

UNIVERSITE LILLE NORD DE FRANCE

ECOLE DOCTORALE

Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement

Thèse

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE LILLE 1

Discipline : Géosciences, Ecologie, Paléontologie, Océanographie

Par

Aurélie FOVEAU

**HABITATS ET COMMUNAUTES BENTHIQUES DU BASSIN ORIENTAL
DE LA MANCHE :
ETAT DES LIEUX AU DEBUT DU XXI^{ème} SIECLE**

Soutenue le 14 décembre 2009 devant un jury composé de :

Roger COGGAN, CEFAS

Jean-Claude DAUVIN, professeur, Université Lille 1

Steven DEGRAER, Royal Belgian Institute of Natural Sciences

Nicolas DESROY, cadre de recherche, IFREMER

Jean-Marie DEWARUMEZ, ingénieur de recherche, CNRS

Christian HILY, chargé de recherche, CNRS

François SCHMITT, directeur de recherche, CNRS

Alain TRENTESAUX, professeur, Université Lille 1

Examineur

Co-directeur de thèse

Rapporteur

Co-directeur de thèse

Co-directeur de thèse

Rapporteur

Examineur

Président du Jury

RESUME

Cette étude est consacrée à la réactualisation de la distribution spatiale des communautés macrobenthiques du bassin oriental de la Manche au début des années 2000, avec une comparaison avec celles identifiées par L. Cabioch et ses collaborateurs pour la période 1971-1976. La distribution des communautés macrobenthiques étant régie *pro parte* par la couverture sédimentaire, la nature des fonds du bassin oriental de la Manche a été caractérisée et cartographiée à partir de la classification de Folk pour les deux périodes étudiées. Une relative stabilité de la couverture sédimentaire a été mise en évidence : 69 % de la zone étudiée présentant peu ou pas de changements. Ces observations ont été mises en relation avec l'hydrodynamisme, facteur structurant dominant de la couverture sédimentaire en Manche. Les zones où un changement est observable se situent dans les baies, à la sortie des estuaires et à proximité des zones connues de bancs de sable. Ensuite, les communautés macrobenthiques ont été analysées séparément pour chaque période puis comparées. Il s'est cependant avéré que la comparaison stricte entre les deux périodes était rendue impossible en raison d'importantes différences méthodologiques. Néanmoins, l'analyse des représentations spatiales a révélé que quatre unités cénotiques semblaient pérennes dans le temps : (1) l'assemblage des sables moyens dunaires ; (2) l'assemblage des sables grossiers ; (3) l'assemblage des graviers plus ou moins ensablés et (4) l'assemblage des cailloutis. Les analyses, réalisées sur les deux derniers assemblages ont montré que les différentes entités géographiques les constituant sont distinctes à l'échelle du bassin oriental de la Manche. L'étude de la diversité biologique a montré que le bassin oriental de la Manche est une zone très riche (875 taxa récoltés sur 318 stations) et diversifiée (valeurs de l'indice de Shannon élevées : jusqu'à 6 bits). Cependant, la richesse spécifique reste sous-estimée. Enfin, la modélisation des habitats potentiels (volet prédictif de cette étude) de 22 espèces d'invertébrés benthiques a été développée. Globalement, les modèles d'habitats présentés sont en accord avec les observations faites sur le terrain : la plupart des espèces choisies pour la modélisation (exception faite des espèces affines des sables moyens et des sables fins) exploitent donc au mieux leur habitat.

MACROBENTHIC HABITATS AND COMMUNITIES IN THE EASTERN ENGLISH CHANNEL: A STATE OF THE ART STUDY AND SURVEY AT THE BEGINNING OF THE XXIth CENTURY.

ABSTRACT

This study is devoted in providing an updated knowledge on the macrobenthic community structure and biodiversity in the eastern English Channel in the early 2000s. Results obtained were compared with results obtained by L. Cabioch and colleagues for the period of 1971-1976. The distribution of macrobenthic communities is highly governed by the sedimentary cover. The Folk classification was used for sedimentology and mapping of bottom type characterization for the two study periods. A relative stability of the sedimentary cover was observed wherein 69% of the study area showed slight or no change in sedimentary cover. This is mainly due to the hydrodynamics in the area which is the dominant structuring factor in the eastern English Channel. Variations were observed in bays, near the mouth of the estuaries and in the sand bank areas. The macrobenthic communities were studied separately for each period then compared. However, due to differences in methodologies applied for each period, the comparison, in the strict sense of the word, is impossible. Geographical mapping results revealed that four entities or communities seemed recurrent in time depending on sediment type associations: (1) medium sand; (2) coarse sand; (3) sandy gravel and (4) pebbles. Analysis showed that the various geographical entities, constituting the two latter sediment type associations, are distinct at the scale of the eastern English Channel. Study of the biological diversity showed that the eastern English Channel is a rich (875 taxa identified from 318 sampled sites) and diverse (Shannon index until 6 bits) area. But the richness is still underestimated. Finally, statistical methods were applied to modeling and predicting potential habitats of 22 benthic invertebrates. Habitat modeling results obtained were in accordance with field observations and showed that for the majority of considered species (medium and fine sand-associated species excluded) occupy their suitable habitats.

MOTS-CLES : bassin oriental de la Manche, couverture sédimentaire, communautés benthiques, diversité, modélisation d'habitats, comparaison.

KEYWORDS: eastern English Channel, sedimentary cover, benthic communities, diversity, habitat modeling, comparison.

LABORATOIRE

Ce travail a été effectué au Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences UMR CNRS 8187 LOG ; Station Marine de Wimereux 28, Avenue Foch BP 80 62930 Wimereux, FRANCE.

« Brisez vos limites, faites sauter les barrières de vos contraintes, mobilisez votre volonté, exigez la liberté comme un droit, soyez ce que vous voulez être. Découvrez ce que vous aimeriez faire et surtout faites tout votre possible pour y parvenir »

Jonathan Livingstone le goéland
Richard Bach

« Vagabonder à la surface des océans est souvent une source de sérénité et, parfois, permet de tutoyer ses rêves. S'y immerger, c'est s'ouvrir à son observation et à sa compréhension »

Nicolas Hulot

REMERCIEMENTS

Que de rencontres au cours d'une thèse ! Quelques retrouvailles également ! Et surtout de nombreuses personnes à remercier. A toutes celles que je vais oublier : pardon d'avance et merci.

