ampelisca	*typica*	4,2
Ampharetidae	ind	4,2
Ampithoe	*ramondi*	4,2
Aonides	*oxycephala*	4,2
Aricidea	*cerrutii*	4,2
Atylus	*vedlomensis*	4,2
**Balanus*	*perforatus*	4,2
Bathyporeia	*pelagica*	4,2
Caulleriella	*caput-esocis*	4,2
Corophium	*sextonae*	4,2

Echinocardium	*flavescens*	2,9
**Emarginula*	*fissura*	2,9
**Emarginula*	*rosea*	2,9
**Eunicella*	*verrucosa*	2,9
**Eurynome*	*aspera*	2,9
Gari	*fervensis*	2,9
**Gibbula*	*tumida*	2,9
**Gobiusculus*	*flavescens*	2,9
**Henricia*	*sanguinolenta*	2,9
**Hyperoplus*	*lanceolatus*	2,9
**Idotea*	*sp*	2,9
**Inachus*	*dorsettensis*	2,9
**Lepidochitona*	*cinerea*	2,9
**Leptochiton*	*asellus*	2,9
**Liocarcinus*	*arcuatus*	2,9
**Liocarcinus*	*pusillus*	2,9
**Loligo*	*vulgaris*	2,9
**Mytilus*	*edulis*	2,9
**Necora*	*puber*	2,9
**Ocenebra*	*erinacea*	2,9
**Ophiura*	*albida*	2,9
Owenia	*fusiformis*	2,9
*Paguridae	ind	2,9
**Pagurus*	*prideaux*	2,9
**Pagurus*	*sp*	2,9
**Palaemonetes*	*varians*	2,9
**Phallusia*	*mammillata*	2,9
Phascolion	*strombus*	2,9
Phaxas	*pellucidus*	2,9
**Psetta*	*maxima*	2,9
**Pyura*	*squamulosa*	2,9
**Scophthalmus*	*rhombus*	2,9
**Scyliorhinus*	*canicula*	2,9
**Solea*	*lascaris*	2,9
**Solea*	*sp*	2,9
**Sphaerechinus*	*granularis*	2,9
**Sphenia*	*binghami*	2,9
**Striarca*	*lactea*	2,9
**Torpedo*	*marmorata*	2,9
Turritella	*communis*	2,9
**Xantho*	*pilipes*	2,9

Corophium	*sp*	4,2
**Cylichna*	*cylindracea*	4,2
**Dexamine*	*spinosa*	4,2
Dynamene	*bidentata*	4,2
**Eteone*	*longa*	4,2
Eunice	*sp*	4,2
Eupolymnia	*nesidensis*	4,2
**Gnathia*	*praniza*	4,2
**Gnathia*	*sp*	4,2
Hippomedon	*denticulatus*	4,2
Lepidepecreum	*longicorne*	4,2
Leucothoë	*lilljeborgi*	4,2
Lumbrineris	*gracilis*	4,2
Minuspio	*cirrifera*	4,2
**Musculus*	*marmoratus*	4,2
Nebalia	*bipes*	4,2
Nephtys	*ciliata*	4,2
Nephtys	*cirrosa*	4,2
Nephtys	*hombergii*	4,2
Nereis	*zonata*	4,2
Ophelia	*borealis*	4,2
Opheliidae	ind	4,2
Perioculodes	*longimanus*	4,2
Phyllodoce	*laminosa*	4,2
Pontocrates	*arenarius*	4,2
Pseudoprotella	*phasma*	4,2
Sabellaria	*spinulosa*	4,2
Scolelepis	*sp*	4,2
Serpula	*vermicularis*	4,2
**Sigalionidae*	*ind*	4,2
Synchelidium	*maculatum*	4,2
Turbonilla	*crenata*	4,2

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les sables fins envasés. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat E : FV		
nombre d'échantillons concernés :		8
nombre d'espèces :		38
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Pecten*	*maximus*	100
**Marthasterias*	*glacialis*	75
**Crepidula*	*fornicata*	62,5
**Aequipecten*	*opercularis*	50
**Asterias*	*rubens*	50
**Astropecten*	*irregularis*	37,5
**Buccinum*	*undatum*	37,5
**Pagurus*	*bernhardus*	37,5
Amphiura	*brachiata*	25
**Cancer*	*pagurus*	25
**Laevicardium*	*crassum*	25
**Ophiocomina*	*nigra*	25
**Ophiothrix*	*fragilis*	25
**Sphaerechinus*	*granularis*	25
**Alcyonium*	*digitatum*	12,5
*Anomie	ind	12,5
*Aphroditidae	ind	12,5
**Apletodon*	*dentatus*	12,5
**Atelecyclus*	*undecimdentatus*	12,5
*Bryozoaires	ind	12,5
**Calliactis*	*parasitica*	12,5
**Callista*	*chione*	12,5
Chaetopterus	*variopedatus*	12,5
Echinidae	ind	12,5
Echinocardium	*cordatum*	12,5
**Echinus*	*esculentus*	12,5
**Gibbula*	*magus*	12,5
**Glycymeris*	*glycymeris*	12,5
**Halichondria*	*panicea*	12,5
**Inachus*	*dorsettensis*	12,5
**Lepadogaster*	*lepadogaster*	12,5
**Liocarcinus*	*depurator*	12,5
**Maja*	*squinado*	12,5
**Ophiura*	*albida*	12,5
**Ophiura*	*ophiura*	12,5
**Pisidia*	*longicornis*	12,5
**Pododesmus*	*patelliformis*	12,5
**Solea*	*sp*	12,5

b : macrofaune

Habitat E : FV		
nombre d'échantillons concernés :		6
nombre d'espèces :		69
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Glycera	*sp*	66,7
Amphipode	ind	50,0
Nephtys	*sp*	50,0
Cirratulidae	ind	33,3
**Cylichna*	*cylindracea*	33,3
Eunice	*vittata*	33,3
Glycera	*lapidum*	33,3
Goniada	*maculata*	33,3
Lumbrineris	*sp*	33,3
Nematoda	ind	33,3
Notomastus	*latericeus*	33,3
**Pomatoceros*	*triqueter*	33,3
**Thyasira*	*ferruginea*	33,3
Amaeana	*trilobata*	16,7
Ampelisca	*sp*	16,7
Ampelisca	*toulemonti*	16,7
Ampharete	*grubei*	16,7
Amphipholis	*squamata*	16,7
Arabella	*iricolor*	16,7
Aricidea	*cerrutii*	16,7
Bathyporeia	*sp*	16,7
Capitella	*capitata*	16,7
Capulus	*ungaricus*	16,7
Caulleriella	*caput-esocis*	16,7
Crabe	larve/juvénile	16,7
Cumacea	ind	16,7
Diastylis	*sp*	16,7
Echinocyamus	*pusillus*	16,7
**Eteone*	*longa*	16,7
Euclymene	*oerstedii*	16,7
Eunice	*harassii*	16,7
Eunicidae	ind	16,7
Gammarella	*fucicola*	16,7
Gammaropsis	*sophiae*	16,7
Glycinde	*Nordmanni*	16,7
Hyalinoecia	*fauveli*	16,7
Lumbrineris	*gracilis*	16,7
Magelona	*mirabilis*	16,7
Magelona	*sp*	16,7
Maldane	*glebifex*	16,7
Maldanella	*Harai*	16,7
Maldanidae	ind	16,7
Melinna	*palmata*	16,7
Minuspio	*cirrifera*	16,7
Mysella	*bidentata*	16,7
Nemertea	ind	16,7
Nematonereis	*unicornis*	16,7
Nephtys	*hombergii*	16,7
Nereidae	ind	16,7
Nereis	*fucata*	16,7
Nereis	*sp*	16,7
Onoba	*aculeus*	16,7
**Orseis*	*pulla*	16,7
Paraonidae	ind	16,7
Paraonis	*fulgens*	16,7
Phyllodoce	*sp*	16,7
Pista	*cristata*	16,7
Polydora	*caeca*	16,7
Protula	*tubularia*	16,7
**Pusillina*	*inconspicua*	16,7
Pygospio	*elegans*	16,7
**Rissoa*	*guerini*	16,7
Sabellidae	ind	16,7
*Serpulidae	ind	16,7
Spio	*filicornis*	16,7
Syllidae	ind	16,7
Terebellidae	ind	16,7
**Thyasira*	*flexuosa*	16,7
Turbonilla	*jeffreysii*	16,7

Coefficients de présence des espèces de mégafaune (a) et de macrofaune (b) dans les sédiments hétérogènes envasés. Les espèces appartenant à l'épifaune (fixée ou vagile) sont précédées d'un astérisque.

a : mégafaune

Habitat F : SHV		
nombre d'échantillons concernés :		2
nombre d'espèces :		15
Genre	**Espèce**	**coeff P**
**Echinus*	*esculentus*	100
**Marthasterias*	*glacialis*	100
**Pecten*	*maximus*	100
**Aequipecten*	*opercularis*	50
**Asterias*	*rubens*	50
**Buccinum*	*undatum*	50
**Calliactis*	*parasitica*	50
*Eponge	ind	50
**Harmothoë*	*sp*	50
**Luidia*	*ciliaris*	50
**Ophiocomina*	*nigra*	50
**Ophiothrix*	*fragilis*	50
*Paguridae	ind	50
Pagurus	*bernhardus*	50
**Sphaerechinus*	*granularis*	50

b : macrofaune

Habitat F : SHV		
nombre d'échantillons concernés :		2
nombre d'espèces :		39
Genre	**Espèce**	**coeff P**
Euclymene	*oerstedii*	100
Nematoda	ind	100
Notomastus	*latericeus*	100
Sabellidae	ind	100
Terebellidae	ind	100
Abra	*nitida*	50
Acidostoma	*obesum*	50
Ampelisca	*sp*	50
Ampelisca	*toulemonti*	50
Ampelisca	*typica*	50
Ampharetidae	ind	50
Amphipode	ind	50
**Apseudes*	*talpa*	50
Arabella	*iricolor*	50
Cirratulidae	ind	50
Ehlersia	*cornuta*	50
Eunice	*sp*	50
Eunice	*vittata*	50
Glycera	*sp*	50
Goniada	*sp*	50
Hyalinoecia	*sp*	50
Lumbrineris	*fragilis*	50
Lumbrineris	*gracilis*	50
Lumbrineris	*sp*	50
Lysidice	*ninetta*	50
Melanella	*alba*	50
Modiolula	*phaseolina*	50
Mysella	*bidentata*	50
Nematonereis	*unicornis*	50
Nephtys	*hombergii*	50
Nephtys	*sp*	50
**Phtisica*	*marina*	50
Phyllodoce	*sp*	50
**Pomatoceros*	*triqueter*	50
Spio	*filicornis*	50
Staurocephalus	*sp*	50
Syllidae	ind	50
Terebellides	*stroemi*	50
**Thyasira*	*flexuosa*	50

ANNEXE D

Inerties relatives et cosinus carrés des lignes et des colonnes pour les Analyses Factorielles des Correspondances

AFC réalisée sur 34 lignes (espèces) et 9 colonnes (types sédimentaires)

Inerties relatives des points-colonnes (%) :

	F1	F2	F3
C	0,493	27,659	6,483
FV	13,904	32,531	32,858
GP	1,699	0,132	0,001
GH	1,881	20,290	3,321
GRB	51,351	17,219	7,983
SF	1,612	0,092	0,009
SFB	0,171	0,953	0,491
SG	0,317	1,065	0,119
SHV	28,572	0,060	48,734

Cosinus carrés des points-colonnes :

	F1	F2	F3
C	0,019	0,724	0,132
FV	0,259	0,408	0,320
GP	0,120	0,006	0,000
GH	0,095	0,691	0,088
GRB	0,747	0,168	0,061
SF	0,252	0,010	0,001
SFB	0,020	0,074	0,030
SG	0,076	0,172	0,015
SHV	0,522	0,001	0,465

Inerties relatives des points-lignes (%) :

	F1	F2	F3
AMBA	6,977	3,374	0,056
AMFI	0,658	0,966	1,340
ANHY	0,173	0,064	0,239
ANSQ	0,005	0,265	1,583
ANTE	2,675	11,427	19,696
APHR	0,791	0,535	2,745
BRLA	2,499	2,486	0,588
CELO	0,106	0,113	0,841
CHGA	0,236	0,199	0,281
CICA	0,331	1,953	0,781
CICR	0,401	0,038	1,337
CLFA	4,356	0,013	0,008
DOEX	6,371	2,236	0,347
EBTU	1,474	0,177	0,072
ECCO	0,056	0,345	2,088
GALX	0,252	1,681	0,709
GASR	0,246	1,508	0,678
GLGL	38,364	12,749	6,545
HACH	4,547	4,899	1,322
ISAL	0,106	0,113	0,841
LADI	4,325	0,059	14,528
MACO	0,043	0,578	2,342
MARU	0,339	2,098	5,257
NEPE	0,106	0,113	0,841
OPNI	0,055	0,945	0,000
OPFR	0,955	8,537	1,971
OPAL	0,105	0,188	0,122
OWFU	9,263	0,283	11,366
PAGU	0,023	1,926	0,035
PHPE	1,707	0,002	2,517
PILO	2,944	35,710	9,813
SINU	0,293	1,766	5,032
STBO	0,750	0,413	3,307
TARH	8,468	2,240	0,773

Cosinus carrés des points-lignes :

	F1	F2	F3
AMBA	0,583	0,190	0,002
AMFI	0,285	0,281	0,302
ANHY	0,389	0,096	0,280
ANSQ	0,005	0,162	0,754
ANTE	0,124	0,357	0,478
APHR	0,252	0,115	0,457
BRLA	0,223	0,149	0,027
CELO	0,149	0,107	0,616
CHGA	0,342	0,194	0,213
CICA	0,131	0,522	0,162
CICR	0,341	0,022	0,594
CLFA	0,713	0,001	0,001
DOEX	0,749	0,177	0,021
EBTU	0,746	0,060	0,019
ECCO	0,027	0,113	0,532
GALX	0,128	0,576	0,189
GASR	0,115	0,476	0,166
GLGL	0,749	0,167	0,067
HACH	0,467	0,339	0,071
ISAL	0,149	0,107	0,616
LADI	0,343	0,003	0,602
MACO	0,025	0,229	0,720
MARU	0,075	0,311	0,606
NEPE	0,149	0,107	0,616
OPNI	0,005	0,062	0,000
OPFR	0,105	0,631	0,113
OPAL	0,166	0,201	0,101
OWFU	0,572	0,012	0,367
PAGU	0,015	0,832	0,012
PHPE	0,522	0,000	0,402
PILO	0,082	0,670	0,143
SINU	0,069	0,280	0,620
STBO	0,261	0,097	0,602
TARH	0,758	0,135	0,036

AFC réalisée sur 104 lignes (taxons) et 38 colonnes (stations)

Inerties relatives des points-colonnes (%) :

	F1	F2	F3
A1	2,522	0,151	10,784
B1	5,008	1,495	4,207
C1	0,014	0,084	4,207
E1	3,902	0,799	0,073
G1	2,458	0,816	0,627
I1	0,473	0,000	3,708
L1	0,006	0,097	1,347
N1	0,963	0,042	3,180
P1	1,537	1,227	0,449
S1	0,009	0,083	2,431
U1	0,932	0,364	0,318
A2	4,228	0,740	0,241
B2	1,607	0,666	0,371
C2	0,002	0,120	2,748
E2	6,392	2,348	13,971
G2	3,790	1,309	1,862
I2	0,267	0,004	1,055
L2	0,119	0,017	1,353
N2	0,028	0,078	0,878
P2	6,001	4,227	12,031
S2	0,135	0,052	3,699
U2	2,501	0,253	2,548
CM1-1	0,678	6,170	0,334
CM2-1	1,584	2,195	1,004
CM3-1	2,594	0,837	1,356
CM4-1	0,178	2,228	7,437
CM5-1	4,791	1,459	0,016
CM6-1	0,708	1,043	0,242
CM8-1	8,205	1,451	0,693
CM9-1	14,350	15,862	0,161
CM1-2	1,115	11,967	6,876
CM2-2	1,628	9,610	5,873
CM3-2	0,028	3,430	0,089
CM4-2	0,001	4,708	1,106
CM5-2	11,000	3,080	0,349
CM6-2	10,231	9,893	0,192
CM8-2	0,000	4,386	0,199
CM9-2	0,018	6,708	1,984

Cosinus carrés des points-colonnes :