Je tiens tout d'abord à remercier les trois personnes qui ont su m'accorder leur confiance il y a quatre ans pour cette étude et qui m'ont guidé dans sa réalisation, à savoir mes directeurs de thèse :

Jean-Claude Dauvin, pour le partage de sa connaissance et son esprit de synthèse sur ce petit terrain de jeu qu'est la Manche orientale. Merci pour tous les conseils qui m'ont fait avancer, surtout quand je ne voyais plus le bout...

Jean-Marie Dewarumez, incollable sur la biologie et la biogéographie des espèces. Combien de fois suis-je allée dans ton bureau pour que tu viennes m'aider à déterminer une bête et où je suis ressortie avec le nom sans que tu ne l'ai vue ! Bien sûr, tu venais toujours vérifier et tu avais souvent mis dans le mille ! Merci pour tout le temps passé au labo (avec de la grande musique classique...), pour le temps passé en mer à m'apprendre les rudiments du métier...toujours avec le sourire !

Nicolas Desroy, tu as été le premier à me tendre la main quand je cherchais un stage en maîtrise (il faut dire que j'y avais mis de la ténacité). Lorsque j'ai cherché un sujet de Master Recherche, tu m'as proposé celui sur l'épifaune sessile dans le détroit du Pas de Calais, sujet qui m'a amené à la thèse... et aussi à déterminer mon compartiment benthique de prédilection (qui me vaut parfois des « t'es folle ! »). Au début de ma thèse, tu as vogué vers d'autres lieux (c'est beau l'estuaire de la Rance !) mais tu as toujours été présent quand j'avais besoin de conseils, dans tous les domaines et pour toutes les situations. Merci pour ta gentillesse, ton calme et tout le reste.

Je remercie sincèrement les personnes qui ont accepté de participer à mon jury de thèse :

Aux deux rapporteurs qui ont accepté de juger ce manuscrit : Steven Degraer et Christian Hily;

Aux trois examinateurs qui ont accepté de juger l'oral : Alain Trentesaux, Roger Coggan et François Schmitt.

Je remercie André Carpentier, Sandrine Vaz (pour tous les conseils concernant les géostatistiques et la modélisation d'habitats et pour avoir pensé à moi pour le poste que j'occupe actuellement), Corinne Martin, Laure Gardel, Bruno Ernande, Ching Villanueva, Ludovic Dupuis, Jocelyne Morin, Lucie Curet, Geoff Meaden, Yoshikata Ota, Stuart Harrop et tous les autres pour m'avoir ouvert la porte de la petite famille du projet CHARM. Petite famille qui s'est engagée dans la voie d'un projet scientifique pluridisciplinaire afin de développer un outil d'aide à la réflexion et à la décision pour la Manche orientale. Je dois doublement vous remercier car c'est grâce à ce projet qu'une partie de ma thèse a été financé. J'espère que CHARM 3 continuera comme les deux précédentes phases...

Je voudrais aussi remercier les personnes avec qui j'ai collaboré dans les autres projets qui ont permis de financer ma thèse : Philippe Guibert et Brigitte Ravail de Créocéan ; Hervé Chiavérini de Lafarge granulats.

Je tiens à remercier Hans Hillewaert pour l'autorisation qu'il m'a donnée d'utiliser les photographies de certaines espèces benthiques dans les fiches espèces présentées au chapitre VI.

Je voudrais maintenant remercier tous ceux sans qui les données de ce travail de thèse n'auraient pas pu être acquises :

Les équipages des navires océanographiques « Sépia II » et « Côtes de la Manche » à travers leurs capitaines respectifs Grégory Laignel, Joël Perrot et Renaud Le Bourhis. Pour toutes ces longues journées que j'ai passées en mer avec vous, merci pour votre disponibilité, votre efficacité, vos explications sur le fonctionnement des engins, vos séances de réparation des engins abîmés, vos histoires de marins au long cours et votre bonne humeur (de ce point de vue-là, spéciale dédicace à Danny, Christophe et à Bob, l'amateur de fromages de derrière les fagots !).

Toutes les personnes qui ont embarqué (au péril de leur estomac) pour mener à bien ces missions : Sandie, Daphné, Stéphanie, Aurore, Amélie, Sylvie (la végétarienne d'un jour), Damien (avec qui j'ai eu de sacrés fous rires : « vive les coups de soleil sur les trucs = paupières » et Marie-Denise !), Loïc, Caroline, Nicolas, Jenifer et bien d'autres.

Certaines de ces personnes et de nombreuses autres sont également venues me prêter main forte pour la longue et fastidieuse étape du tri, qui pourtant est nécessaire et exige de la précision. Elles sont trop nombreuses pour que je les cite toutes. Cependant, j'aimerais adresser des remerciements particuliers, vifs et chaleureux à l'une de ces « trieuses » : Françoise ! Tu es arrivée au tri en 2006 et tu n'en es pas encore partie ! Ta curiosité et ton envie de savoir t'ont vite fait progresser dans la réalisation de cet exercice de précision : les « petites bêtes » n'ont maintenant plus de secrets pour toi. Merci pour tout le temps que tu as consacré à ce travail et au reste d'ailleurs : je te faisais entièrement confiance et tes remarques sur les échantillons que tu as triés se sont avérées précieuses. Et par-dessus tout, j'ai gagné une amie !

Tout le personnel de la Station Marine de Wimereux qui ont toujours été là pour répondre à nos besoins (souvent de dernières minutes) : Thierry (et son passe-partout), Dominique (homme aux doigts d'or qui sait faire toutes les réalisations demandées et qui vient sur le terrain, même si ça le rend malade), Daniel (« p'tit papout » et son « apéritif pour le tri », qui profite maintenant d'une retraite bien méritée), Michel (toujours prêt à aller chercher les bidons à Capécure et qui a ensuite pris la relève de Daniel pour remplir nos bidons d'alcool), Eric (pour les sorties en mer et ses conseils pratiques de terrain), Marie-Andrée, Christine (merci pour les pauses café), Evelyne D. (pour ses bons repas ; bonne retraite), Christelle, Françoise (partie trop tôt), Josette (pour ton écoute et tes conseils), Marie-Hélène (toujours à plaisanter), Evelyne T. et Laurence (pour le décryptage des informations administratives et le bon déroulement de nos ordres de mission et de nos commandes) et Philippe (qui a résolu tous les bugs).

Tous les stagiaires que j'ai suivis (et/ou encadrés) et qui m'ont permis d'avancer dans mon travail : Sylvie, Damien et Loïc à qui j'ai enseigné les rudiments de l'étude du benthos ; Daphné et ses espèces invasives ; Stéphanie ; Amélie et les premières stations de graviers ensablés déterminées (personne ne pensait que ça pourrait être aussi riche !) ; Aurore ; Emilie ; Adrien, qui a bien voulu me suivre dans l'étude des effets des perturbations sur l'épifaune sessile.