	F1	F2	F3
A1	0,177	0,005	0,281
B1	0,398	0,059	0,124
C1	0,002	0,006	0,207
E1	0,427	0,043	0,003
G1	0,459	0,076	0,043
I1	0,062	0,000	0,181
L1	0,002	0,017	0,173
N1	0,126	0,003	0,154
P1	0,214	0,085	0,023
S1	0,002	0,010	0,222
U1	0,148	0,029	0,019
A2	0,303	0,026	0,006
B2	0,319	0,066	0,027
C2	0,000	0,016	0,269
E2	0,423	0,077	0,343
G2	0,390	0,067	0,071
I2	0,120	0,001	0,176
L2	0,018	0,001	0,075
N2	0,012	0,017	0,143
P2	0,370	0,129	0,275
S2	0,029	0,006	0,294
U2	0,321	0,016	0,121
CM1-1	0,056	0,254	0,010
CM2-1	0,203	0,140	0,048
CM3-1	0,263	0,042	0,051
CM4-1	0,008	0,048	0,121
CM5-1	0,598	0,090	0,001
CM6-1	0,097	0,071	0,012
CM8-1	0,513	0,045	0,016
CM9-1	0,452	0,248	0,002
CM1-2	0,061	0,326	0,140
CM2-2	0,118	0,345	0,157
CM3-2	0,005	0,286	0,006
CM4-2	0,000	0,247	0,043
CM5-2	0,525	0,073	0,006
CM6-2	0,455	0,218	0,003
CM8-2	0,000	0,253	0,009
CM9-2	0,001	0,174	0,038

Inerties relatives des points-lignes (%) :

	F1	F2	F3
ABPR	0,591	0,006	2,755
AMBR	3,378	1,795	0,111
AMSA	2,002	0,936	0,205
AMSP	0,045	3,007	0,679
AMTE	1,036	0,203	0,385
AMTO	1,963	0,335	7,133
AMGU	0,002	0,293	0,114
AMSQ	0,003	0,000	0,195
AMBA	0,240	0,004	2,780
AMFI	7,867	5,816	6,912
ANHY	0,021	0,503	0,100
ANSQ	0,023	0,526	0,007
AOOX	0,337	0,031	0,391
APBL	0,457	0,831	0,545
ATSW	0,114	0,006	1,767
BATH	0,813	0,251	0,000
BRLA	0,821	1,078	0,176
CACA	5,236	0,001	1,008
CESE	1,022	0,459	0,027
CHSE	1,474	0,005	0,136
CICR	0,564	0,049	1,936
CIRR	0,045	0,073	1,384
COCY	0,280	0,282	0,225
CRTR	0,027	0,003	0,840
LCRE	0,617	0,620	0,203
CYCY	1,471	0,173	0,529
ECCO	0,181	0,007	3,323

Cosinus carrés des points-lignes :

	F1	F2	F3
ABPR	0,159	0,001	0,275
AMBR	0,490	0,129	0,006
AMSA	0,310	0,072	0,012
AMSP	0,010	0,329	0,056
AMTE	0,203	0,020	0,028
AMTO	0,142	0,012	0,192
AMGU	0,003	0,244	0,071
AMSQ	0,002	0,000	0,051
AMBA	0,068	0,001	0,293
AMFI	0,518	0,190	0,169
ANHY	0,011	0,128	0,019
ANSQ	0,032	0,376	0,004
AOOX	0,197	0,009	0,085
APBL	0,170	0,153	0,075
ATSW	0,052	0,001	0,298
BATH	0,498	0,076	0,000
BRLA	0,511	0,332	0,041
CACA	0,557	0,000	0,040
CESE	0,517	0,115	0,005
CHSE	0,354	0,001	0,012
CICR	0,158	0,007	0,202
CIRR	0,017	0,013	0,191
COCY	0,253	0,126	0,075
CRTR	0,033	0,002	0,383
LCRE	0,104	0,052	0,013
CYCY	0,551	0,032	0,073
ECCO	0,041	0,001	0,279

ECPU	0,004	0,343	0,001
ETLO	0,275	0,095	0,146
EURU	0,098	0,838	0,070
EUOE	0,522	2,894	4,253
EUHA	0,286	0,551	0,045
EUVI	0,144	1,795	0,266
EUNE	0,002	0,280	0,018
EUPU	0,229	0,060	0,826
FAFA	0,042	0,134	1,557
GICI	0,300	0,002	0,057
GLYX	4,177	0,219	0,080
GLGL	0,921	0,879	0,188
GOMI	0,242	0,126	0,071
HACH	0,008	2,202	0,001
HALU	0,078	1,154	0,551
HASI	4,108	1,688	0,010
HEOE	0,000	0,319	0,003
HIRE	0,131	0,012	0,969
HIDE	0,010	0,010	0,690
HYFA	0,627	0,489	1,042
HYNO	0,000	0,348	0,779
IPTR	0,278	0,001	2,829
LAKO	0,141	0,054	1,188
LACI	1,463	0,723	0,071
LELO	0,112	0,000	1,713
LETR	1,548	1,798	0,075
LECA	1,163	0,694	0,088
LUDI	0,001	0,885	0,254
LUMX	0,001	0,377	6,350
MAOT	0,400	0,112	0,098
MAFI	0,055	1,411	0,149
MAMI	0,084	0,001	1,175
MAGX	0,068	0,682	0,802
MABE	0,494	0,019	0,143
MICI	0,562	0,237	0,597
MYBI	3,772	1,740	3,655
NEMD	3,184	2,580	0,043
NEUN	0,524	6,451	1,124
NEMT	10,450	18,268	0,162
NECA	0,023	0,036	2,171
NECI	0,050	0,027	2,633
NEHO	0,971	0,201	0,309
NEPX	0,001	0,001	1,152
NEPN	0,140	0,571	0,086
NICX	0,004	0,025	1,265
NOLA	1,596	0,263	1,029
ODDU	0,017	0,493	0,013
OPNI	2,267	3,110	0,637
OPFR	0,004	0,001	0,093
ORBI	0,392	0,182	0,031
ORAR	2,005	1,399	2,853
OSTR	0,620	0,313	0,516
OWFU	0,001	4,054	0,075
PAFU	0,071	1,255	0,008
PHEX	1,369	0,124	0,311
PHIN	0,060	0,059	4,968
PHOR	0,001	1,105	0,396
PILO	0,329	1,326	0,004
PICR	0,981	0,528	0,629
POYX	0,022	0,938	0,133
POGI	0,002	0,068	0,858
POTR	0,366	1,316	3,448
SASP	0,000	0,157	1,449
SCAR	3,695	1,776	0,337
SPBU	0,798	0,130	0,003
SPFI	0,631	0,084	2,141
SPCI	0,006	0,350	0,082
SPBO	1,499	0,056	1,894
STAX	1,399	0,077	0,378
SYL1	3,649	3,196	0,023
SYL2	1,340	1,338	0,094
SYL3	3,905	3,288	0,001
THFL	0,055	2,303	0,022
TRRO	0,931	1,218	1,689
TRLO	0,185	0,031	1,171
TUCO	0,153	0,001	0,251
URPU	3,330	0,835	0,842

ECPU	0,002	0,093	0,000
ETLO	0,201	0,034	0,040
EURU	0,085	0,361	0,023
EUOE	0,106	0,293	0,321
EUHA	0,123	0,118	0,007
EUVI	0,051	0,314	0,035
EUNE	0,001	0,114	0,006
EUPU	0,095	0,012	0,127
FAFA	0,026	0,041	0,355
GICI	0,188	0,001	0,013
GLYX	0,833	0,022	0,006
GLGL	0,396	0,187	0,030
GOMI	0,292	0,076	0,032
HACH	0,002	0,249	0,000
HALU	0,044	0,321	0,115
HASI	0,602	0,123	0,001
HEOE	0,001	0,277	0,002
HIRE	0,089	0,004	0,246
HIDE	0,007	0,003	0,169
HYFA	0,108	0,042	0,067
HYNO	0,000	0,095	0,159
IPTR	0,082	0,000	0,309
LAKO	0,114	0,022	0,356
LACI	0,459	0,113	0,008
LELO	0,059	0,000	0,333
LETR	0,279	0,161	0,005
LECA	0,362	0,107	0,010
LUDI	0,001	0,331	0,071
LUMX	0,000	0,034	0,432
MAOT	0,201	0,028	0,018
MAFI	0,019	0,237	0,019
MAMI	0,032	0,000	0,165
MAGX	0,015	0,073	0,064
MABE	0,305	0,006	0,033
MICI	0,335	0,070	0,132
MYBI	0,363	0,083	0,130
NEMD	0,297	0,119	0,001
NEUN	0,081	0,495	0,064
NEMT	0,417	0,362	0,002
NECA	0,004	0,003	0,152
NECI	0,011	0,003	0,212
NEHO	0,298	0,031	0,035
NEPX	0,000	0,000	0,076
NEPN	0,086	0,174	0,020
NICX	0,003	0,007	0,284
NOLA	0,443	0,036	0,106
ODDU	0,012	0,181	0,003
OPNI	0,419	0,285	0,044
OPFR	0,002	0,000	0,012
ORBI	0,249	0,057	0,007
ORAR	0,258	0,089	0,136
OSTR	0,314	0,079	0,097
OWFU	0,000	0,426	0,006
PAFU	0,010	0,087	0,000
PHEX	0,598	0,027	0,050
PHIN	0,020	0,010	0,629
PHOR	0,000	0,194	0,052
PILO	0,052	0,104	0,000
PICR	0,331	0,088	0,079
POYX	0,012	0,242	0,026
POGI	0,001	0,028	0,261
POTR	0,024	0,042	0,083
SASP	0,000	0,027	0,185
SCAR	0,575	0,137	0,019
SPBU	0,245	0,020	0,000
SPFI	0,155	0,010	0,195
SPCI	0,009	0,249	0,043
SPBO	0,355	0,007	0,166
STAX	0,479	0,013	0,048
SYL1	0,542	0,236	0,001
SYL2	0,594	0,294	0,015
SYL3	0,592	0,247	0,000
THFL	0,033	0,690	0,005
TRRO	0,250	0,162	0,168
TRLO	0,143	0,012	0,335
TUCO	0,064	0,000	0,039
URPU	0,626	0,078	0,059

ANNEXE E

Liste totale des espèces rencontrées

Codes des espèces et codes trophiques

Phylum	Taxon	CTX	Code sp	CT	Genre	Espèce
Ascidies		ASC	ASCI	6	Ascidie	ind
Ascidies		ASC	ASCX	6	*Ascidiella*	*sp*
Ascidies		ASC	DIVI	6	*Diazona*	*violacea*
Ascidies		ASC	MOLX	6	*Molgula*	*sp*
Ascidies		ASC	PHMM	6	*Phallusia*	*mammillata*
Ascidies		ASC	PYSQ	6	*Pyura*	*squamulosa*
Ascidies		ASC	STCL	6	*Styela*	*clava*
Ascidies		ASC	STCO	6	*Styela*	*coriacea*
Porifères		POR	HAPA	6	*Halichondria*	*panicea*
Porifères		POR	PORI	6	Porifera	ind
Porifères		POR	SCRA	6	*Scypha*	*raphanus*
Porifères		POR	TEAU	6	*Tethya*	*aurantium*
Bryozoaires		BRYO	BRYO	-	Bryozoa	ind
Céphalochordés		CEP	BRLA	6	*Branchiostoma*	*lanceolatum*
Cnidaires		CNI	ACFR	2	*Actinia*	*fragacea*
Cnidaires		CNI	ADCA	2	*Adamsia*	*carciniopados*
Cnidaires		CNI	ALDI	2	*Alcyonium*	*digitatum*
Cnidaires		CNI	ANEM	2	Anémone	ind
Cnidaires		CNI	ANVI	2	*Anemonia*	*viridis*
Cnidaires		CNI	AUVE	2	*Aulactinia*	*verrucosa*
Cnidaires		CNI	AUHE	2	*Aureliania*	*heterocera*
Cnidaires		CNI	CAPA	2	*Calliactis*	*parasitica*
Cnidaires		CNI	CASM	2	*Caryophyllia*	*smithii*
Cnidaires		CNI	CEPE	2	*Cereus*	*pedonculatus*
Cnidaires		CNI	CELO	2	*Cerianthus*	*lloydii*
Cnidaires		CNI	COVI	2	*Corynactis*	*viridis*
Cnidaires		CNI	EUVR	2	*Eunicella*	*verrucosa*
Cnidaires		CNI	HACH	2	*Halcampa*	*chrysanthellum*
Cnidaires		CNI	URFE	2	*Urticina*	*felina*
Foraminifères		FOR	FORA	7	Foraminifère	ind
Chélicérates	Arachnides	CHELAR	ARAC	2	Arachnida	ind
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	ACEC	2	*Achelia*	*echinata*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	ACHX	2	*Achelia*	*sp*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	ANOX	2	*Anoplodactylus*	*sp*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	ENSP	2	*Endeis*	*spinosa*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	NYBR	2	*Nymphon*	*brevirostre*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	NYGR	2	*Nymphon*	*gracile*
Chélicérates	Pycnogonides	CHELPYC	PYCN	2	Pycnogonida	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ABGL	5	*Abludomelita*	*gladiosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ABOB	5	*Abludomelita*	*obtusata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ACOB	7	*Acidostoma*	*obesum*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMBR	6	*Ampelisca*	*brevicornis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMDI	6	*Ampelisca*	*diadema*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMSA	6	*Ampelisca*	*sarsi*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMEX	6	*Ampelisca*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMSP	6	*Ampelisca*	*spinipes*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMTE	6	*Ampelisca*	*tenuicornis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMTO	6	*Ampelisca*	*toulemonti*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMTY	6	*Ampelisca*	*typica*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMPL	7	Amphilochidae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMPH	-	Amphipode	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMPM	-	*Amphipode*	*sp1*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AMRA	5	*Ampithoe*	*ramondi*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	AORI	5	Aoridae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	APBI	2	*Apherusa*	*bispinosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	APHE	2	*Apherusa*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ATFA	5	*Atylus*	*falcatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ATGU	5	*Atylus*	*guttatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ATYX	5	*Atylus*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ATSW	5	*Atylus*	*swammerdami*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ATVE	5	*Atylus*	*vedlomensis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	BANA	3	*Bathyporeia*	*nana*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	BAPE	3	*Bathyporeia*	*pelagica*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	BAPI	3	*Bathyporeia*	*pilosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	BASA	3	*Bathyporeia*	*sarsi*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	BATH	3	*Bathyporeia*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	CESE	5	*Ceradocus*	*semiserratus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	CHEX	5	*Cheirocratus*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	COSE	6	*Corophium*	*sextonae*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	CORX	6	*Corophium*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	DESP	5	*Dexamine*	*spinosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	DESP	5	*Dexamine*	*spinosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ERPU	6	*Ericthonius*	*punctatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	EULO	2	*Eusirus*	*longipes*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	GAFA	5	*Gammarella*	*fucicola*