Les autres doctorants de la Station, pour le partage des instants de galère, pour le soutien : Anne-Laure (pour les bons conseils avant et après son départ) ; Mathieu ; Clément (mon voisin de bureau et mon partenaire de travail sur les données MABEMONO) ; Gaël et Delphine ; Isabelle ; Benjamin (pour son accent qui donne envie de voyager, sa bonne humeur et les souvenirs à Valence) ; Gaspard (et ses algues) ; Pierre-Emmanuel (et sa vase) ; Sophie (j'espère que tu nous ramèneras encore de belles images des fonds sous-marins) ; Olivier (un Rochellais) ; Eric (pour sa bonne humeur et ses invitations à faire la fête) ; Sylvain (toujours à plaisanter avec Eric) ; Emilie ; Sandrine (nous nous sommes toujours suivies dans nos stages depuis 2004, travaillant ou non en collaboration, nous avons

la même passion pour les « petites bêtes » et j'espère que tout se passera bien pour la fin de ta thèse); Armonie (après les *Hemigrapsus* et les contenus stomacaux de poissons, bienvenue dans le monde des thésards) et les autres.

Enfin, tous les chercheurs qui m'ont donné des conseils : Christophe (et son test de passage « Patrick Juvet »); Grégory (pour l'aide en analyses de données); Nicolas (pour l'aide en mer et sa bonne humeur); Lionel (pour les discussions qui ont fait avancer ma réflexion et félicitations pour avoir gagné notre petit défi); Fabienne (pour les trucs incroyables et souvent cocasses qui lui arrivent, pour nos discussions, pour les échanges d'idée en allant promener ses chiens et qui est devenue une amie).

Je voudrais également remercier les chercheurs rencontrés à la Station Océanologique de Villefranche-sur-Mer qui m'ont enseigné l'art du « data mining » : Jean-Philippe Labat, Stéphane Gasparini et Frédéric Ibanez. Merci aussi à Paul Nival, jury au colloque de l'UOF (merci pour la distinction) pour ses conseils dans la réalisation de ma publication.

Je voudrais également remercier les enseignants-chercheurs et les professeurs de l'Université de La Rochelle qui m'ont enseigné les bases.

Merci aux étudiants et doctorants rencontrés lors des différents colloques ou école d'été, pour le partage de leurs expériences respectives en France et ailleurs, pour les moments de détente et pour les souvenirs : Jihane (félicitations pour ta thèse et j'espère que nous nous reverrons bientôt); Maud (fan de Laurent Ballesta, rencontré à Villefranche); Magali (et ses canards); Nadège (les retrouvailles à Villefranche après s'être connues à La Rochelle); Anna (et ses pycnogonides d'Antarctique); Léna; Ivan.

Je tiens aussi ici à remercier tous mes nouveaux collègues de l'IFREMER pour le soutien qu'ils m'ont apporté dans les dernières étapes de ma rédaction.

Last but not least...

Mes derniers remerciements iront à ceux qui ont cru en moi depuis de longues années : mes amis et ma famille.

Toute l'équipe de la commission biologique du Nord-Pas de Calais : Vincent, Yves, Frédéric, Philippe, Nathalie, Alain, Christophe, ... Vous m'avez accueillie très chaleureusement dans ce monde de la plongée sous-marine. Vous m'avez transmis votre passion et vos connaissances naturalistes, qui m'ont donné encore plus envie d'étudier le monde marin et, si possible, d'en faire mon métier. Vous m'avez accordé votre confiance pour la réalisation de fiches d'espèces pour le site que vous avez développé et que je conseille à tous : DORIS. Vous continuez à me suivre, à me conseiller...merci !

Isabelle et Hugues et leur monde des robots, de la mécanique et des voitures. Isabelle, tu n'as jamais manqué de me téléphoner pour me demander comment j'allais, tu as toujours été là quand j'en avais besoin...Merci pour tout ça et je te promets que nous pourrons enfin organiser ce week-end prévu depuis plusieurs mois mais qui n'a toujours pas eu lieu !

Les corréziens qui ne manquaient jamais de demander des nouvelles et de m'encourager par leurs coups de fils amicaux.

Mon parrain, Claudine et ma marraine, que je n'ai revus qu'en coup de vent cette dernière année. Je veux vous remercier des encouragements que vous m'avez apportés et de ce que vous me donnez. Même si je n'ai pas toujours eu le temps de vous contacter, je pense à vous...

J'ai également une pensée à ce moment de l'écriture pour ceux qui ne pourront pas être là mais que je garde au fond de mon cœur.

Une chanson sortie récemment dit ces mots : « Eux qui m'ont toujours relevée/ De tous les faux pas, les mirages/Eux qui m'ont bercée et soignée/ [...] /C'est à moi de leur rendre hommage ». Lorsque je l'ai entendue, j'ai pensé à mes parents et à ma sœur. Voilà 27 ans que vous me supportez (:p !) mais c'est 27 ans d'amour. Aujourd'hui je veux vous remercier d'avoir accepté mon choix d'étude malgré les difficultés et les séparations : choix d'étude que je vous ai annoncé dès l'âge de ... 7 ans ! (Eh oui ! C'est ça de regarder Cousteau !). Mais il faut dire aussi qu'un certain Papa m'a fait tombée jeune dans la marmite de la plongée sous-marine et qu'il aurait aimé faire ce métier (c'est héréditaire ???). Merci aussi d'avoir supporté mes sautes d'humeur, d'avoir toujours cherché à me faire voir les choses de façon positive et pour le réconfort ! Merci d'avoir toujours cru en moi (j'espère ne pas vous décevoir). Je veux vous remercier d'être là, tout simplement.

La dernière personne que je veux remercier, Thierry, est entrée dans ma vie il y a maintenant 5 ans. C'est quelqu'un que j'admire pour son intelligence et sa logique. Quelqu'un qui sait toujours avoir des bons mots quand il faut (désolée si je mets parfois du temps à comprendre les subtilités !). C'est quelqu'un qui m'a épaulé dans tous les moments de galère, sachant parfois hausser la voix pour me remettre dans le droit chemin de mon travail mais c'était toujours pour mon bien. Quelqu'un aussi que je ne voudrais pas décevoir. Mais c'est surtout quelqu'un qui me donne beaucoup d'amour et à qui je veux dire combien je l'aime. Merci mon cœur d'être à mes côtés et de me donner tout ce bonheur ! Et j'espère que notre relation continuera dans le sens de cette citation de Saint-Exupéry : « Aimer, ce n'est pas se regarder l'un l'autre, c'est regarder ensemble dans la même direction » !

P.S : J'allais oublier Topazou, qui avec son sixième sens savait quand il fallait me réconforter mais qui a eu aussi envie plus d'une fois de rédiger à ma place !

Sommaire

CHAPITRE I. INTRODUCTION	11
I.1. Hydrogéomorphologie	15
I.1.1. Histoire géologique	15
I.1.2. Hydrologie	17
I.1.3. Description de la couverture sédimentaire.....	20
I.1.4. Remaniement sédimentaire actuel	22
I.2. Biologie.....	24
I.2.1. Blooms phytoplanctoniques.....	24
I.2.2. Connaissances sur le compartiment benthique : les travaux historiques	24
I.3. Perturbations naturelles ou anthropiques pouvant affecter le système Manche.....	30
I.4. Contexte de l'étude : le projet européen CHARM	38
I.5. Problématique et objectifs.....	39
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	43
II.1. Les campagnes d'échantillonnage.....	44
II.1.1. Le programme MABEMONO	44
II.1.2. Les campagnes à forte densité d'échantillonnage	48
II.1.3 Bilan.....	52
II.2. Le travail au laboratoire	54
II.2.1. Granulométrie	54
II.2.2. Tri.....	56
II.2.3. Détermination	56
II.2.4. Biomasses.....	57
II.3. Traitement des données	57
II.3.1. Validation des données granulométriques	57
II.3.2. Les Bases De Données (BDD).....	59
II.3.3. Analyse des données.....	59
II.3.3.1. Distinction et caractérisation des assemblages	60
II.3.3.2. Mesures de diversité	62
II.3.4. Géostatistiques.....	64
II.3.4.1. Préparation des données	64
II.3.4.2. Le variogramme.....	65
II.3.4.3. Le krigeage	66
II.3.5. Modélisation des habitats	68

CHAPITRE III – LA COUVERTURE SEDIMENTAIRE	71
III.1. Les relations entre couverture sédimentaire et macrofaune benthique.....	72
III.2. La classification des sédiments	74
III.3. Les données.....	75
III.3.1. Les campagnes Copale-Authie	75
III.3.2. La campagne Benthoseine	76
III.4. Résultats	77
III.4.1. Couverture sédimentaire des années 1970	80
III.4.2. Couverture sédimentaire actuelle.....	83
III.4.3. Comparaison des couvertures sédimentaires.....	85
III.5. Discussion	87
III.5.1. Biais méthodologiques	87
III.5.2. Variabilité naturelle.....	90
III.5.3. Évènements tempétueux	90
III.5.4. Facteurs anthropiques	92
CHAPITRE IV – LES COMMUNAUTES MACROBENTHIQUES DU BASSIN ORIENTAL DE LA MANCHE ..	93
IV.1. Images des assemblages macrobenthiques.....	94
IV.1.1. Par Analyse Factorielle des Correspondances	94
IV.1.2. Par Classification Ascendante Hiérarchique	95
IV.1.2.1. Période 1971-1976.....	98
IV.1.2.1.a. Les assemblages obtenus avec la matrice CVE	98
IV.1.2.1.b. Les assemblages obtenus avec la matrice CVES	101
IV.1.2.2. Période 2004-2007.....	104
IV.1.2.2.a. Les assemblages obtenus avec la matrice MVE	104
IV.1.2.2.b. Les assemblages obtenus avec la matrice MS	108
IV.1.2.2.c. Les assemblages obtenus avec la matrice MVES	110
IV.1.2.3. Comparaisons entre les deux périodes.....	114
IV.1.2.3.a. Etape 1.....	115
IV.1.2.3.b. Etape 2	121
IV.1.2.3.c. Etape 3.....	126
IV.1.2.3.d. Etape 4	133
IV.1.2.3.e. Etape 5.....	138
IV.1.3. Discussion.....	153
IV.2. Les communautés de sédiments grossiers du bassin oriental de la Manche	158

IV.2.1. Description des communautés de cailloutis du détroit du Pas de Calais	158
IV.2.2. Comparaison entre les zones à cailloutis du bassin oriental de la Manche (2004-2007)	171
IV.2.3. La (ou les) communauté(s) des graviers ensablés (2004-2007).....	173
IV.2.4. Discussion.....	176
CHAPITRE V – DIVERSITE BIOLOGIQUE DANS LE BASSIN ORIENTAL DE LA MANCHE	179
V.1. Richesse spécifique, RS	181
V.2. Indice de diversité de Shannon et N1	186
V.3. Equitabilité	190
V.4. Evolution de la diversité le long d'un gradient théorique sud-ouest/nord-est	191
V.5. Discussion.....	198
CHAPITRE VI – VERS LA NOTION D'HABITAT...	201
VI.1. Les fiches d'habitats potentiels.....	202
VI.2. Discussion.....	261
CONCLUSION GENERALE ET ELEMENTS DE PERSPECTIVE.....	263
BIBLIOGRAPHIE.....	269
ANNEXES.....	293

CHAPITRE I. INTRODUCTION

Cette étude est consacrée à la réactualisation de la connaissance des communautés macrozoobenthiques du bassin oriental de la Manche au début des années 2000, et plus particulièrement des communautés de sédiments grossiers porteurs d'épibiose sessile. La description de la situation actuelle a été mise en parallèle avec les résultats obtenus par Cabioch et ses collaborateurs entre les années 1971 et 1976.