Crustacés	Amphipodes	CRAM	GAMA	5	*Gammaropsis*	*maculata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	GASO	5	*Gammaropsis*	*sophiae*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	GAAX	5	*Gammaropsis*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	GUCO	5	*Guernea*	*coalita*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HAAN	7	*Harpinia*	*antennaria*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HALA	7	*Harpinia*	*laevis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HAPE	7	*Harpinia*	*pectinata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HASE	7	*Harpinia*	*serrata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HAPX	7	*Harpinia*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HIDE	7	*Hippomedon*	*denticulatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	HYAX	5	*Hyale*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ISAI	5/2	Isaidae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LELO	7	*Lepidepecreum*	*longicorne*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LEHI	7	*Leptocheirus*	*hirsutimanus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LEPE	5	*Leptocheirus*	*pectinatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LEPI	5	*Leptocheirus*	*pilosus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LETR	5	*Leptocheirus*	*tricristatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LELI	7	*Leucothoe*	*lilljeborgi*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LERI	7	*Leucothoe*	*richiardii*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LESP	7	*Leucothoe*	*spinicarpa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LIPI	2	*Listriella*	*picta*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LYCE	3	*Lysianassa*	*ceratina*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LYIN	7	*Lysianassa*	*insperata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LYPL	3	*Lysianassa*	*plumosa*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	LYSI	3/7	Lysianassidae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MALO	5	*Maera*	*loveni*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MAOT	5	*Maera*	*othonis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MAEX	5	*Maera*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MEPL	5	*Melita*	*palmata*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MELX	5	*Melita*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MELI	5	Melitidae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MEPE	3	*Metaphoxus*	*pectinatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	MOCA	2	*Monoculodes*	*carinatus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ORHU	3	*Orchomene*	*humilis*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	ORNA	3	*Orchomene*	*nanus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	PELO	2	*Perioculodes*	*longimanus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	PHXO	3/7	Phoxocephalidae	ind
Crustacés	Amphipodes	CRAM	POAL	2	*Pontocrates*	*altamarinus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	POAR	2	*Pontocrates*	*arenarius*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	PONX	2	*Pontocrates*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	SOER	3	*Socarnes*	*erythrophthalmus*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	STEX	7	*Stenothoe*	*sp*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	SYMA	2	*Synchelidium*	*maculatum*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	TRLO	3	*Tryphosites*	*longipes*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	URPU	6	*Urothoe*	*pulchella*
Crustacés	Amphipodes	CRAM	UROX	6	*Urothoe*	*sp*
Crustacés	Caprellidés	CRCA	CAAC	2	*Caprella*	*acanthifera*
Crustacés	Caprellidés	CRCA	CAPR	2	Caprellidae	ind
Crustacés	Caprellidés	CRCA	PATY	2	*Pariambus*	*typicus*
Crustacés	Caprellidés	CRCA	PHMA	2	*Phtisica*	*marina*
Crustacés	Caprellidés	CRCA	PSPH	2	*Pseudoprotella*	*phasma*
Crustacés	Cirripèdes	CRCIR	BALA	6	Balanidae	ind
Crustacés	Cirripèdes	CRCIR	BAPR	6	*Balanus*	*perforatus*
Crustacés	Cirripèdes	CRCIR	SCSC	6	*Scalpellum*	*scalpellum*
Crustacés	Copépodes	CRCOP	COPE	6	*Copépode*	*Harpacticoida*
Crustacés	Copépodes	CRCOP	COPP	6	Copépode	ind
Crustacés	Cumacés	CRCU	BOAR	7	*Bodotria*	*arenosa*
Crustacés	Cumacés	CRCU	BOPU	7	*Bodotria*	*pulchella*
Crustacés	Cumacés	CRCU	CUMA	7	Cumacea	ind
Crustacés	Cumacés	CRISO	DIBR	7	*Diastylis*	*bradyi*
Crustacés	Cumacés	CRISO	DIAX	7	*Diastylis*	*sp*
Crustacés	Cumacés	CRCU	DITU	7	*Diastylis*	*tumida*
Crustacés	Cumacés	CRCU	IPTR	7	*Iphinoë*	*trispinosa*
Crustacés	Cumacés	CRCU	VACI	7	*Vauntompsonia*	*cristata*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	ATRO	2	*Atelecyclus*	*rotundatus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	ATUN	2	*Atelecyclus*	*undecimdentatus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	CAPG	2	*Cancer*	*pagurus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	CAMA	5	*Carcinus*	*maenas*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	CRAB	2	Crabe	ind
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LCRA	6	Crabe	post-larve
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EBCR	6	*Ebalia*	*cranchii*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EBAL	6	*Ebalia*	*sp*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EBTU	6	*Ebalia*	*tuberosa*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EBTM	6	*Ebalia*	*tumefacta*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EUAS	2	*Eurynome*	*aspera*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	EUSI	2	*Eurynome*	*spinosa*

Crustacés	Décapodes	CRDEC	EURX	2	*Eurynome*	*sp*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	GAIN	6	*Galathea*	*intermedia*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	GALX	6	*Galathea*	*sp*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	GASR	6	*Galathea*	*strigosa*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	INDO	2	*Inachus*	*dorsettensis*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	INPH	2	*Inachus*	*phalangium*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LIAR	2	*Liocarcinus*	*arcuatus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LIDE	2	*Liocarcinus*	*depurator*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LIHO	2	*Liocarcinus*	*holsatus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LIMR	2	*Liocarcinus*	*marmoreus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	LIPU	2	*Liocarcinus*	*pusillus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	MARO	2	*Macropodia*	*rostrata*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	MASQ	2	*Maja*	*squinado*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	MAJI	2	Majidae	ind
Crustacés	Décapodes	CRDEC	NEPU	2	*Necora*	*puber*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	PIHI	2	*Pilumnus*	*hirtellus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	PIPI	7	*Pinnotheres*	*pisum*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	PIDE	2	*Pirimela*	*denticulata*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	PILO	6	*Pisidia*	*longicornis*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	XAIN	2	*Xantho*	*incisus*
Crustacés	Décapodes	CRDEC	XAPI	2	*Xantho*	*pilipes*
Crustacés	Isopodes	CRISO	ANGR	5	*Anthura*	*gracilis*
Crustacés	Isopodes	CRISO	ARDA	6	*Arcturella*	*damnoniensis*
Crustacés	Isopodes	CRISO	ASLO	6	*Astacilla*	*longicornis*
Crustacés	Isopodes	CRISO	CICR	2	*Cirolana*	*cranchii*
Crustacés	Isopodes	CRISO	COCY	2	*Conilera*	*cylindracea*
Crustacés	Isopodes	CRISO	CYTR	5	*Cymodoce*	*truncata*
Crustacés	Isopodes	CRISO	DYBI	5	*Dynamene*	*bidentata*
Crustacés	Isopodes	CRISO	EUAF	2	*Eurydice*	*affinis*
Crustacés	Isopodes	CRISO	EUPU	2	*Eurydice*	*pulchra*
Crustacés	Isopodes	CRISO	EUYX	2	*Eurydice*	*sp*
Crustacés	Isopodes	CRISO	EUSP	2	*Eurydice*	*spinigera*
Crustacés	Isopodes	CRISO	GNDE	2	*Gnathia*	*dentata*
Crustacés	Isopodes	CRISO	GNPR	10	*Gnathia*	*forme praniza*
Crustacés	Isopodes	CRISO	GNAX	2	*Gnathia*	*sp*
Crustacés	Isopodes	CRISO	IDEM	9	*Idotea*	*emarginata*
Crustacés	Isopodes	CRISO	IDOX	9	*Idotea*	*sp*
Crustacés	Isopodes	CRISO	JAMA	5	*Janira*	*maculosa*
Crustacés	Isopodes	CRISO	JABR	5	*Janiropsis*	*breviremis*
Crustacés	Isopodes	CRISO	SPSE	2	*Sphaeroma*	*serratum*
Crustacés	Leptostracés	CRLEP	NEBI	7	*Nebalia*	*bipes*
Crustacés	Mysidacés	CRMY	GASP	6	*Gastrosaccus*	*spinifer*
Crustacés	Mysidacés	CRMY	MYSI	6	Mysidae	ind
Crustacés	Mysidacés	CRMY	PAAR	6	*Paramysis*	*arenosa*
Crustacés	Natantia	CRNAT	ATNI	5	*Athanus*	*nitescens*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CRBI	2	*Crangon*	*bispinosus neglecta*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CRCR	2	*Crangon*	*crangon*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CRFA	2	*Crangon*	*fasciatus*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CRAX	2	*Crangon*	*sp*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CRTR	2	*Crangon*	*trispinosus*
Crustacés	Natantia	CRNAT	CREV	5	Crevette	ind
Crustacés	Natantia	CRNAT	LCRE	6	Crevette	post-larve
Crustacés	Natantia	CRNAT	EUOC	5	*Eualus*	*occultus*
Crustacés	Natantia	CRNAT	EUPS	5	*Eualus*	*pusiolus*
Crustacés	Natantia	CRNAT	HIHU	5	*Hippolyte*	*hunti*
Crustacés	Natantia	CRNAT	HILO	5	*Hippolyte*	*longirostris*
Crustacés	Natantia	CRNAT	HIVA	5	*Hippolyte*	*varians*
Crustacés	Natantia	CRNAT	HIPP	5	Hippolytidae	ind
Crustacés	Natantia	CRNAT	PAVA	5	*Palaemonetes*	*varians*
Crustacés	Natantia	CRNAT	PABR	5	*Pandalina*	*brevirostris*
Crustacés	Natantia	CRNAT	PRED	2	*Processa*	*edulis crassipes*
Crustacés	Natantia	CRNAT	PROX	2	*Processa*	*sp*
Crustacés	Natantia	CRNAT	THCR	5	*Thoralus*	*cranchii*
Crustacés	Natantia	CRNAT	UPDE	6	*Upogebia*	*deltaura*
Crustacés	Ostracodes	CROST	OSTR	6	Ostracoda	ind
Crustacés	Ostracodes	CROST	OST2	6	Ostracoda	sp2 (allongé)
Crustacés	Paguridés	CRPA	ANHY	5	*Anapagurus*	*hyndmanni*
Crustacés	Paguridés	CRPA	ANLA	5	*Anapagurus*	*laevis*
Crustacés	Paguridés	CRPA	CETI	3	*Cestopagurus*	*timidus*
Crustacés	Paguridés	CRPA	PAGU	3	*Paguridae*	*ind*
Crustacés	Paguridés	CRPA	PABE	3	*Pagurus*	*bernhardus*
Crustacés	Paguridés	CRPA	PACU	3	*Pagurus*	*cuanensis*
Crustacés	Paguridés	CRPA	PAPR	3	*Pagurus*	*prideaux*
Crustacés	Paguridés	CRPA	PAGX	3	*Pagurus*	*sp*
Crustacés	Tanaidacés	CRTAN	APLA	5	*Apseudes*	*latreilli*
Crustacés	Tanaidacés	CRTAN	APTA	7	*Apseudes*	*talpa*

Crustacés	Tanaidacés	CRTAN	HEOE	5	*Heterotanais*	*oerstedi*
Crustacés	Tanaidacés	CRTAN	TADU	5	*Tanais*	*dulongii*
Crustacés		CR	CRLV	-	Crustacé	larve
Echinodermes	Crinoides	ECCRI	ANBI	6	*Antedon*	*bifida*
Echinodermes	Etoiles	ECET	ANPL	2	*Anseropoda*	*placenta*
Echinodermes	Etoiles	ECET	ASRU	2	*Asterias*	*rubens*
Echinodermes	Etoiles	ECET	ASJU	6	*Asteroidea*	*juvénile*
Echinodermes	Etoiles	ECET	ASIR	2	*Astropecten*	*irregularis*
Echinodermes	Etoiles	ECET	HESA	2	*Henricia*	*sanguinolenta*
Echinodermes	Etoiles	ECET	LUCI	2	*Luidia*	*ciliaris*
Echinodermes	Etoiles	ECET	LUSA	2	*Luidia*	*sarsi*
Echinodermes	Etoiles	ECET	MAGA	2	*Marthasterias*	*glacialis*
Echinodermes	Etoiles	ECET	STRO	2	*Stichastrella*	*rosea*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	CUCU	6	*Cucumaria*	*cucumis*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	CUUX-	6	*Cucumaria*	*sp*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	CUCX	6	Cucumariidae	ind
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	HOFO	7	*Holothuria*	*forskali*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	HOLX	7	*Holothuria*	*sp*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	HOLO	6	Holothurioidea	ind
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	LADI	7	*Labidoplax*	*digitata*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	LEEL	6	*Leptopentacta*	*elongata*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	LEIH	4	*Leptosynapta*	*inhaerens*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	LETX	4	*Leptosynapta*	*sp*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	NEPE	6	*Neopentadactyla*	*mixta*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	PASA	6	*Pawsonia*	*saxicola*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	PSRA	8	*Pseudothyone*	*raphanus*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	THFU	6	*Thyone*	*fusus*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	THRA	6	*Thyone*	*raphanus*
Echinodermes	Holothuries	ECHOL	THYX	6	*Thyone*	*sp*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	AMSQ	2	*Amphipholis*	*squamata*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	AMBA	2	*Amphiura*	*brachiata*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	AMFI	6	*Amphiura*	*filiformis*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	AMHX	2	*Amphiura*	*sp*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPNI	6	*Ophiocomina*	*nigra*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPFR	6	*Ophiothrix*	*fragilis*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPAL	2	*Ophiura*	*albida*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPOP	2	*Ophiura*	*ophiura*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPHX	2	*Ophiura*	*sp*
Echinodermes	Ophiures	ECOPH	OPHI	2	*Ophiuridae*	*ind*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECCO	8	*Echinocardium*	*cordatum*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECFL	8	*Echinocardium*	*flavescens*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECHX	8	*Echinocardium*	*sp*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECPU	9	*Echinocyamus*	*pusillus*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECHI	6	Echinoidea	ind
Echinodermes	Oursins	ECOUR	ECES	4	*Echinus*	*esculentus*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	PSMI	4	*Psammechinus*	*miliaris*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	SPPU	8	*Spatangus*	*purpureus*
Echinodermes	Oursins	ECOUR	SPGR	4	*Sphaerechinus*	*granularis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ABAL	7	*Abra*	*alba*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ABNI	7	*Abra*	*nitida*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ABPR	7	*Abra*	*prismatica*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ABRX	7	*Abra*	*sp*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ACAC	6	*Acanthocardia*	*aculeata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ACEH	6	*Acanthocardia*	*echinata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ACTU	6	*Acanthocardia*	*tuberculata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	AEOP	6	*Aequipecten*	*opercularis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ANSQ	7	*Angulus*	*squalidus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ANTE	6	*Angulus*	*tenuis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ANOM	6	Anomiidae	ind
Mollusques	Bivalves	MBIV	ARCR	6	*Arcopagia*	*crassa*
Mollusques	Bivalves	MBIV	ARBA	6	*Arcopella*	*balaustina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	BIVA	-	Bivalve	ind
Mollusques	Bivalves	MBIV	CACI	6	*Callista*	*chione*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CHGA	6	*Chamelea*	*gallina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CHDI	6	*Chlamys*	*distorta*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CHVA	6	*Chlamys*	*varia*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CICA	6	*Circomphalus*	*casina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CLFA	6	*Clausinella*	*fasciata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	COPR	7	*Cochlodesma*	*praetenue*
Mollusques	Bivalves	MBIV	COGI	6	*Corbula*	*gibba*
Mollusques	Bivalves	MBIV	DIRO	6	*Diplodonta*	*rotundata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	DOEX	6	*Dosinia*	*exoleta*
Mollusques	Bivalves	MBIV	DOLU	6	*Dosinia*	*lupinus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	EPCL	7	*Epilepton*	*clarkiae-like*
Mollusques	Bivalves	MBIV	FAFA	6	*Fabulina*	*fabula*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GALE	6	Galeommatacea	ind