La Manche est située dans la zone tempérée de l'Atlantique nord-est. C'est une mer épicontinentale bordée au nord par l'Angleterre et au sud par la France. Zone de rivalité ou de liaison entre ces deux pays, la Manche a vu sa toponymie évoluer : de l'absence de nom à la dénomination par la situation géographique ou la forme, en passant par la dénomination générique et l'appellation tirée du pays frontalier (c'est sur cette dernière catégorie que se portent les difficultés). Jusqu'à la fin du 16^{ème} siècle, ce bras de mer est resté sans nom propre, évoluant entre la non dénomination et la dénomination générique (elle fait alors partie du vaste océan et est nommée « *mer oceane* » ou « *mare oceanum* »). Dès les années 1590, les terminologies françaises et anglaises se différencient. Côté français, l'utilisation du terme *La Manche* apparaît dès 1594 [carte d'Ortelius (1594): « *Oceanus Britannicus vulgo Gallico Manche* »] et est reprise en 1639 dans l'ouvrage « Description de la France » par Nicolas Sanson. Un adjectif national n'est employé pour désigner la Manche que pendant les périodes de fortes tensions diplomatiques, avec notamment l'apparition d'une toponymie rivale sous Louis XIV qui ordonna de parler de *Mer de France*. A partir de 1760, le terme *La Manche* est quasiment le seul usité. Côté anglais, l'emploi d'un adjectif territorial est précoce : *British* ou *English Channel*. En effet, le toponyme *Channel* est apparu pour la première fois dans la tragédie King Henry VI de Shakespeare en 1593 (« I go of message from the queen to France ; I charge thee, waft me safely cross the Channel », second part, Act IV, Scene I) et va perdurer jusqu'à nos jours (Morieux, 2008) . Cette mer couvre une superficie d'environ 76 000 km². Elle forme un corridor de 500 km de long et de 250 km de large au maximum. C'est une zone de transition entre l'océan Atlantique, sur lequel elle est largement ouverte à l'ouest suivant une ligne arbitraire Ile Vierge – Cap Lizard, et la mer du Nord, avec laquelle elle communique par le détroit du Pas de Calais. Quasiment en son milieu, elle subit un premier resserrement au niveau de la presqu'île du Cotentin (80 km de large). L'axe Calais-Douvres représente le second resserrement de cette mer [38 km de large, Figure 1]. Les profondeurs en Manche diminuent progressivement d'ouest en est, avec une profondeur maximale de - 174 m dans la fosse centrale, au nord-ouest de la presqu'île du Cotentin (Kossinna, 1921) et une profondeur moyenne d'une cinquantaine de mètres (Figure2).

La Manche doit son existence à deux facteurs : la formation de l'Océan Atlantique et les événements géologiques qui ont affectés le nord-ouest de l'Europe continentale (Smith et Curry, 1975). Il y a 180 millions d'années l'Océan Atlantique se développait dans la direction actuelle de l'axe principal de la Manche (sud-ouest/nord-est), mais ce développement a été modifié suite à la création du Golfe de Gascogne. La Manche a alors subi des pressions géologiques à l'origine de mouvements verticaux, essentiellement dans sa partie occidentale. S'en est alors suivie une succession de périodes transgressives et régressives (Larsonneur, 1971, Smith et Curry, 1975). D'autres événements géologiques intenses, tels que de gigantesques inondations ayant creusé le fond de son bassin (Gibbard, 2007, Gupta *et al.*, 2007), sont également survenus dans la période de - 450 000 à - 200 000 ans.

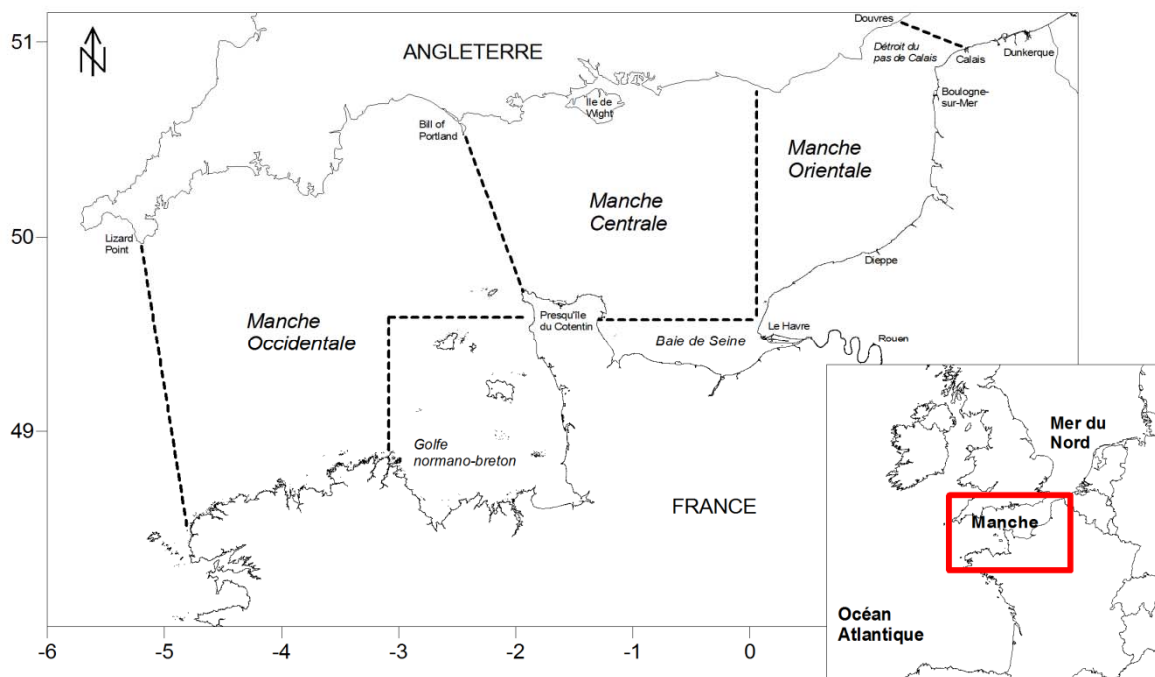


Figure 1 : La Manche, zone de transition entre l'Océan Atlantique et la mer du Nord; coordonnées en degrés décimaux.

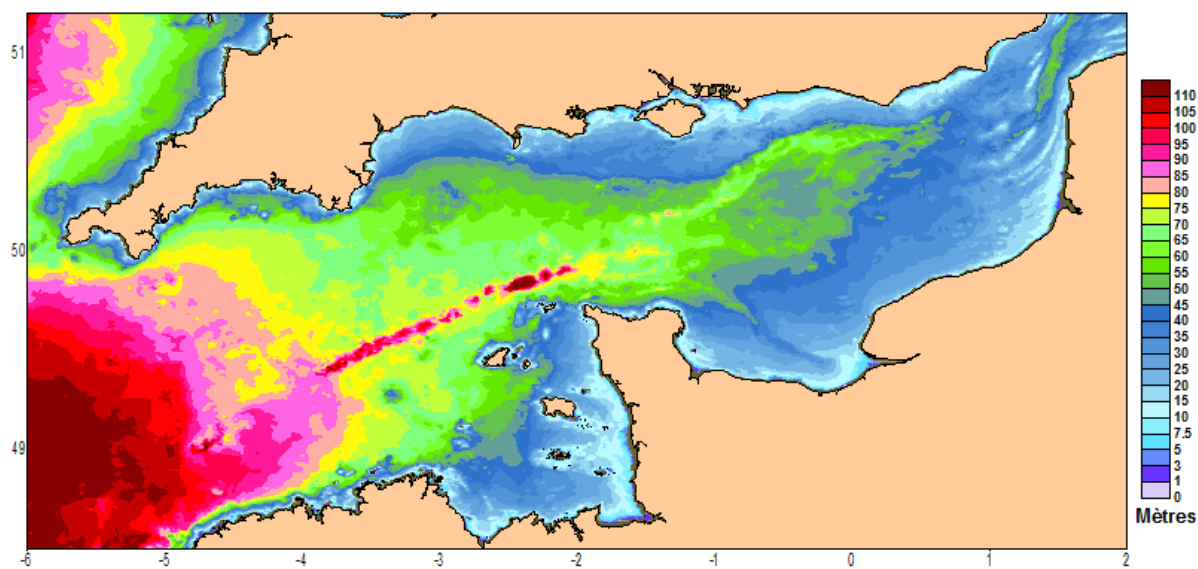


Figure 2 : Carte des profondeurs en Manche (avec l'autorisation de P. Bailly du Bois, IRSN, Octeville, France).

La Manche est une mer mégatidale. Bien qu'il y existe des courants induits par les vagues et par le vent, les courants de marée sont dominants (Reynaud *et al.*, 2003). En Manche Est, ces courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte, le flot étant orienté vers le nord-est et le jusant vers le sud-ouest. Le rétrécissement du détroit du Pas de Calais renforce ces courants (3,7 nœuds en vive-eau moyenne, soit 89 milles par jour). De ces courants de marée, résulte également un courant résiduel orienté vers le nord-est de 3 à 5 milles par jour (Pingree et Maddock, 1977, Garreau, 1997), générant des tourbillons à l'est des caps (Figure 3), comme par exemple à l'est de la pointe du Cotentin au niveau du tourbillon de Barfleur (Salomon et Breton, 1991). Cet hydrodynamisme complexe structure la dynamique et la couverture sédimentaire en Manche (Dangeard, 1928, Larsonneur, 1971).

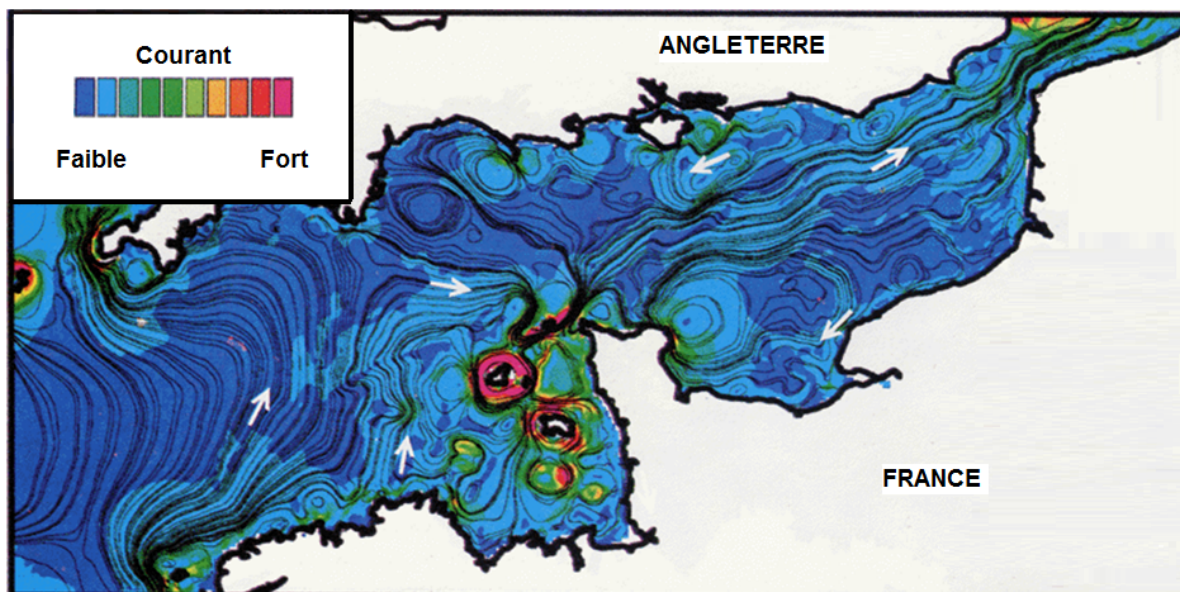


Figure 3 : Carte des courants résiduels en Manche (d'après Salomon et Breton, 1991).

La conjonction des facteurs hydrodynamique et morphologique fait ressortir, du point de vue hydrologique, deux bassins en Manche : à l'ouest de la ligne Roches des Casquets - Bill of Portland Point se trouve le bassin occidental, correspondant à la Manche occidentale; à l'est, le bassin oriental (Figure 1), divisé en Manche centrale et Manche orientale. La présente étude porte principalement sur le bassin oriental de la Manche.

La zone d'étude considérée dans cette thèse comprend le bassin oriental de la Manche et le sud de la mer du Nord. Les côtes françaises de la façade Manche / mer du Nord s'étendent sur environ 900 km, ce qui représente environ 1/6^{ème} du rivage français métropolitain (5 533 km). La partie orientale de ces côtes est caractérisée par de grandes plages sableuses, en Basse-Normandie, en Picardie et dans le sud de la mer du Nord, mais aussi par de très hautes falaises dans le Pays de Caux et le Boulonnais (Castel *et al.*, 1997). Des zones de polders naturels (Marquenterre, plaine des Flandres) et des zones estuariennes (Seine, Somme, Canche, Authie...) viennent s'ajouter à cette diversité géomorphologique. Côté anglais (1 100 km de côtes en Manche), la même diversité côtière est observée : falaises du Kent et du Sussex, zones estuariennes du Test et du Solent, plages sableuses du Kent (Dauvin et Lozachmeur, 2006).

I.1. Hydrogéomorphologie

I.1.1. Histoire géologique

La Manche s'est comportée du Permien au Jurassique comme un demi-graben installé sur un rift continental. Les failles de ce graben ont ensuite rejoué au Tertiaire, suite aux mouvements exercés sur la plaque européenne (Boillot et Musellec, 1975). Au cours de cette période et contrairement à la partie occidentale, la partie orientale de la Manche est restée relativement stable, protégée par la ligne Bembridge-Saint-Valéry-en-Caux, qui correspond au prolongement du monoclinale de l'île de Wight, c'est-à-dire d'une structure dont les couches géologiques parallèles sont toutes inclinées dans le même sens (Smith et Curry, 1975). Au Crétacé inférieur, une formation géologique crayeuse, l'anticlinal du Weald-Artois, a empêché le passage entre la Manche et la mer du Nord.