Mollusques	Bivalves	MBIV	GACO	6	*Gari*	*costulata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GADE	6	*Gari*	*depressa*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GAFE	6	*Gari*	*fervensis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GATE	6	*Gari*	*tellinella*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GLGL	6	*Glycymeris*	*glycymeris*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GOTR	6	*Goodallia*	*triangularis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	GOMI	6	*Gouldia*	*minima*
Mollusques	Bivalves	MBIV	HESQ	6	*Heteranomia*	*squamula*
Mollusques	Bivalves	MBIV	HIAR	6	*Hiatella*	*arctica*
Mollusques	Bivalves	MBIV	KESU	6	*Kellia*	*suborbicularis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LACR	6	*Laevicardium*	*crassum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LAAD	6	*Lasaea*	*adansoni*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LILO	6	*Limaria*	*loscombi*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LIMX	6	*Limatula*	*sp*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LISU	6	*Limatula*	*sulcata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LUDI	7	*Lucinella*	*divaricata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LUAN	6	*Lutraria*	*angustior*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LULU	6	*Lutraria*	*lutraria*
Mollusques	Bivalves	MBIV	LYNO	6	*Lyonsia*	*norwegica*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MOTU	6	*Modiolarca*	*tumida*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MOPH	6	*Modiolula*	*phaseolina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MODX	6	*Modiolus*	*sp*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MODO	6	*Moerella*	*donacina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MOPY	6	*Moerella*	*pygmaea*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MOSB	7	*Montacuta*	*substriata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MYSP	6	*Myrtea*	*spinifera*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MYBI	7	*Mysella*	*bidentata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	MYED	6	*Mytilus*	*edulis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	NUHA	7	*Nucula*	*hanleyi*
Mollusques	Bivalves	MBIV	NUNI	7	*Nucula*	*nitidosa*
Mollusques	Bivalves	MBIV	NUSU	7	*Nucula*	*sulcata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	OSTE	6	Ostreacea	ind
Mollusques	Bivalves	MBIV	PATI	6	*Palliolum*	*tigerinum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PAIN	6	*Pandora*	*inaequivalvis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PAPI	6	*Pandora*	*pinna*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PAEX	6	*Parvicardium*	*exiguum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PAOV	6	*Parvicardium*	*ovale*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PASC	6	*Parvicardium*	*scabrum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PEMA	6	*Pecten*	*maximus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PHPE	6	*Phaxas*	*pellucidus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PLPA	6	*Plagiocardium*	*papillosum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	POPA	6	*Pododesmus*	*patelliformis*
Mollusques	Bivalves	MBIV	CHRA	6	*Pseudamussium*	*septemradiatum*
Mollusques	Bivalves	MBIV	PSMA	6	*Pseudopythina*	*macandrewi*
Mollusques	Bivalves	MBIV	QUSE	6	*Quadrans*	*serratus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	SOSC	6	*Solecurtus*	*scopula*
Mollusques	Bivalves	MBIV	SPBI	6	*Sphenia*	*binghami*
Mollusques	Bivalves	MBIV	SPEL	6	*Spisula*	*elliptica*
Mollusques	Bivalves	MBIV	SPSO	6	*Spisula*	*solida*
Mollusques	Bivalves	MBIV	SPSU	6	*Spisula*	*subtruncata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	STLA	6	*Striarca*	*lactea*
Mollusques	Bivalves	MBIV	TAAU	6	*Tapes*	*aureus*
Mollusques	Bivalves	MBIV	TARH	6	*Tapes*	*rhomboides*
Mollusques	Bivalves	MBIV	TEFE	7	*Tellimya*	*ferruginosa*
Mollusques	Bivalves	MBIV	TELLI	7	Tellinacea	ind
Mollusques	Bivalves	MBIV	THPH	7	*Thracia*	*phaseolina*
Mollusques	Bivalves	MBIV	THPU	7	*Thracia*	*pubescens*
Mollusques	Bivalves	MBIV	THRX	7	*Thracia*	*sp*
Mollusques	Bivalves	MBIV	THVI	7	*Thracia*	*villosiuscula*
Mollusques	Bivalves	MBIV	THFE	7	*Thyasira*	*ferruginea*
Mollusques	Bivalves	MBIV	THFL	7	*Thyasira*	*flexuosa*
Mollusques	Bivalves	MBIV	TIOV	6	*Timoclea*	*ovata*
Mollusques	Bivalves	MBIV	VEPU	6	*Venerupis*	*pullastra*
Mollusques	Bivalves	MBIV	VENX	6	*Venus*	*sp*
Mollusques	Bivalves	MBIV	VEVE	6	*Venus*	*verrucosa*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ACMI	6	*Aclis*	*minor*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	AEPA	2	*Aeolidia*	*papillosa*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ALBE	9	*Alvania*	*beanii*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ALPU	9	*Alvania*	*punctura*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ANEN	8	*Antalis*	*entalis*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ANVU	7	*Antalis*	*vulgaris*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	BAUN	9	*Barleeia*	*unifasciata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	BIRE	9	*Bittium*	*reticulatum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	BRCA	2	*Brachystomia*	*carrozzai*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	BUCC	3	Buccininae	ind
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	BUUN	3	*Buccinum*	*undatum*

Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CAIM	9	*Caecum*	*imperforatum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CAEX	9	*Caecum*	*sp*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CAZI	9	*Calliostoma*	*zizyphinum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CACH	6	*Calyptraea*	*chinensis*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CALY	6	Calyptraeidae	ind
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CAUN	7	*Capulus*	*ungaricus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CICI	9	*Cingula*	*cingillus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CRFO	6	*Crepidula*	*fornicata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	CRCO	2	*Crinophtheiros*	*collinsi*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	DENO	8	*Dentalium*	*novemcostatum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	DIGR	2	*Diodora*	*graeca*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EMFI	2	*Emarginula*	*fissura*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EMRO	2	*Emarginula*	*rosea*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EPTR	2	*Epitonium*	*trevelyanum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ERVO	2	*Erato*	*voluta*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EUBI	6	*Eulima*	*bilineata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EUGL	6	*Eulima*	*glabra*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EUVE	2	*Eulimella*	*ventricosa*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	EUCA	2	*Euspira*	*catena*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	GAST	-	Gastropoda	ind
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	GICI	9	*Gibbula*	*cineraria*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	GIMA	9	*Gibbula*	*magus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	GITU	9	*Gibbula*	*tumida*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	HEPE	9	*Helcion*	*pellucidum*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	HIIN	3	*Hinia*	*incrassata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	HIRE	3	*Hinia*	*reticulata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	HYUL	9	*Hydrobia*	*ulvae*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	JUMO	9	*Jujubinus*	*montagui*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	JUJX	9	*Jujubinus*	*sp*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	LAMX	2	*Lamellaria*	*sp*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MAAT	2	*Mangelia*	*attenuata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MACO	2	*Mangelia*	*coarctata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MANE	2	*Mangelia*	*nebula*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MARU	2	*Mangelia*	*rugulosa*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MASM	2	*Mangelia*	*smithii*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MACR	2	*Manzonia*	*crassa*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MEAL	2	*Melanella*	*alba*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	MEFR	2	*Melanella*	*frielei*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	OCER	2	*Ocenebra*	*erinacea*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	OCAC	3	*Ocinebrina*	*aciculata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ODUN	2	*Odostomia*	*unidentata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ONAC	9	*Onoba*	*aculeus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	ONSE	9	*Onoba*	*semicostata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	PHAP	2	*Philine*	*aperta*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	PHSC	2	*Philine*	*scabra*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	POPU	2	*Polinices*	*pulchellus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	PUSA	9	*Pusillina*	*inconspicua*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	RIGU	9	*Rissoa*	*guerinii*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	RIIN	9	*Rissoa*	*interrupta*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	RIME	9	*Rissoa*	*membranacea*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	RIPA	9	*Rissoa*	*parva*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	RISS	9	Rissoidae	ind
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TEVI	9	*Tectura*	*virginea*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TRPU	9	*Tricolia*	*pullus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TRMO	2	*Trivia*	*monacha*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TRMU	2	*Trophon*	*muricatus*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TUCR	2	*Turbonilla*	*crenata*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TUJE	2	*Turbonilla*	*jeffreysii*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TULA	2	*Turbonilla*	*lactea*
Mollusques	Gastéropodes	MGAS	TUCO	6	*Turritella*	*communis*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	ACTO	2	*Acteon*	*tornatilis*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	APPU	4	*Aplysia*	*punctata*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	CYCY	2	*Cylichna*	*cylindracea*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	DIMI	2	*Discodoris*	*millegrana*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	ONIN	2	*Onchidoris*	*inconspicua*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	OPIS	2	Opistobranche	ind
Mollusques	Gastéropodes	MOP	REOB	2	*Retusa*	*obtusa*
Mollusques	Gastéropodes	MOP	RETR	2	*Retusa*	*truncatula*
Mollusques	Gastéropodes	MOP	REUM	2	*Retusa*	*umbilicata*
Mollusques	Gastéropodes	MOP	RHAC	2	*Rhizorus*	*acuminatus*
Mollusques	Opisthobranches	MOP	SCLI	2	*Scaphander*	*lignarius*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	ACCR	9	*Acanthochitona*	*crinita*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	CASE	9	*Callochiton*	*septemvalvis*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	HAHA	9	*Hanleya*	*hanleyi*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	ISAL	9	*Ischnochiton*	*albus*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	LECI	9	*Lepidochitona*	*cinerea*

Mollusques	Polyplacophores	MPOL	LEAS	9	*Leptochiton*	*asellus*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	LECA	9	*Leptochiton*	*cancellatus*
Mollusques	Polyplacophores	MPOL	POLP	9	Polyplacophora	ind
Mollusques	Céphalopodes	MCEPH	LOVU	2	*Loligo*	*vulgaris*
Mollusques	Céphalopodes	MCEPH	SEOF	2	*Sepia*	*officinalis*
Mollusques	Céphalopodes	MCEPH	SEAT	2	*Sepiola*	*atlantica*
Nématodes		NEMD	NEMD	8	Nematoda	ind
Némertes		NEMT	NEMT	8	Nemertea	ind
Phoronidés		PHO	PHOR	6	*Phoronis*	*sp*
Plathelminthes		PLA	PLAB	2	Platyhelminthe	sp1
Plathelminthes		PLA	PLAR	2	Platyhelminthe	sp2
Polychètes	Errantes	PERR	ALGE	2	*Alentia*	*gelatinosa*
Polychètes	Errantes	PERR	ANLN	2	*Anaitides*	*lineata*
Polychètes	Errantes	PERR	APAC	2	*Aphrodita*	*aculeata*
Polychètes	Errantes	PERR	APHR	2	Aphroditidae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	APBL	2	*Aponuphis*	*bilineata*
Polychètes	Errantes	PERR	ARIR	2	*Arabella*	*iricolor*
Polychètes	Errantes	PERR	DACA	2	*Dalhousiella*	*carpenteri*
Polychètes	Errantes	PERR	EHCO	2	*Ehlersia*	*cornuta*
Polychètes	Errantes	PERR	ETLO	2	*Eteone*	*longa*
Polychètes	Errantes	PERR	ETEX	2	*Eteone*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	EUPA	2	*Eumida*	*parva*
Polychètes	Errantes	PERR	EUHA	2	*Eunice*	*harassii*
Polychètes	Errantes	PERR	EUNX	2	*Eunice*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	EUVI	2	*Eunice*	*vittata*
Polychètes	Errantes	PERR	EUNI	2	Eunicidae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	EUFO	2	*Euphrosine*	*foliosa*
Polychètes	Errantes	PERR	EUTU	2	*Eurysyllis*	*tuberculata*
Polychètes	Errantes	PERR	EXOX	2	*Exogone*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	FAMA	2	*Fauvelia*	*martinensis*
Polychètes	Errantes	PERR	GLLA	2	*Glycera*	*lapidum*
Polychètes	Errantes	PERR	GLYX	2	*Glycera*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	GLTR	2	*Glycera*	*tridactyla*
Polychètes	Errantes	PERR	GLUN	2	*Glycera*	*unicornis*
Polychètes	Errantes	PERR	GLYC	2	Glyceridae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	GLNO	2	*Glycinde*	*nordmanni*
Polychètes	Errantes	PERR	GOMA	2	*Goniada*	*maculata*
Polychètes	Errantes	PERR	GONX	2	*Goniada*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	HACA	2	*Harmothoë*	*castanea*
Polychètes	Errantes	PERR	HAEX	2	*Harmothoë*	*extenuata*
Polychètes	Errantes	PERR	HAIM	2	*Harmothoë*	*impar*
Polychètes	Errantes	PERR	HALU	2	*Harmothoë*	*lunulata*
Polychètes	Errantes	PERR	HARX	2	*Harmothoë*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	HASI	2	*Harmothoë*	*spinifera*
Polychètes	Errantes	PERR	HEDI	5	*Hediste*	*diversicolor*
Polychètes	Errantes	PERR	HEHY	2	*Hermonia*	*hystrix*
Polychètes	Errantes	PERR	HESI	2	Hesioninae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	HYFA	2	*Hyalinoecia*	*fauveli*
Polychètes	Errantes	PERR	HYAL	2	*Hyalinoecia*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	KECI	2	*Kefersteinia*	*cirrata*
Polychètes	Errantes	PERR	LUFR	8	*Lumbrineris*	*fragilis*
Polychètes	Errantes	PERR	LUGR	8	*Lumbrineris*	*gracilis*
Polychètes	Errantes	PERR	LUMX	8	*Lumbrineris*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	LYNE	2	*Lysidice*	*ninetta*
Polychètes	Errantes	PERR	MABE	2	*Marphysa*	*bellii*
Polychètes	Errantes	PERR	MASA	2	*Marphysa*	*sanguinea*
Polychètes	Errantes	PERR	NEFU	2	*Neanthes*	*fucata*
Polychètes	Errantes	PERR	NEUN	2	*Nematonereis*	*unicornis*
Polychètes	Errantes	PERR	NECA	2	*Nephtys*	*caeca*
Polychètes	Errantes	PERR	NECL	2	*Nephtys*	*ciliata*
Polychètes	Errantes	PERR	NECI	2	*Nephtys*	*cirrosa*
Polychètes	Errantes	PERR	NEHO	2	*Nephtys*	*hombergii*
Polychètes	Errantes	PERR	NEHY	2	*Nephtys*	*hystricis*
Polychètes	Errantes	PERR	NEPX	2	*Nephtys*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	NERE	2	Nereididae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	NEPN	2	*Nereimyra*	*punctata*
Polychètes	Errantes	PERR	NERX	2	*Nereis*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	NEZO	5	*Nereis*	*zonata*
Polychètes	Errantes	PERR	NOCO	5	*Nothria*	*conchylega*
Polychètes	Errantes	PERR	ODDU	2	*Odontosyllis*	*dugesiana*
Polychètes	Errantes	PERR	ODGI	2	*Odontosyllis*	*gibba*
Polychètes	Errantes	PERR	ONER	2	*Onuphis*	*eremita*
Polychètes	Errantes	PERR	ONUX	2	*Onuphis*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	OPFL	2	*Ophiodromus*	*flexuosus*
Polychètes	Errantes	PERR	ORPU	2	*Orseis*	*pulla*
Polychètes	Errantes	PERR	PHIN	2	*Pholoë*	*inornata*

Polychètes	Errantes	PERR	PHLA	2	*Phyllodoce*	*lamelligera*
Polychètes	Errantes	PERR	PHLM	2	*Phyllodoce*	*laminosa*
Polychètes	Errantes	PERR	PHMC	2	*Phyllodoce*	*macropapillosa*
Polychètes	Errantes	PERR	PHYX	2	*Phyllodoce*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	PHYL	2	Phyllodocidae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	PIRE	7	*Pisione*	*remota*
Polychètes	Errantes	PERR	PLDU	5	*Platynereis*	*dumerilii*
Polychètes	Errantes	PERR	PRBI	2	*Protomystides*	*bidentata*
Polychètes	Errantes	PERR	PSLI	2	*Pseudomystides*	*limbata*
Polychètes	Errantes	PERR	SIMA	2	*Sigalion*	*mathildae*
Polychètes	Errantes	PERR	SIGX	2	*Sigalion*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	SIGA	2	Sigalionidae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	SPHA	2	Sphaerodoridae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	SPGA	2	*Sphaerodorum*	*gracilis*
Polychètes	Errantes	PERR	SPBU	2	*Sphaerosyllis*	*bulbosa*
Polychètes	Errantes	PERR	SPH1	2	*Sphaerosyllis*	*sp1*
Polychètes	Errantes	PERR	SPH2	2	*Sphaerosyllis*	*sp2*
Polychètes	Errantes	PERR	SPH3	2	*Sphaerosyllis*	*sp3*
Polychètes	Errantes	PERR	SPMI	2	*Spinther*	*miniaceus*
Polychètes	Errantes	PERR	STRU	2	*Staurocephalus*	*rubrovittatus*
Polychètes	Errantes	PERR	STAX	2	*Staurocephalus*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	STBO	2	*Sthenelais*	*boa*
Polychètes	Errantes	PERR	STHX	2	*Sthenelais*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	SYLL	2	Syllidae	ind
Polychètes	Errantes	PERR	SYL1	2	*Syllidae*	*sp1*
Polychètes	Errantes	PERR	SYL2	2	*Syllidae*	*sp2*
Polychètes	Errantes	PERR	SYL3	2	*Syllidae*	*sp3*
Polychètes	Errantes	PERR	SYL4	2	*Syllidae*	*sp4*
Polychètes	Errantes	PERR	SYL5	2	*Syllidae*	*sp5*
Polychètes	Errantes	PERR	SYLX	2	*Syllis*	*sp*
Polychètes	Errantes	PERR	WEGL	2	*Websterinereis*	*glauca*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMTR	7	*Amaeana*	*trilobata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMAD	7	*Amage*	*adspersa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMGB	7	*Ampharete*	*grubei*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMPA	7	Ampharetidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMGU	7	*Amphicteis*	*gunneri*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMAU	8	*Amphictene*	*auricoma*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AMGR	7	*Amphitritides*	*gracilis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	AOOX	7	*Aonides*	*oxycephala*
Polychètes	Sédentaires	PSED	ARCE	8	*Aricidea*	*cerrutii*
Polychètes	Sédentaires	PSED	BRVI	2/7	*Brada*	*villosa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	BRBO	6	*Branchiomma*	*bombyx*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CACA	8	*Capitella*	*capitata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CAPI	8	Capitellidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	CACE	7	*Caulleriella*	*caput-esocis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CHVR	6	*Chaetopterus*	*variopedatus*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CHSE	7	*Chaetozone*	*setosa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CHDU	6	*Chone*	*duneri*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CHFI	6	*Chone*	*filicaudata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CHIN	6	*Chone*	*infundibuliformis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CIRR	7	Cirratulidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	CITE	7	*Cirriformia*	*tentaculata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	CLCL	7	*Clymenura*	*clypeata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	DIAR	6	*Ditrupa*	*arietina*
Polychètes	Sédentaires	PSED	DRFI	2	*Drilonereis*	*filum*
Polychètes	Sédentaires	PSED	EURU	6	*Euchone*	*rubrocincta*
Polychètes	Sédentaires	PSED	EUOE	7	*Euclymene*	*oerstedii*
Polychètes	Sédentaires	PSED	EUNE	7	*Eupolymnia*	*nebulosa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	EUNS	7	*Eupolymnia*	*nesidensis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	FLAB	7	Flabelligeridae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	HYNO	6	*Hydroides*	*norvegica*
Polychètes	Sédentaires	PSED	LAKO	8	*Lagis*	*koreni*
Polychètes	Sédentaires	PSED	LACO	7	*Lanice*	*conchilega*
Polychètes	Sédentaires	PSED	LACI	7	*Laonice*	*cirrata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	LEPX	2	*Lepidonotus*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAAL	7	*Magelona*	*alleni*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAFI	7	*Magelona*	*filiformis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAMN	7	*Magelona*	*minuta*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAMI	7	*Magelona*	*mirabilis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAGX	7	*Magelona*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAVU	7	*Malacoceros*	*vulgaris*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MAGL	8	*Maldane*	*glebifex*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MALD	8	Maldanidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	MEVE	6	*Megalomma*	*vesiculosum*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MECR	7	*Melinna*	*cristata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MEPA	7	*Melinna*	*palmata*