Les périodes transgressives et régressives ont façonné le substratum de la Manche. Au cours des périodes régressives, la Manche orientale était caractérisée par une immense plaine à -30 mètres couvrant les 2/3 de sa superficie, entaillée de fosses et de chenaux (Lapierre, 1975, Auffret *et al.*, 1980). En effet, cette plaine était traversée par un chenal principal (Figure 4), la vallée du 'Fleuve Manche' (convergence des fleuves Rhin, Meuse, Tamise, Escaut, Somme, Rother, Solent et Seine) et par une série de chenaux annexes (Bourillet *et al.*, 2003, Lericolais *et al.*, 2003). De récents travaux (Gibbard, 2007, Gupta *et al.*, 2007) vont dans le sens de l'hypothèse de Smith (Smith, 1985), qui stipulait que le creusement des paléovallées pouvait résulter en partie d'une immense inondation. En effet, un immense lac, situé dans le sud de la mer du Nord et retenu par l'anticlinal du Weald-Artois, aurait provoqué (à une ou plusieurs reprises) une fêlure dans cette barrière et une inondation dans la plaine (Guilcher, 1951). L'intensité des flots ainsi déversés expliquerait les creusements non imputables à l'érosion aérienne et fluviale que les géologues observent au niveau des paléovallées. Ce ne sont pour le moment que des hypothèses ; le débat n'est pas clos.

Ces paléovallées ont été comblées au fur et à mesure par les dépôts alluvionnaires (Lapierre, 1975, Auffret *et al.*, 1980, Hamblin *et al.*, 1992). Dans le bassin oriental de la Manche, l'épaisseur de ces dépôts est comprise entre 200 et 380 m (Dingwall, 1975, Lafite, 2000).

Au cours des périodes transgressives, des dépôts marins ont été mis en place (Dingwall, 1975, Hamblin *et al.*, 1992). Ainsi, à l'Holocène, les dunes de sable observables en Manche orientale se sont mises en place (Lapierre, 1975). Le plateau situé à - 30 m jouait un rôle fondamental car il constituait les 2/3 de la superficie de la Manche orientale (voir le profil bathymétrique, Figure 5). Lorsque le niveau des eaux est passé au-dessus de ce plateau, la Manche a occupé quasiment les contours que nous lui connaissons actuellement. Compte-tenu de l'amplitude de marée que nous connaissons actuellement en Manche et du fait que le niveau des eaux était en-dessous de - 35 m 9 000 ans B.P., il a dû exister une période critique où (deux fois par jour) il y avait une marée basse avec une zone immergée réduite à la vallée du Lobourg et une marée haute où l'ensemble du plateau était immergé (Lapierre, 1975). Les courants de marée alors considérables ont façonné et équilibré les bancs de sable à structure progradée, comme le Vergoyer et la Bassure de Baas. Les bancs de sables littoraux à structure stratifiée (Figure 6), comme le Battur ou la Bassurelle de Somme, moins profonds (- 25 m) ont été stabilisés sous des conditions hydrodynamiques amorties, c'est-à-dire lorsqu'il n'y avait plus de différence entre la circulation des eaux à marée haute et à marée basse (Lapierre, 1975).

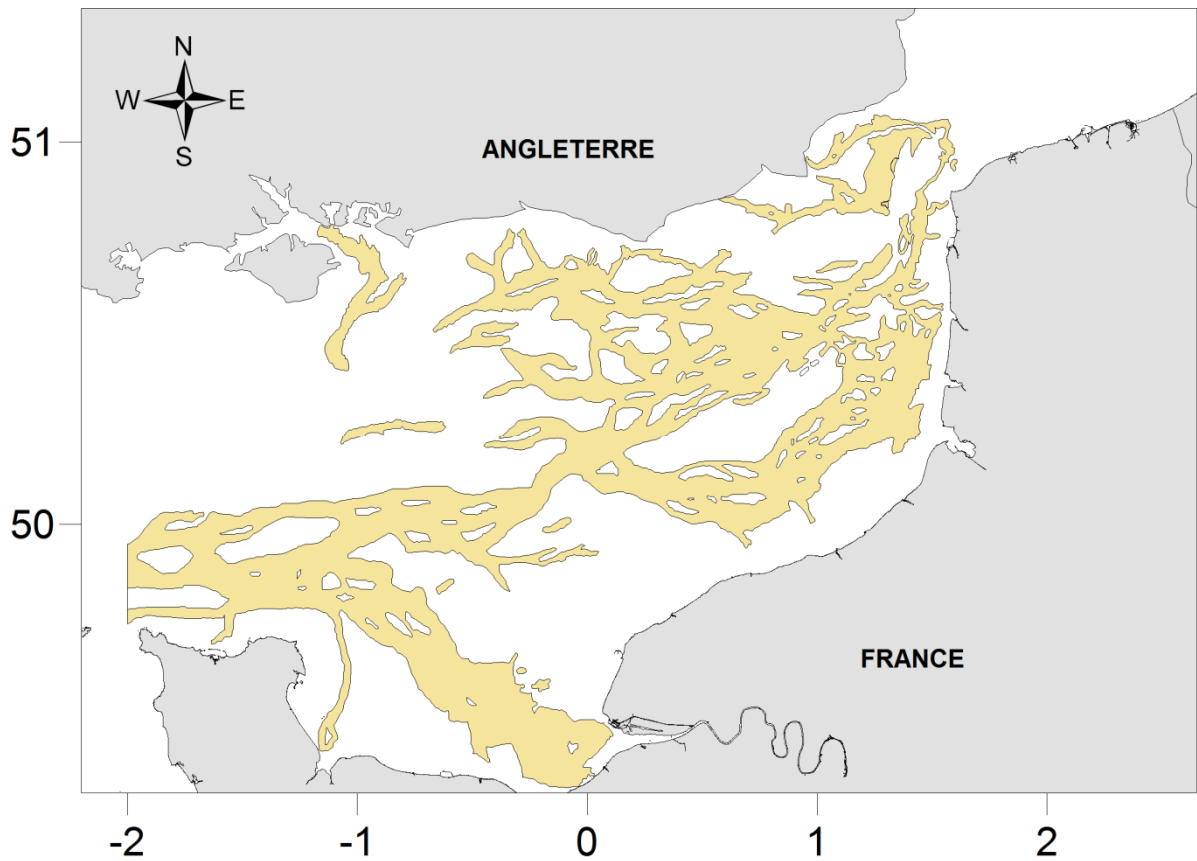


Figure 4 : Réseau des paléovallées en Manche orientale (d'après Gupta *et al.*, 2007, adapté de Auffret *et al.*, 1980) ; coordonnées en degrés décimaux.