Polychètes	Sédentaires	PSED	MICX	7	*Micromaldane*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MICI	7	*Minuspio*	*cirrifera*
Polychètes	Sédentaires	PSED	MYIN	6	*Myxicola*	*infundibulum*
Polychètes	Sédentaires	PSED	NICX	7	*Nicomache*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	NOLA	8	*Notomastus*	*latericeus*
Polychètes	Sédentaires	PSED	OPBO	8	*Ophelia*	*borealis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	OPHE	8	Opheliidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	OPAC	8	*Ophelina*	*acuminata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	ORIG	8	*Orbinia*	*grubei*
Polychètes	Sédentaires	PSED	ORBX	8	*Orbinia*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	ORBI	8	Orbiniidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	ORAR	6	*Oriopsis*	*armandi*
Polychètes	Sédentaires	PSED	OWFU	7	*Owenia*	*fusiformis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PARA	7/8	Paraonidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	PAFU	7	*Paraonis*	*fulgens*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PHER	7	*Pherusa*	*eruca*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PHEX	7	*Pherusa*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PICR	7	*Pista*	*cristata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POSE	7	*Poecilochaetus*	*serpens*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POYX	7	*Polycirrus*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POCA	7	*Polydora*	*caeca*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POGI	7	*Polydora*	*giardi*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POLX	7	*Polydora*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POLA	8	*Polygordius*	*lacteus*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POPI	8	*Polyophthalmus*	*pictus*
Polychètes	Sédentaires	PSED	POTR	6	*Pomatoceros*	*triqueter*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PRFA	7	*Prionospio*	*fallax*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PRMU	7	*Proclymene*	*muelleri*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PRTU	6	*Protula*	*tubularia*
Polychètes	Sédentaires	PSED	PYEL	7	*Pygospio*	*elegans*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SABX	6	*Sabella*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SASP	6	*Sabellaria*	*spinulosa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SABE	6	Sabellariidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCIN	8	*Scalibregma*	*inflatum*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCFO	7	*Scolelepis*	*foliosa*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCOX	7	*Scolelepis*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCSQ	7	*Scolelepis*	*squamata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCTR	7	*Scolelepis*	*tridentata*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SCAR	8	*Scoloplos*	*armiger*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SEVE	6	*Serpula*	*vermicularis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SERP	6	Serpulidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	SPFI	7	*Spio*	*filicornis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SPCI	6	*Spiochaetopterus*	*sp*
Polychètes	Sédentaires	PSED	SPION	7	Spionidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	SPBO	7	*Spiophanes*	*bombyx*
Polychètes	Sédentaires	PSED	STBA	7	*Streblosoma*	*bairdi*
Polychètes	Sédentaires	PSED	TECO	6	*Telepsavus*	*costarum*
Polychètes	Sédentaires	PSED	TERE	7	Terebellidae	ind
Polychètes	Sédentaires	PSED	TEST	7	*Terebellides*	*stroemi*
Polychètes	Sédentaires	PSED	TRGL	7	*Trichobranchus*	*glacialis*
Polychètes	Sédentaires	PSED	TRRO	7	*Trichobranchus*	*roseus*
Polychètes	Sédentaires	PSED	VEIN	6	*Vermiliopsis*	*infundibulum*
Polychètes		P	POLY	-	Polychète	ind
Priapulidés		PRIAP	PRCA	-	*Priapulus*	*caudatus*
Sipunculiens		SIP	ASMU	8	*Aspidosiphon*	*muelleri*
Sipunculiens		SIP	GOEL	8	*Golfingia*	*elongata*
Sipunculiens		SIP	GOVU	8	*Golfingia*	*vulgaris*
Sipunculiens		SIP	NEMI	-	*Nephasoma*	*minutum*
Sipunculiens		SIP	PHST	8	*Phascolion*	*strombus*
Sipunculiens		SIP	SIPU	-	Sipuncula	ind
Sipunculiens		SIP	SINU	8	*Sipunculus*	*nudus*
Poissons		POI	APDE	2	*Apletodon*	*dentatus*
Poissons		POI	ARLA	2	*Arnoglossus*	*laterna*
Poissons		POI	BULU	2	*Buglossidium*	*luteum*
Poissons		POI	CALR	2	*Callionymus*	*lyra*
Poissons		POI	CAMC	2	*Callionymus*	*maculatus*
Poissons		POI	CEEX	2	*Centrolabrus*	*exoletus*
Poissons		POI	CIMU	2	*Ciliata*	*mustela*
Poissons		POI	DIBI	2	*Diplecogaster*	*bimaculata*
Poissons		POI	ECVI	2	*Echiichthys*	*vipera*
Poissons		POI	EUGU	2	*Eutrigla*	*gurnardus*
Poissons		POI	GOFL	2	*Gobiusculus*	*flavescens*
Poissons		POI	HYLA	2	*Hyperoplus*	*lanceolatus*
Poissons		POI	LABE	2	*Labrus*	*bergylta*
Poissons		POI	LELE	2	*Lepadogaster*	*lepadogaster*
Poissons		POI	LEAX	2	*Lepadogaster*	*sp*
Poissons		POI	LILI	2	*Limanda*	*limanda*
Poissons		POI	LOPI	2	*Lophius*	*piscatorius*

Poissons		POI	MIVR	2	*Microchirus*	*variegatus*
Poissons		POI	MUSU	2	*Mullus*	*surmuletus*
Poissons		POI	MYSC	2	*Myxocephalus*	*scorpius*
Poissons		POI	NELU	2	*Nerophis*	*lumbriciformis*
Poissons		POI	POIS	2	Osteichthyes	ind
Poissons		POI	PLPL	2	*Pleuronectes*	*platessa*
Poissons		POI	PLEU	2	*Pleuronectidae*	*juvénile*
Poissons		POI	PSMX	2	*Psetta*	*maxima*
Poissons		POI	RACL	2	*Raja*	*clavata*
Poissons		POI	SCRH	2	*Scophthalmus*	*rhombus*
Poissons		POI	SCCA	2	*Scyliorhinus*	*canicula*
Poissons		POI	SOLA	2	*Solea*	*lascaris*
Poissons		POI	SOSO	2	*Solea*	*solea*
Poissons		POI	SOLX	2	*Solea*	*sp*
Poissons		POI	SPCA	2	*Spondyliosoma*	*cantharus*
Poissons		POI	SYAU	2	*Syngnathus*	*acus*
Poissons		POI	SYTY	2	*Syngnathus*	*typhle*
Poissons		POI	TOMA	2	*Torpedo*	*marmorata*
Poissons		POI	TRLU	2	*Trigla*	*lucerna*
Poissons		POI	TRMI	2	*Trisopterus*	*minutus*
Poissons		POI	ZEFA	2	*Zeus*	*faber*

ANNEXE F

Liste des correspondances taxinomiques

Tableau de correspondance des noms d'espèces, d'après Howson et Picton (1997).

Nouveau nom		Ancien nom	
Genre	**espèce**	**Genre**	**espèce**
Abludomelita	*gladiosa*	*Melita*	*gladiosa*
Abludomelita	*obtusata*	*Melita*	*obtusata*
Alentia	*gelatinosa*	*Halosydna*	*gelatinosa*
Allomelita	*pellucida*	*Melita*	*pellucida*
Amaeana	*trilobata*	*Amaea*	*trilobata*
Amphictene	*auricoma*	*Pectinaria*	*auricoma*
Amphiura	*brachiata*	*Acrocnida*	*brachiata*
Anaitides	*citrina*	*Phyllodoce*	*citrina*
Anaitides	*groenlandica*	*Phyllodoce*	*groenlandica*
Anaitides	*lineata*	*Phyllodoce*	*lineata*
Anaitides	*longipes*	*Phyllodoce*	*longipes*
Anaitides	*maculata*	*Phyllodoce*	*maculata*
Anaitides	*mucosa*	*Phyllodoce*	*mucosa*
Anaitides	*rosea*	*Phyllodoce*	*rosea*
Anemonia	*viridis*	*Anemonia*	*sulcata*
Angulus	*squalidus*	*Tellina*	*squalida*
Angulus	*tenuis*	*Tellina*	*tenuis*
Antalis	*entalis*	*Dentalium*	*entalis*
Antalis	*vulgaris*	*Dentalium*	*vulgaris*
Aponuphis	*bilineata*	*Hyalinoecia*	*bilineata*
Arcopagia	*crassa*	*Tellina*	*crassa*
Arcopella	*balaustina*	*Tellina*	*balaustina*
Aricidea	*cerrutii*	*Aricidea*	*jeffreysii*
Aulactinia	*verrucosa*	*Bunodactis*	*verrucosa*
Brachystomia	*carrozzai*	*Brachystomia*	*albella*
Brania	*clavata*	*Grubea*	*clavata*
Brania	*sp*	*Grubea*	*sp*
Callochiton	*septemvalvis*	*Callochiton*	*achatinus*
Caulleriella	*bioculata*	*Heterocirrus*	*bioculata*
Caulleriella	*caput-esocis*	*Heterocirrus*	*caput-esocis*
Caulleriella	*sp*	*Heterocirrus*	*sp*
Chamelea	*gallina*	*Venus*	*gallina / striatula*
Circomphalus	*casina*	*Venus*	*casina*
Cirriformia	*tentaculata*	*Audouinia*	*tentaculata*
Clausinella	*fasciata*	*Venus*	*fasciata*
Clymenura	*clypeata*	*Leiochone*	*clypeata*
Crinophtheiros	*collinsi*	*Vitreolina*	*collinsi*
Eatonina	*fulgida*	*Cingulopsis*	*fulgida*
Ehlersia	*cornuta*	*Syllis*	*cornuta*
Emarginula	*rosea*	*Emarginula*	*conica*
Endeis	*charybdaea*	*Endeis*	*spinosa*
Ericthonius	*punctatus*	*Ericthonius*	*brasiliensis*
Euclymene	*oerstedii*	*Clymene*	*oerstedii*
Eumida	*parva*	*Eulalia*	*parva*
Eupolymnia	*nebulosa*	*Polymnia*	*nebulosa*
Eupolymnia	*nesidensis*	*Polymnia*	*nesidensis*
Euspira	*catena*	*Lunatia / Natica*	*catena*
Fabulina	*fabula*	*Tellina*	*fabula*
Gammarella	*fucicola*	*Amphithoe*	*fucicola*
Glycera	*lapidum*	*Glycera*	*capitata*
Glycera	*tridactyla*	*Glycera*	*convoluta*
Glycinde	*nordmanni*	*Eone*	*nordmanni*
Golfingia	*elongata*	*Phascolosoma*	*elongatum*
Golfingia	*vulgaris*	*Phascolosoma*	*vulgaris*
Goodallia	*triangularis*	*Astarte*	*triangularis*
Gouldia	*minima*	*Gafrarium*	*minimum*

Harmothoë	*extenuata*	*Lagisca*	*extenuata*
Hediste	*diversicolor*	*Nereis*	*diversicolor*
Hermonia	*hystrix*	*Hermione*	*hystrix*
Lagis	*koreni*	*Pectinaria*	*koreni*
Leptopentacta	*elongata*	*Cucumaria*	*elongata*
Limaria	*loscombi*	*Lima*	*loscombi*
Limatula	*sulcata*	*Lima*	*sulcata*
Lucinella	*divaricata*	*Divaricella*	*divaricata*
Malacoceros	*fuliginosus*	*Scolelepis*	*fuliginosus*
Mangelia	*coarctata*	*Cytharella*	*coarctata*
Mangelia	*rugulosa*	*Cytharella*	*rugulosa*
Mangelia	*smithii*	*Cytharella*	*smithii*
Megalomma	*vesiculosum*	*Branchiomma*	*vesiculosum*
Melarhaphe	*neritoïdes*	*Littorina*	*neritoïdes*
Minuspio	*cirrifera*	*Prionospio*	*cirrifera*
Modiolarca	*tumida*	*Musculus*	*marmoratus*
Modiolula	*phaseolina*	*Modiolus*	*phaseolinus*
Moerella	*donacina*	*Tellina*	*donacina*
Moerella	*jeffreysi*	*Tellina*	*jeffreysi*
Moerella	*pygmaea*	*Tellina*	*pygmaea*
Neanthes	*fucata*	*Nereis*	*fucata*
Nephasoma	*minutum*	*Golfingia*	*minuta*
Nereimyra	*punctata*	*Castalia*	*punctata*
Nothria	*conchylega*	*Onuphis*	*conchylega*
Nucula	*nitidosa*	*Nucula*	*turgida*
Ophelia	*borealis*	*Ophelia*	*limacina*
Ophelina	*acuminata*	*Ammotrypane*	*aulogaster*
Ophiura	*ophiura*	*Ophiura*	*texturata*
Orbinia	*grubei*	*Aricia*	*grubei*
Orbinia	*sp*	*Aricia*	*sp*
Orbiniidae	ind	Aricidae	ind
Osilinus	*lineatus*	*Monodonta*	*lineata*
Palliolum	*tigerinum*	*Chlamys*	*tigerina*
Paradoneis	*lyra*	*Paraonis*	*lyra*
Parvicardium	*exiguum*	*Cerastoderma*	*exiguum*
Parvicardium	*ovale*	*Cerastoderma*	*ovale*
Phaxas	*pellucidus*	*Cultellus*	*pellucidus*
Pherusa	*eruca*	*Stylarioides*	*eruca*
Pherusa	*sp*	*Stylarioides*	*sp*
Pholoë	*inornata*	*Pholoë*	*minuta*
Plagiocardium	*papillosum*	*Parvicardium*	*papillosum*
Pododesmus	*patelliformis*	*Monia*	*squama*
Polinices	*pulchellus*	*Lunatia / Natica*	*alderi*
Quadrans	*serratus*	*Tellina*	*serrata*
Scolelepis	*foliosa*	*Nerine*	*foliosa*
Scolelepis	*sp*	*Nerine*	*sp*
Scypha	*raphanus*	*Sycon*	*raphanus*
Solea	*solea*	*Solea*	*vulgaris*
Striarca	*lactea*	*Arca*	*lactea*
Tapes	*aureus*	*Venerupis*	*aurea*
Tapes	*decussatus*	*Venerupis*	*decussatus*
Tapes	*rhomboides*	*Venerupis*	*rhomboides*
Taurulus	*bubalis*	*Acanthocottus*	*bubalis*
Tectura	*virginea*	*Acmaea*	*virginea*
Tellimya	*ferruginosa*	*Montacuta*	*ferruginosa*
Timoclea	*ovata*	*Venus*	*ovata*
Trophon	*muricatus*	*Trophonopsis*	*muricatus*
Turbonilla	*jeffreysii*	*Turbonilla*	*Jeffreysi*

ANNEXE G

Classifications européennes de référence utilisées

Classification de la Directive Habitats (d'après Bensettiti *et al.*, à paraître)

Subtidal :

1110 : Bancs de sables à faible couverture permanente d'eau marine

- 1110-1 : Sables fins propres et légèrement envasés. Herbiers de *Zostera marina*
- 1110-2 : Sables moyens dunaires
- 1110-3 : Sables grossiers et graviers, bancs de maërl
- 1110-4 : Sables mal triés

1130 : Estuaires

- 1130-1 : Slikke en mer à marée

1160 : Grandes criques et baies peu profondes

- 1160-1 : Vasières infralittorales
- 1160-2 : Sables hétérogènes envasés infralittoraux, bancs de maërl

1170 : Récifs

- 1170-5 : Roche infralittorale en mode exposé
- 1170-6 : Roche infralittorale en mode abrité
- 1170-7 : Roche infralittorale en mode très abrité
- 1170-8 : Cuvettes ou mares permanentes

Intertidal :

1140 : Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (intertidal)

- 1140-1 : Sables de hauts de plage à Talitres
- 1140-2 : Galets et cailloutis des hauts de plages à *Orchestria*
- 1140-3 : Estrans de sable fin
- 1140-4 : Sables dunaires
- 1140-5 : Estrans de sables grossiers et graviers
- 1140-6 : Sédiments hétérogènes envasés

1170 : Récifs

- 1170-1 : Roche supralittorale
- 1170-2 : Roche médiolittorale en mode abrité
- 1170-3 : Roche médiolittorale en mode exposé
- 1170-9 : Champs de blocs

Classification ZNIEFF-mer (d'après Dauvin, 1994)

Subtidal :

III2 : Vases infralittorales

III2-7 : Vases sableuses à *Maldane glebifex*

III2-8 : Vases sableuses à *Abra alba* - *Melinna palmata*

III3 : Sables fins plus ou moins envasés infralittoraux

III3-1 : Sables fins à *C. gallina*, *M. corallina*, *S. subtruncata*, *F. fabulina* et *A. tenuis*

III3-2 : Sables fins à *A. alba*

III3-3 : Sables hétérogènes envasés à *P. cristata* et *Sthenelais boa*

III3-4 : Herbiers de *Zostera marina*

III4 : Sables moyens infralittoraux

III4-1 : Sables dunaires à *Abra prismatica* - *Nephtys cirrosa*

III5 : Sables grossiers plus ou moins envasés infralittoraux

III5-1 : Sables grossiers ou gravelles propres à *B. lanceolatum* - *C. fasciata*

III5-2 : Sables grossiers et gravelles sales à *Gibbula magus*, *Nucula nucleus*, *Venus verrucosa*

III6 : Cailloutis et galets infralittoraux

III6-1 : Cailloutis à épibiose sessile

III6-1-1 : Faciès à *Ophiothrix fragilis*

III6-1-3 : Faciès à Ascidies simples dans les zones de forts courants, en mode abrité

III7 : fonds de maërl

III7-1 : Fonds à *Phymatolithon calcareum* et *Lithothamnion corallioides*

III9 : Fonds durs et roches infralittoraux

III9-1 : Ceinture à *Chondrus crispus* - *Mastocarpus stellatus*, également sous-strate d'*Himmanthalia elongata*

III9-1-1 : Faciès à *Himanthalia elongata* (avec courant)

III9-1-2 : Faciès à *Laminaria saccharina* (mode abrité)

III9-1-3 : Faciès à *Gigartina acicularis* - *Gracilaria multipartita* (mode calme)

III9-2 : Moulière infralittorale à *Mytilus edulis*

III9-3 : Biocénoses des Laminaires

III9-3-1 : Faciès des hauts niveaux très battus à *Alaria esculenta* ou *Saccorhiza polyschides* - *Corallina elongata*

III9-3-2 : Faciès des hauts niveaux battus à semi-battus à *Laminaira digitata*

III9-3-3 : Faciès à *Laminaria hyperborea* - *Laminaria ochroleuca* : sous-faciès à *L. hyperborea* en population pure (eau claire, mode battu à très battu)

III9-3-4 : Faciès à *Laminaria hyperborea* - *Laminaria ochroleuca* : sous-faciès à Didemnidés - Bryozoaires (mode battu à semi-battu et courant)

III9-3-5 : Faciès à *Laminaria hyperborea* - *Laminaria ochroleuca* : sous-faciès à algues filamenteuses (mode abrité)

III9-3-6 : Faciès à *Laminaria hyperborea* - *Laminaria ochroleuca* : sous-faciès à *L. ochroleuca* dominante (en chenal)

III9-3-7 : Faciès à *Saccorhiza polyschides* (appauvrissement en présence de vase)

III9-3-8 : Faciès d'hydrodynamisme intense (vagues et courants)

III9-3-9 : Faciès lié à la diminution locale d'éclairement : tombants, surplombs et fissures

III9-3-10 : Faciès lié à la diminution locale d'éclairement : tunnels semi-obscurs

III9-4 : Couverture algale sous influence du sédiment

III9-4-1 : Faciès à Cystoseires et *Laminaria saccharina* en mode abrité

III9-4-2 : Faciès à *Halidrys siliquosa* - *Ciocalypta penicillus* en mode semi-battu à battu

III9-4-3 : Faciès à *Solieria chordalis* en mode très abrité ou en profondeur

III9-5 : Peuplement à Ascidies simples dans les zones de fort courant en mode abrité avec turbidité élevée

Intertidal :

I2 : Sables supralittoraux

I2-1 : Sables des hauts de plage à *Talitrus saltator*

II1 : Vases médiolittorales de milieu estuarien ou lagunaire

II1-1 : faune et flore de la slikke

II2 : Vases sableuses et sables médiolittoraux de milieu estuarien ou lagunaire

II2-1 : Vases sableuses à *Scrobicularia plana*

II2-2 : Sables fins plus ou moins envasés estuariens

II2-3 : Biocénose des sables vaseux et vases des lagunes et estuaires

II3 : Sables médiolittoraux en mer ouverte

II3-1 : Sables fins plus ou moins envasés

II3-2 : Sables moyens dunaires

II3-3 : Herbiers de *Zostera marina*, *Zostera noltii* du médiolittoral inférieur

II4 : Cailloutis et galets médiolittoraux en mer ouverte

II5 : Fonds durs et roche médiolittoraux en mer ouverte

II5-1 : Ceinture à *Pelvetia canaliculata*

II5-2 : Ceinture à *Fucus spiralis*

II5-3 : Ceinture à *Fucus vesiculosus* (ceinture à *Ascophyllum nodosum* et *Polysiphonia lanosa* en mode calme)

II5-4 : Ceinture à *Fucus serratus*

II5-5 : Moulière médiolittorale à *Mytilus sp.*, avec II5-5-1 : Faciès à *Pollicipes cornucopiae* en mode très battu

II5-7 : Cuvettes en position médiolittorales

Classification *EUNIS* (d'après Davies et Moss, 2002)

Subtidal :

A3 : Habitats de roche subtidaux

- A3-1 : Infralittoral exposé
- A3-2 : Infralittoral semi-abrité
- A3-3 : Infralittoral abrité
- A3-4 : Grottes et surplombs infralittoraux
- A3-5 : Circalittoral côtier exposé
- A3-6 : Circalittoral côtier semi-abrité
- A3-7 : Circalittoral côtier abrité
- A3-8 : Circalittoral du large exposé
- A3-9 : Circalittoral du large semi-abrité
- A3-A : Circalittoral du large abrité
- A3-B : Grottes et surplombs plus profonds

A4 : Habitats des fonds meubles subtidaux

- A4-1 : Cailloutis, graviers et sables grossiers mobiles sublittoraux
  - A4-1-1 : Communautés animales des graviers peu profonds
    - A4-1-1-2 : Sables propres ou graviers coquilliers infralittoraux à *Spisula elliptica* et bivalves Vénéridés
  - A4-1-2 : Communautés animales des sables grossiers peu profonds
    - A4-1-2-1 : Faune pauvre des sables propres mobiles infralittoraux marins
  - A4-1-3 : Communautés animales des cailloutis, graviers et sables grossiers mobiles circalittoraux
    - A4-1-3-1 : Communauté à bivalves Vénéridés sur sables grossiers et graviers circalittoraux
      - A4-1-3-1-2 : Communauté à bivalves Vénéridés et *Branchiostoma lanceolatum* des sables grossiers coquilliers
    - A4-1-3-2 : Communauté à *Pomatoceros triqueter*, *Balanus crenatus* et bryozoaires encroûtants sur cailloutis et graviers mobiles circalittoraux
    - A4-1-3-4 : Communauté à coquilles S^{t}-Jacques sur graviers et sables coquilliers
- A4-2 : Sables et sables envasés sublittoraux
  - A4-2-2 : Communautés des sables fins en eaux très peu profondes

A4-2-3; : Communautés des sables fins très bien triés

A4-2-5 : Communautés animales des sables fins envasés en eau marine peu profonde

A4-2-5-1 : *Echinocardium cordatum* et *Ensis sp.* des bas de plages ou des sables fins envasés sublittoraux peu profonds

A4-2-5-2 : Sables propres ou envasés infralittoraux à *Spio filicornis* et *Spiophanes bombyx*

A4-2-5-3 : Sables envasés ou vases à *Macoma balthica* et *Abra alba*

A4-2-5-4 : Sédiments envasés enrichis sublittoraux à *Capitella capitata*

A4-2-5-5 : *Turritella* dans des sables envasés

A4-2-6 : Communautés animales des sables envasés en salinité variable ou réduite

A4-2-7 : Communautés animales des sables envasés circalittoraux

A4-2-7-1 : *Abra alba*, *Nucula nitida* et *Corbula gibba* dans des sables envasés ou sables hétérogènes circalittoraux

A4-2-7-2 : *Amphiura filiformis* et *Echinocardium cordatum* dans des sables propres ou légèrement envasés circalittoraux

A4-3 : Vases sublittorales

A4-3-1 : Communautés des vases peu profondes en eau marine

A4-3-2 : Vases sublittorales en salinité variable ou réduite

A4-3-3 : Communautés des sables superficiellement envasés dans les eaux abrités

A4-4 : Sédiments hétérogènes sublittoraux

A4-4-2 : Communautés animales des sédiments hétérogènes infralittoraux

A4-4-4 : Communautés animales des sédiments hétérogènes circalittoraux

A4-4-4-5 : Bancs d'ophiures *Ophiothrix fragilis* avec des courants de marée modérés

A4-5 : Sédiments sublittoraux peu profonds dominés par des angiospermes

A4-5-3 : Herbiers de zostères sur sédiments infralittoraux

A4-6 : Structures biogènes recouvrant des sédiments sublittoraux

A4-6-1 : Maërl et algues sur sédiments grossiers peu profonds

A4-6-1-3 : Faciès de maërl (association *Lithothamnion corallioides* et *Phymatolithon calcareum*)

A4-6-2 : Maërl sur sédiments hétérogènes envasés peu profonds

Intertidal :

A1 : Milieu intertidal rocheux

A1-1 : Exposé

A1-2 : Semi-abrité

A1-3 : Abrité

A1-5 : Flaques

A1-6 : Grottes et surplombs immergés à marée haute

A2 : Habitats sédimentaires meubles intertidaux

A2-1 : Graviers et sables grossiers

A2-2 : Sables et sables envasés jusqu'à 30 % de pélites

A2-3 : Vases au-delà de 30 %

A2-4 : Sédiments hétérogènes

A2-5 : Habitats de salinité réduite ou exposés à l'action du vent

A2-6 : Marais et roselières

A2-7 : sédiments littoraux (intertidaux) dominés par des angiospermes aquatiques : herbiers de zostères sur des sédiments littoraux

ANNEXE H

Publications scientifiques et participations à des congrès

PUBLICATIONS DANS DES REVUES À COMITÉ DE LECTURE

Hily C., **C. Raffin**, A. Brun et C. den Hartog, 2002. Spatio-temporal variability of wasting disease symptoms in eelgrass meadows of Brittany (France). *Aquatic Botany* 72 : 37-53.

ELSEVIER

Aquatic Botany 72 (2002) 37–53

Aquatic botany

www.elsevier.com/locate/aquabot

Spatio-temporal variability of wasting disease symptoms in eelgrass meadows of Brittany (France)

Christian Hily [a,*], Coralie Raffin [a], André Brun [b], Cornelis den Hartog [c]

[a] *Laboratoire Bioflux UMR CNRS 6539, Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopole Brest Iroise, 29280 Plouzané, France*

[b] *Laboratoire d'Ecologie et Biochimie des Algues Marines, Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopole Brest Iroise, 29280 Plouzané, France*

[c] *Zevenheuvelenweg 50, 6571 CK Berg en Dal, The Netherlands*

Received 21 February 2001; received in revised form 15 July 2001; accepted 13 September 2001

This paper has been written in memory of André Brun who, despite his illness, has been working for a long time on this study

Abstract

Eelgrass-leaf dynamics and 'wasting disease' symptoms were compared in three meadows of the Brittany shoreline. The agent responsible for these symptoms, *Labyrinthula zosterae*, was present in these three sites; its infestation was highly correlated with leaf-age. To distinguish the periods of increased *Labyrinthula* infestation from the periods of normal functioning of the plant with none or only few infestations, a procedure based on the association of a wasting index (WI) and leaf-age was developed. This procedure is capable of revealing the phases of early infestation and recession of the 'disease' by comparison of the normal infestation of *Labyrinthula* which develops only to a minor extent in the oldest leaves of the shoots. The overall seasonal dynamics of leaf production and leaf growth were masked by the local conditions of each *Zostera* bed. Over the period of study (1–2 years), no significant mortality due to *Labyrinthula* was observed. The variability of the WI appeared to depend essentially on the normal life-span of the leaves and local events, and appeared to be asynchronous. However, periods of 'disease' were observed; in which the WI increased from 5–10% (baseline) to 20–25% (maximum) at the end of the summer, when the leaf surface and leaf numbers were at their maximum. No die-off due to *Labyrinthula* was found. © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

Keywords: *Zostera marina*; Wasting disease; *Labyrinthula zosterae*; Spatio-temporal variability; Meadow dynamics

* Corresponding author. Tel.: +33-2-98-49-86-40; fax: +33-2-98-49-86-45.
E-mail address: christian.hily@univ-brest.fr (C. Hily).

0304-3770/02/$ – see front matter © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved.
PII: S0304-3770(01)00195-4

Hily C., S. Connan, **C. Raffin** et A. Le Mercier, 2000. Quantification of the grazing activity on seagrass epiphyton with a new methodological approach : first application in *Zostera marina* meadows. *Biologia Marina Mediterranea* 7 (2) : 220-223.

Biol. Mar. Medit. (2000), 7 (2): 223-226

C. HILY, S. CONNAN, C. RAFFIN, A. LE MERCIER

LEMAR UMR CNRS 6539, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Technopole Brest Iroise, 29280 Plouzané, France.

QUANTIFICATION OF THE GRAZING ACTIVITY ON SEAGRASS EPIPHYTON WITH A NEW METHODOLOGICAL APPROACH : FIRST APPLICATION IN *ZOSTERA MARINA* MEADOWS

Abstract

Epiphython/grazer relationships play an important role in seagrass meadow dynamics. This presentation describes a new methodology to quantitatively measure the grazing activity on ephiphyton of living Zostera marina *leaves. The experimental approach consists in the comparison of epiphytic cover rates before and after grazing activity using image analysis techniques under controlled conditions. The first results obtained by experimenting two species of grazers gastropods molluscs (*Gibbula umbilicalis *and* Jujubinus striatus*) calibrated and validated the methodology.*

Key-words: *grazing, image analysis technique,* Zostera marina, *gastropod.*

Introduction

According to Power (1995), keystone species are species «whose impacts on its community or ecosystem are larger than would be expected from their abundance ». This definition is now extended to guilds of species and processes the function of which play an important role in determining trophic cascades. Grimé (1997) underlined that it has become urgent to identify these species and functional types in communities in order to asses biodiversity dynamics. In this context, we examined Brittany eelgrass meadows to identify some of these species and guilds (Hily and Bouteille, 1999). As there exist a variety of anthropogenic impacts on *Zostera marina* beds of the French Channel-Atlantic coasts, the biodiversity of the associated communities is threatened (Den Hartog and Hily, 1997). It is necessary to understand the mechanisms which are at play in biodiversity erosion. The study focused on the role of micrograzers on eelgrass/habitat stability. The epiphytic algae contribute to the high biodiversity of seagrass meadows (Bologna and Heck, 1999). Conversely, epiphytes are also agents of shading to the macrophyte host. Borum and Wium-Andersen (1980) measured that less than 10% of the incoming light was transmitted through the dense epiphyte cover growing on the oldest blade tips of *Zostera marina*. Sand-Jensen (1977) showed that epiphytes can reduce photosynthesis of *Z. marina* by 31% and act as a barrier to carbon uptake. Alcoverro *et al.* (1997) conclude that consumption by herbivores seems to play a major role in inducing among-site variability of epiphyte biomass. Many studies have demonstrated the role of grazing to maintain *Zostera* growth (van Montfrans *et al*, 1984). The plants may die when epiphytic growth rates are higher than grazing rates (Jernakoff *et al.*, 1996). It is our ongoing goal to test the different grazing capacities in different eelgrass meadows of Brittany and to examine the differences between species within this trophic group. In the present study, we describe a new quantitative method to measure short term grazing on *Zostera* leaves. *Jujubinus striatus* and *Gibbula umbilicalis* (Mollusca, Gastropoda), two of the most abundant of these micrograzers in the eelgrass meadows of Brittany, were selected as test species.

Hily C., S. Connan, **C. Raffin** et S. Wyllie-Echeverria, 2003. In vitro experimental assessment of the grazing pressure of two gastropods on *Zostera marina* L. epiphytic algae. *Aquatic Botany* (sous presse).

Abstract :

This study experimentally assessed the impact of gastropod grazing on epiphyton biomass and taxonomic composition on leaves of the seagrass *Zostera marina* L. along the coasts of Brittany, France. Image analysis was used to measure the same section of a leaf before and after grazing and assess grazing pressure. It was found that : (1) both grazers, *Gibbula umbilicalis* and *Jujubinus striatus*, were highly efficient in reducing epiphytic cover ; (2) *J. striatus* showed a higher specific grazing rate than *G. umbilicalis* at an equivalent animal biomass ; (3) *J. striatus* increased its activity when epiphytic biomass increased. Analysis of the variability of epiphytic cover along the leaves showed considerable heterogeneity from the basal part of the external leaves of a shoot to the apex. The development of long filamentous algae (mainly ectocarpales) in spring and summer and their concentration at the apex intensified shading impacton the seagrass bed. The grazing of both gastropod spacies was also concentrated at the apex, thereby enhancing their role in moderating the shading effect.

Congrès internationaux

Raffin C. et C. Hily. Benthic habitat and community diversity as an ecological basis for the creation of an innovative MPA's type in the Iroise sea (West Brittany, France). *38th European Marine Biology Symposium*, 8-12 septembre 2003, Aveiro (Portugal). Communication orale.

Abstract :

At the western point of France, the Iroise sea is a coastal marine area covering more than 200 000 ha, located at a transitional situation between the English Channel and the Bay of Biscay. Highly exploited for its marine richness (algae, fishes, molluscs,...), its patrimonial value is already recognized by the classification of some littoral areas as a National Nature Reserve and a UNESCO's Man And Biosphere Reserve, both concerning the Molène Archipelago and Ushant Island. But oil spills events and increasing human activities, as fishing, extraction of marine sediments and recreational uses, could dangerously weaken this exceptional ecosystem. To ensure the conservation of the Iroise sea's biodiversity, a MPA's project, which would include the entire marine field, is currently being studied as a Marine National Park, concept which remains entirely original in France.

A study based on multivariate analyses was undertaken in order to identify the sedimentary habitats and the associated macrofaunal assemblages in the infralittoral and circalittoral areas, providing a useful reference point to contribute to the definition of the management planning, the biomonitoring and the evaluation of MPA's effects. The results highlighted the high diversity and the great heterogeneity of habitats and benthic communities of the Iroise sea, which makes this zone representative of the Channel and Atlantic coastal areas. Moreover, it emphasized the importance and the complexity of the gravel's and coarse sediments' habitats. This original distinctive feature of the Iroise sea-beds is explained by the particular hydrodynamical conditions in which this marine area is placed, with frequent heavy swell and very strong tidal currents. As a synthesis, a cartography of marine habitats, benthic communities, threatened areas, economic and patrimonial richness and sensitivity to human perturbations (current or future), was carried out with an aim of ecosystem management.

Hily C., M. Connan, **C. Raffin** et S. Connan. Place and role of *Zostera marina* beds in the context of the European habitat, Bird and Water Framework. *38th European Marine Biology Symposium*, 8-12 septembre 2003, Aveiro (Portugal). Communication orale.

Hily C., S. Connan, **C. Raffin** et A. Le Mercier. Measuring grazing activity on *Zostera marina* leaf epiphython : first results with *Gibbula umbilicalis* and *Jujubinus striatus* (Mollusca, Gastropoda). *4th International Seagrass Biology Workshop "Seagrass 2000"***.** Septembre 2000, Corse. Poster.

Raffin C. et C. Hily. *Zostera marina* dynamics and problems of conservation in Brittany (France). *International Congress Changes in the marine flora of the North sea.* 13-15 Juillet 1998, Scarborough (U.K.). Poster.

Workshops et rapports

Hily C., J. Grall, M. Le Hir, F. Le Loc'h et **C. Raffin.** Definition and use of etho-trophic guilds to assess functional biodiversity dynamics in benthic macrofauna of coastal marine ecosystems. 25-26 Septembre 2000, Montpellier : *Atelier "Groupe fonctionnel : concepts et Applications", CEFE/ENSA Montpellier*.

Le Hir M., M. Glémarec, J. Grall, C. Hily et **C. Raffin**. Dynamique de la diversité de la macrofaune en milieu benthique côtier. *Workshop PNOC Séries Long Terme. "Les changements à long terme des écosystèmes marins, quelles approches pour quelles interprétations"*. 25 -26 Février 1999, Wimereux.

Hily C., S. Connan et **C. Raffin**, 1999. Atlas des herbiers zostères de Bretagne : inventaire des sites, de la faune et de la flore. Rapport de contrat DIREN Bretagne/UBO, 229 p.

ANNEXE I

Nouveau Chapitre de Thèse

VALORISATION DES COMPETENCES

- UN NOUVEAU CHAPITRE DE THÈSE -

BASES BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE LA CONSERVATION DU MILIEU MARIN EN MER D'IROISE

Coralie RAFFIN

École Doctorale des Sciences de la Mer
Institut Universitaire Européen de la Mer / Université de Bretagne Occidentale

Directeur de thèse : Christian HILY
Mentor : Jean-Marie FETROT

Soutenue le 26 septembre 2003
Mention très honorable avec félicitations du jury

SOMMAIRE

1 CADRE GÉNÉRAL ET ENJEUX DE LA THÈSE 1

1.1 Présentation générale du projet et résumé 1

1.1.1 Enjeux de la thèse 1

1.1.2 Résultats attendus 2

1.2 Genèse du projet dans le contexte du laboratoire d'accueil 2

2 DÉROULEMENT, GESTION ET COÛT DU PROJET 3

2.1 Préparation, financement et cadre du projet 3

2.2 Conduite du projet 4

2.3 Gestion des relations avec les partenaires 4

2.4 Évaluation du coût consolidé 5

3 COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES 5

3.1 Domaines d'expertise et connaissances acquises 5

3.2 Compétences méthodologiques, méthodes de travail 7

3.3 Savoir-faire administratifs, organisationnels, linguistiques 7

3.4 Qualités personnelles et construction d'un réseau personnel 8

4 IMPACTS DE LA THÈSE 9

4.1 Pour l'équipe, la recherche, l'économie, la société 9

4.2 Personnels, en terme de pistes professionnelles 9

1 CADRE GÉNÉRAL ET ENJEUX DE LA THÈSE

1.1 - Présentation générale du projet et résumé

La biologie de la conservation du milieu marin est une science encore récente, qui fait appel à des connaissances des espèces et des milieux et exige aussi des bases en géographie et en histoire pour appréhender l'influence des phénomènes à très grande échelle sur la structure des communautés et la composition en espèces. Cette étude permet une approche de la gestion et de la protection du milieu marin de la mer d'Iroise à partir de connaissances biologiques et écologiques. Ce travail s'insère dans les préoccupations nationales et internationales de conservation de la biodiversité par l'acquisition et la synthèse de données scientifiques et leur restitution aux autres acteurs de la conservation. Cette étude apporte des données qui complètent les connaissances sur la sédimentologie des fonds de l'Iroise et permettent d'en préciser la couverture sédimentaire et la variabilité spatiale et saisonnière. Une large gamme de types sédimentaires est représentée, avec une importance originale pour les cailloutis et les graviers et l'organisation des sédiments en couches superposées, induisant une complexité d'habitats. L'étude de la faune benthique (vivant sur le fond de la mer) permet de définir les habitats et les communautés du milieu marin de l'Iroise, avec six grandes unités de peuplement comportant chacune plusieurs faciès, dont certains à grande valeur écologique et patrimoniale. Une analyse de l'utilisation de l'espace et des ressources en mer d'Iroise est proposée, ainsi qu'un bilan concernant la biodiversité et l'état actuel des réflexions internationales sur les aires marines protégées. La synthèse finale dégage les enjeux des habitats et des peuplements de l'Iroise, ainsi que les pressions anthropiques potentielles à court et moyen termes. Les priorités et les solutions pour la conservation de ce milieu marin sont discutées et un plan de zonage multi-usages est proposé dans le cadre du futur Parc National Marin de la mer d'Iroise.

1.1.1 Enjeux de la thèse

Six enjeux principaux (quatre scientifiques et deux socio-économiques) se dégagent :

- la synthèse et le complément des connaissances sur la sédimentologie et la faune de la mer d'Iroise
- l'observation de leurs répartitions spatiales
- la mise en évidence des originalités, des enjeux, des menaces, des priorités de conservation et la proposition de solutions pour la conservation de cette zone marine
- l'accessibilité de des résultats en tant que base de données préalables sur les habitats et les peuplements de la mer d'Iroise

- un enjeu social est représenté aux niveaux local et national, cette étude étant réalisée dans le contexte de la création du premier parc national marin de France.
- un enjeu économique indirect existe également puisque ce projet peut contribuer à la réussite du zonage pour le futur parc marin si les propositions sont reprises par les décideurs, afin de conserver et protéger les richesses de la mer d'Iroise tout en permettant le développement de l'économie locale par le biais du tourisme et des activités de loisirs dans la zone du parc et tout autour.

1.1.2 Résultats attendus

Les principaux résultats fournis par cette thèse sont la réalisation d'une cartographie de synthèse des habitats et des peuplements de la faune benthique de l'Iroise, une synthèse des activités humaines et de l'utilisation des ressources en mer d'Iroise, ainsi qu'un état actuel des réflexions internationales sur les aires marines protégées en France et dans le monde. Ces informations sont croisées pour aboutir à une proposition de zonage, dans le cadre d'un plan de gestion inclus dans le projet de Parc National Marin de la mer d'Iroise.

1.2 - Genèse du projet dans le contexte du laboratoire d'accueil

Je suis arrivée dans le laboratoire en 1997 pour y effectuer mon stage de DEA sous la direction de C. Hily. J'ai commencé une thèse en 1997-1998 dans la continuité de ce sujet de recherche, sans bourse de thèse mais avec un financement par contrat avec la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN-Bretagne). L'année suivante, un autre sujet de thèse a été proposé pour moi et a obtenu un financement de trois ans par la Région Bretagne : ce sujet, concernant la conservation de la biodiversité en milieu marin, était tout à fait dans mes centres d'intérêt. De plus, le fait que le projet implique une approche multidisciplinaire et ait un objectif avec un intérêt concret pour des non-scientifiques et pour la société était un plus à mes yeux. Une bourse de la Région Bretagne m'a été accordée pour trois années (1998-1999, 1999-2000 et 2000-2001 ; 11 424 €/an) et j'ai donc débuté un nouveau projet de recherche, tout en terminant le travail commencé pour la DIREN jusqu'en septembre 1999.

Je n'ai pas vraiment participé à la définition du sujet (problématique, objectifs) ou à la programmation initiale de son déroulement. À la base, ce projet était donc celui de mon responsable, impliqué par ailleurs dans le groupe scientifique de mise en place du Parc National Marin d'Iroise. Le projet de base était très vaste et pas forcément conciliable avec les trois années d'une thèse. Mon rôle s'est affirmé au cours de l'avancement du projet que j'ai adapté aux multiples contraintes de temps et de faisabilité rencontrées et a été déterminant dans les choix des priorités menant à la forme définitive de ma thèse.

Mon laboratoire d'accueil a été le Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR, UMR-CNRS 6539) dirigé par le professeur Jacques CLAVIER. Mon projet de recherche s'intégrait dans l'un des trois thèmes de recherche que comportait ce laboratoire ("biodiversité"). Cette problématique n'apparaît cependant plus dans les prospectives du laboratoire depuis la réalisation du nouveau plan quadriennal d'association avec le CNRS (2004-2008). D'autre part, le laboratoire est impliqué dans plusieurs réseaux scientifiques et programmes nationaux et internationaux, mais ni mon projet ni moi-même ne sommes inclus dans un programme ou un réseau scientifique. Mon travail de thèse n'a donc pas été réalisé dans le cadre d'une équipe de travail.

J'ai pu bénéficier du matériel du laboratoire nécessaire à l'étude des sédiments et de la faune benthique (balances, étuve, four, tamis, formol, alcool, tamiseuse, loupe binoculaire, microscope, ouvrages de systématique, matériel informatique, *etc*...) et de ses acquis dans les domaines de l'étude des peuplements benthiques et de la systématique des invertébrés marins. J'ai également pu utiliser les navires INSU/CNRS *Côte d'Aquitaine* et *Côtes de la Manche* avec leurs équipages pendant les sept campagnes en mer nécessaires à l'obtention des échantillons (campagnes accordées sur dossier au niveau national). L'encadrement scientifique a été assuré par C. HILY, mon directeur de thèse (chargé de recherches au CNRS) et une aide ponctuelle m'a été apportée par M. GLÉMAREC, professeur émérite de l'Université de Bretagne Occidentale.

2 DÉROULEMENT, GESTION ET COÛT DU PROJET

2.1 - Préparation, financement et cadre du projet

Le thème de la conservation de la biodiversité est encore peu étudié par le milieu universitaire français. Le projet est donc innovant et présente un intérêt local direct. Cependant son aboutissement dépendait de la réussite de la phase de synthèse de données et des campagnes en mer apportant de nombreuses données nouvelles. Les risques principaux résidaient dans le peu de connaissances disponibles sur la zone géographique considérée, ainsi que sur la taille considérable de fonds marins qu'elle représente (plus de 200 000 hectares). Les risques de données acquises insuffisantes ou de durée d'acquisition trop longue, dus aux aléas du travail en mer, étaient donc importants et n'ont pas vraiment été évalués. Des campagnes en mer supplémentaires ont dues être réalisées (7 sur 2 années au lieu des 3 sur 8 mois programmées au départ). De plus, la durée nécessaire pour la phase de tri et de détermination des échantillons ayant été largement sous-estimée, la durée de la thèse en a été considérablement rallongée. J'ai d'ailleurs décidé de limiter le dépouillement à un certain nombre d'échantillons représentatifs de l'ensemble des prélèvements.

Aucun contrat de recherche n'étant associé à ce projet, les coûts de fonctionnement ont été pris sur les fonds communs du thème de recherche du laboratoire (fonds UBO et CNRS). Cette absence de financements externes au laboratoire mobilisés pour ce projet n'a pas permis d'embaucher un vacataire pour accélérer la phase d'acquisition des données.

La valorisation des résultats a été initiée avec la participation à un congrès international en septembre 2003 (38ème *European Marine Biology Symposium* à Aveiro, Portugal). La rédaction d'articles dans des revues scientifiques n'a pas pu être réalisée avant la fin de la thèse mais est en cours. La question de la propriété intellectuelle des données de base n'est pas abordée dans le laboratoire qui se considère par principe copropriétaire de tous les résultats obtenus dans le cadre des thèses, puisqu'il fournit les moyens de les obtenir.

2.2 - Conduite du projet

L'absence d'un groupe de travail ou de collaborateurs associés à mon projet m'a laissé une grande autonomie dans l'organisation et la réalisation des différentes étapes de ma thèse. Les réunions de travail avec mon responsable, pour discuter de l'avancement du projet ou des résultats, n'étaient pas planifiées ; elles ont été peu nombreuses et irrégulières sur les cinq années de travail représentées par ma thèse. Ces discussions ont cependant permis de résoudre certains problèmes ponctuels. J'ai été autonome pour décider des réorientations à apporter à mon projet, afin de réaliser une thèse méritant d'être soutenue sans prolonger trop la durée nécessaire pour achever mes travaux. Les trois rapports annuels envoyés en 1999, 2000 et 2001 à la Région, financeur du projet, ont été de bonnes occasions pour moi de faire un bilan d'avancement, même si je n'en ai pas eu de retour.

Les nombreuses réorientations apportées au projet ont rendu superflu un certain nombre d'échantillons, causant une perte de temps étant donné le temps d'acquisition parfois très long représenté par certains d'entre eux (prélèvements en plongée et en mer sur un navire du CNRS, transects vidéo sous-marins…).

2.3 - Gestion des relations avec les partenaires

Aucun partenaire industriel ou sous-traitant n'étant associé à ce projet, j'ai trouvé dans mes relations personnelles des doctorants avec qui instaurer une discussion scientifique sur l'exploitation et l'interprétation de mes résultats, afin de compenser cette absence de partenaire. Cette aide a considérablement amélioré la qualité de mon travail mais cette expérience m'a clairement montré les limites d'un travail trop isolé.

2.4 - Évaluation du coût consolidé (tableau 1)

Mon projet a bénéficié de l'aide ponctuelle de techniciens du laboratoire (pour les campagnes en mer, des travaux informatiques) et de stagiaires non rémunérés (mer et labo), ainsi que de celle des équipages des navires INSU/CNRS lors des campagnes en mer. En plus de moi-même, seul mon responsable de thèse (CR1 du CNRS) est donc affecté au projet en plus de ses autres obligations (deux autres encadrements de thèse et plusieurs projets de recherche).

Tableau 1 : Évaluation du coût représenté par la thèse (NC = non communiqué).

Motif de la dépense	Coût (en euros)	Commentaires
Mon salaire (3 ans)	34 272	Région Bretagne c/o UBO
Missions en mer (navire INSU/CNRS)	3645	Labo
Matériel de terrain et de labo	NC	Labo
Manips plongées (coûts zodiac)	NC	Labo
Fonctionnement	NC	Labo
Recherches biblio	30	Labo
Congrès (38ème EMBS)	876,75	Labo
Cours transversaux - interventions EDSM	30	EDSM
Soutenance	1120	Labo
Doctoriales	230	Labo / EDSM
Nouveau Chapitre de Thèse	365	Labo / EDSM
Formation CNRS de plongeur scientifique	1241	Pour la participation à des
Visites médicales annuelles (5)	2590	programmes autres que ma thèse

3 COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES

3.1 - Domaines d'expertise et connaissances acquises

Au cours de ces années de travail sur mon projet, j'ai développé plusieurs domaines d'expertise scientifique, concernant la connaissance de la sédimentologie, de la systématique des invertébrés benthiques (*identification des espèces à l'aide de clés de détermination, d'une loupe binoculaire et d'un microscope*) et la définition d'habitats et de communautés d'espèces en milieu benthique subtidal (*fonds marins toujours immergés*). J'ai également acquis de solides connaissances sur la mer d'Iroise (utilisation de l'espace et des ressources), sur les statuts et les réglementations nationales et

internationales sur la biodiversité et sa conservation et sur l'état actuel des réflexions au niveau mondial sur les aires marines protégées. Les domaines d'expertise technique que j'ai développés recouvrent ainsi l'obtention et l'analyse granulométrique de sédiments marins, la détermination de la faune benthique jusqu'au niveau de l'espèce et l'utilisation d'outils informatiques pour la recherche bibliographique et les statistiques appliquées à l'écologie.

Les connaissances acquises dans le champ de la discipline sont multiples : j'ai organisé plusieurs des campagnes en mer nécessaires à l'obtention de mes échantillons, avec la rédaction de dossiers annuels de demandes de campagnes à l'Institut National des Sciences de l'Univers, l'organisation et la gestion logistique des campagnes (transport du matériel, recrutement de volontaires et gestion de l'équipe scientifique, relations avec le capitaine et l'équipage, retour des échantillons). J'ai utilisé plusieurs méthodes d'échantillonnage en mer de la faune et des sédiments marins (bennes Hamon, bennes Smith-Mc Intyre, drague à coquilles modifiée, drague Rallier, carottier Reineck, petit chalut à panneaux…). Mon responsable et moi-même avons imaginé et construit une table de tri embarquable adaptée aux besoins de ce projet. J'ai également organisé et participé à de nombreuses campagnes d'échantillonnage en zones intertidales (*zones de balancement des marées*) rocheuses et sédimentaires (carottages, quadrats, haveneaux) et en plongée (carottages, prélèvements dans des quadrats, cartographie, installation et récupération de matériel, *etc*…). J'ai réalisé des mesures des paramètres environnementaux (bouteilles Niskin, sonde CTD) et des filtrations d'eau, ainsi que toutes les analyses sédimentaires (granulométrie, dosage de matière organique, calcimétrie) et la détermination de la faune benthique. J'ai quotidiennement utilisé de nombreux logiciels informatiques pour le stockage, la mise en forme et l'analyse de mes données (*Excell*, *Access*, *Statgraphic Plus*, *Uniwin*, *Xlstat Pro*), la réalisation de macro photos numériques, ainsi que pour la réalisation de cartes (*Adobe Illustrator*).

J'ai aussi acquis des connaissances qui dépassent mon domaine de recherche : je maîtrise plusieurs logiciels de bureautique (*Word*, *PowerPoint*, *Endnote*), utilisés notamment pour la rédaction de rapports d'activités, de mon manuscrit de thèse, pour la réalisation de posters et de communications orales ou encore pour la gestion de ma base bibliographique. J'ai suivi un stage d'initiation au fonctionnement des Systèmes d'Information Géographique et j'ai acquis la qualification de plongeur scientifique du CNRS grâce à l'obtention du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie classe IB, à l'issue d'un stage intensif de 15 jours : je suis ainsi plongeuse professionnelle qualifiée pour les activités de plongée scientifique, cette activité étant régie en France par des réglementations différentes de celles de la "plongée loisirs".

J'ai encadré une vingtaine d'étudiants de tous niveaux (3ème, IUT, DEUG, Licence, Maîtrise, DEA) lors de stages de quelques jours à plusieurs mois, assurant la rédaction d'un sujet de stage cohérent, l'encadrement au quotidien du travail de laboratoire, de l'analyse des données et de l'exploitation des résultats jusqu'à la rédaction d'un rapport de stage dont certains ont fait l'objet d'une soutenance orale et sont intégrés dans le cursus d'obtention du diplôme universitaire préparé.

3.2 - Compétences méthodologiques, méthodes de travail

La conduite de mon projet a nécessité une phase de mise au point des campagnes d'échantillonnage, puis leur préparation et leur réalisation. La deuxième étape a consisté en l'exploitation des échantillons sédimentaires et faunistiques afin d'obtenir les données de base pour mon projet. J'ai aussi réalisé un gros travail de synthèse bibliographique sur la mer d'Iroise, la conservation de la biodiversité et les aires marines protégées, afin de compléter ces données de base. Pour obtenir toute cette documentation, j'ai appris à utiliser efficacement Internet, les moteurs de recherche et les sites des revues scientifiques, en plus des ressources de la Bibliothèque Universitaire limitées dans ces domaines. L'organisation de ma base bibliographique et la mise en forme de mes bases de données ont été des préalables indispensables à la rédaction de mon manuscrit de thèse.

Pour organiser mes campagnes et utiliser le matériel dont j'avais besoin au sein d'un laboratoire très peuplé, j'ai dû faire preuve de qualités de négociation avec de nombreuses personnes (chercheurs, ingénieurs, techniciens, marins, doctorants, étudiants…). J'ai fait trois communications orales pour les autres membres du laboratoire, dans le cadre des bilans annuels du laboratoire (journées du LEMAR) et d'une série de séminaires de doctorants organisés pour améliorer la communication et la diffusion des informations entre les groupes au sein du laboratoire (demandée et organisée par les doctorants). J'ai anticipé les problèmes de matériel et de place rencontrés durant les périodes d'affluence où les stagiaires accueillis sont trop nombreux en négociant à plusieurs reprises l'accès à une salle de Travaux Pratiques de l'Université pour tous les utilisateurs concernés.

La gestion du temps a été un problème permanent au cours de cette thèse. Si le temps nécessaire pour l'analyse de la faune, grosse partie de mon travail, était assez imprévisible, j'ai programmé et organisé les autres activités (analyses sédimentaires, rédaction des rapports d'activités à la région, préparation de communications orales et de posters) et j'ai souvent dû adapter et redéfinir mes objectifs pour qu'ils soient concrets et réalisables à court terme. J'ai également toujours su gérer le temps de mes stagiaires, afin qu'ils terminent leurs rapports et leurs stages dans les temps impartis.

J'ai eu peu d'occasions de tester le véritable travail en équipe puisque je n'ai pas travaillé directement avec des partenaires dans le cadre de ma thèse. Cependant, j'ai intégré des équipes en plusieurs occasions, notamment lors des Doctoriales ou des échantillonnages en mer ou surtout en plongée.

3.3 - Savoir-faire administratifs, organisationnels, linguistiques

J'ai réalisé de nombreux actes administratifs pendant la conduite de ce projet, avec la rédaction de demandes de campagnes, la commande de matériels divers, l'obtention de devis (transports de

matériel, réparations, *etc*...). J'ai acquis des compétences pour l'organisation du travail de terrain, des campagnes en mer, des plongées scientifiques. Mes compétences en anglais ont été utilisées et améliorées quotidiennement puisque la quasi-totalité de la littérature scientifique était rédigée en anglais. J'ai d'ailleurs suivi un stage d'une semaine organisé par l'EDSM et ai participé à une conférence internationale où ma communication a été écrite et présentée en anglais.

Enfin, ce projet a été pour moi l'occasion de développer des compétences dans la rédaction de rapports scientifiques, la synthèse de données d'origines très diverses, l'acquisition d'un fond bibliographique (bibliothèques, Internet, *mailing lists*) et la vulgarisation des connaissances scientifiques auprès de publics variés (Doctoriales, forums des doctorants, encadrement d'étudiants…). Mon implication au sein d'une association de doctorants (*MerSciDoc*) m'a aussi permis de développer des qualités d'organisation de manifestations culturelles et scientifiques (séances de cinéma, forums des doctorants, visites), d'écoute et de discussion, de négociation, d'organisation de réunions, *etc*...

3.4 - Qualités personnelles et construction d'un réseau personnel

Les qualités personnelles que j'ai pu vérifier ou développer durant ce travail englobent une très bonne capacité de synthèse (notamment la bibliographie et pour résumer des textes, une bonne capacité d'analyse, une bonne adaptabilité à des publics variés, une grande rigueur dans le travail de laboratoire, l'analyse de données, la rédaction en français ou en anglais, l'illustration par cartes ou schémas et la présentation de documents et une bonne autonomie dans le travail. Ma créativité s'est exprimée lors de la réalisation d'une table de tri utilisable sur le pont des navires océanographiques et également dans les présentations (*powerPoint*) et documents que j'ai réalisés. Mon sujet de thèse était très innovant puisque le sujet concerne un domaine de recherche encore peu étudié en France, dans une zone géographique mal connue et parce qu'il faisait appel à une multi-disciplinarité des connaissances à acquérir (biologie - écologie - géologie – géographie…).

Mon aptitude à la gestion d'équipe et à l'animation s'est illustrée par le bon déroulement des campagnes en mer et des stages d'étudiants dont je me suis occupée. Les présentations devant un auditoire ont également été des moments forts de partage des connaissances et d'animation. Enfin, j'ai nettement amélioré ma confiance en moi au cours de la dernière année (celle de la rédaction) suite à une prise de recul nécessaire pour gérer les choses dans le but de terminer rapidement ma thèse.

La construction d'un réseau personnel s'est faite naturellement, en gardant des contacts avec des amis rencontrés au cours de mes études et d'activités de loisirs. Mon travail de thèse s'étant fait de façon assez isolée, mon réseau professionnel n'est pas très étendu et son élargissement est une de mes priorités pour l'après thèse.

4 IMPACTS DE LA THÈSE

4.1 - Pour l'équipe, la recherche, l'économie, la société

Mon laboratoire d'accueil profite de ma thèse dans la mesure où il apparaît dans les publications que je serai amenée à faire pour la valorisation de mes données. Mon thème de recherche ne semble par contre toujours pas faire partie de ses préoccupations actuelles ou dans un futur proche. Ma thèse participe ainsi à la renommée du laboratoire et à celle de mon responsable, elle a également apporté ou consolidé des contacts avec les scientifiques faisant partie de mon jury, dont certains aboutiront sans doute à des collaborations sur de futurs projets.

Ma thèse aura peut-être une utilité concrète pour la "Mission Parc Marin", chargée de rassembler et coordonner les études scientifiques pour proposer un décret fondateur précisant notamment les zonages et les priorités de conservation. Si mon travail est utilisé, il aura donc une utilité directe pour l'économie locale et pour la société. Cette thèse contribue en tous cas à la connaissance de la sédimentologie, des peuplements et du fonctionnement de l'Iroise et présente un caractère innovant par la proposition de la mise en pace d'un plan de zonage multi-usages et de son suivi scientifique, dans les conditions marines totalement inédites.

4.2 - Personnels, en terme de pistes professionnelles

Après la soutenance de ma thèse, je réalise les quelques corrections conseillées par le jury avant de la faire imprimer et enregistrer. Les discussions que j'ai eues avec certains des membres de mon jury lors de la soutenance m'ont permis d'envisager des co-publications et d'obtenir quelques pistes pour la recherche de stages post-doctoraux. Plusieurs articles scientifiques sont également en préparation à partir des résultats obtenus, leur publication me permettra de faire connaître mon travail à la communauté scientifique nationale et internationale. Je suis actuellement à la recherche de stages post-doctoraux ou de contrats de recherche dans mon domaine d'expertise, c'est-à-dire la conservation de la biodiversité en milieu marin Cette expérience m'a convaincu de l'intérêt d'acquérir des expériences à l'étranger, dans les pays ayant déjà une longue expérience en la matière. Je réponds à des appels d'offres et je fais parvenir des candidatures spontanées à des laboratoires ou des organismes travaillant dans le domaine de la conservation de la biodiversité en milieu marin.

Cette étude permet une approche de la gestion et de la protection du milieu marin de la mer d'Iroise à partir des connaissances biologiques et écologiques acquises pour l'ensemble de la zone. Ce travail s'insère dans les préoccupations nationales et internationales de conservation de la biodiversité par l'acquisition et la synthèse de connaissances scientifiques et leur restitution aux autres acteurs de la conservation. La richesse biologique de cette région marine est attestée par la présence d'espèces-phares mais le milieu benthique restait largement méconnu. Cette étude apporte des données qui complètent les connaissances sur la sédimentologie des fonds de l'Iroise et permettent d'en préciser la couverture sédimentaire et la variabilité spatiale et saisonnière. Une large gamme de types sédimentaires est représentée, avec une importance originale pour les cailloutis et les graviers et l'organisation des sédiments en couches superposées, induisant une complexité d'habitats ; de plus, la variabilité spatiale masque la variabilité saisonnière. L'étude de la faune benthique des fonds meubles permet de définir les habitats et les communautés du milieu marin de l'Iroise, avec six grandes unités de peuplement comportant chacune plusieurs faciès, dont certains à grande valeur écologique et patrimoniale. L'importance de la zone frontale du large et son influence sur les communautés benthiques sont mises en évidence. Une analyse de l'utilisation de l'espace et des ressources en mer d'Iroise est proposée, ainsi qu'un bilan concernant la biodiversité et l'état actuel des réflexions internationales sur les aires marines protégées. La synthèse finale dégage les enjeux des habitats et des peuplements de l'Iroise puis les pressions anthropiques potentielles à court et moyen termes. Les priorités et les solutions pour la conservation de ce milieu marin sont discutées et un plan de zonage multi-usages est proposé dans le cadre du futur Parc National Marin de la mer d'Iroise.

This study allows an approach to management and protection of the marine environment of the Iroise Sea which is based on biological and ecological knowledge gained for the whole area. This work forms part of the national and international concern for biodiversity conservation by the acquisition and synthesis of scientific knowledge and their restitution with the other interested parties of conservation management. The biological richness of this marine area is attested by the presence of flagship-species, but the benthic environment has remained largely ignored. This study provides data which complete knowledge on the sedimentology of the Iroise's bottoms and allows the specification of the sedimentary cover and its space and seasonal variability. A broad range of sediment types is represented, with a basic importance of cobbles and gravels and the organization of the sediments in superimposed layers, inducing a high habitat complexity ; moreover, space variability masks seasonal variability. Following this, the study of the benthic fauna of the soft sediment bottoms allows the definition of the habitats and communities of the marine environment of Iroise, with six main units of communities of species, each comprising several facets, of which some have great ecological and patrimonial values. The importance of the frontal zone and its influence on the benthic communities are highlighted. An analyze of the use of space and resources in the Iroise Sea is outlined, as well as an assessment concerning the biodiversity and the current state of international reflections on marine protected areas. The final synthesis identifies the interests of the habitats and communities of Iroise and the potential anthropogenic threats in the short and medium term. The priorities and solutions for the conservation of this marine environment are discussed and a multiple-use zoning plan is proposed within the context of the future National Marine Park of the Iroise Sea.