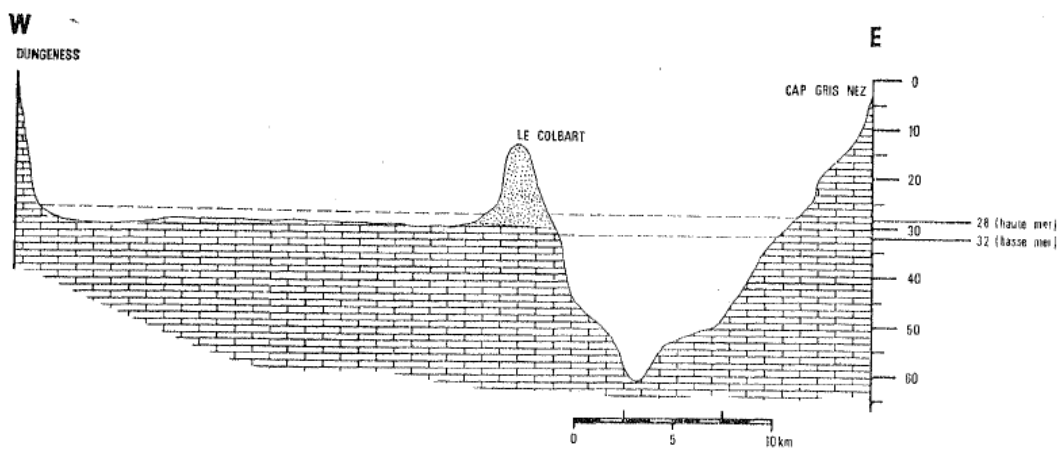


Figure 5 : Profil transversal de la Manche orientale au niveau du détroit du Pas de Calais lors de la période critique décrite par Lapierre (1975).

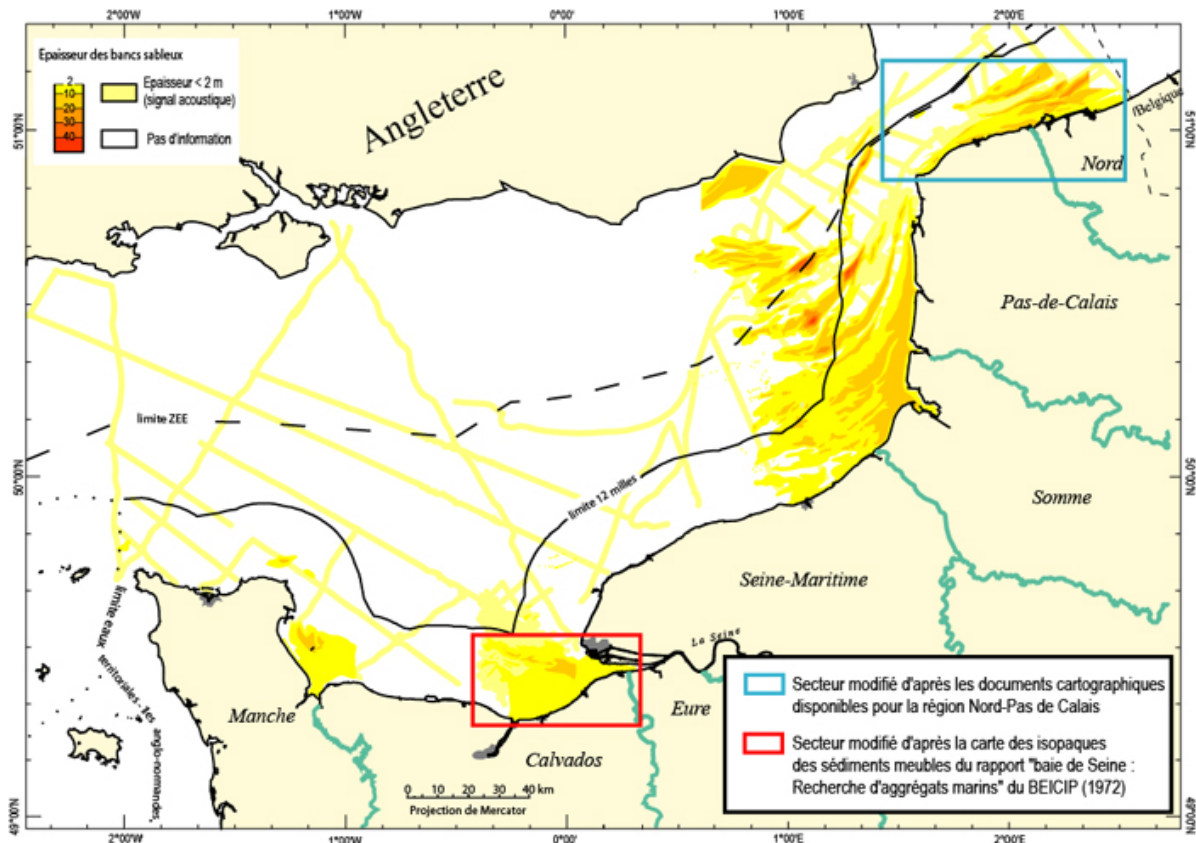


Figure 6 : Positionnement des bancs de sable en Manche orientale (d'après IFREMER, http://wwwz.ifremer.fr/drogm/media/drogm/ressources_minerales/granulats_marins, consulté le 12/02/09).

1.1.2. Hydrologie

La Manche orientale est une mer semi-fermée où l'hydrodynamisme est influencé par les marées, le vent et les vagues.

Comme il a déjà été dit précédemment, ce sont les courants de marée qui dominent en Manche (Salomon et Breton, 1991, Reynaud *et al.*, 2003). Les marées en Manche sont la résultante de l'onde de marée originaire de l'océan Atlantique. Quand cette onde rencontre le plateau continental et se dirige vers l'est, elle est amplifiée. Une première réflexion de cette onde a lieu sur les côtes du Cotentin : il se forme alors une onde stationnaire créant une zone de marnage maximum (15,5 m pour la Baie du Mont-Saint-Michel). Une seconde réflexion a lieu sur les côtes picardes, engendrant un fort marnage en Manche orientale, renforcé le long des côtes françaises par la force de Coriolis. Ces deux facteurs combinés occasionnent l'existence d'un point amphidromique au sud de l'île de Wight (Garreau, 1997). Une autre vague, issue de la mer du Nord, entre également en Manche et est réfléchiée par les côtes de la baie de Seine et du Cotentin (S.H.O.M., 1968). A ces ondes sont associés des courants. En moyenne, ils sont de deux nœuds (Salomon, 1989, 1990). Au niveau du point amphidromique, l'amplitude rencontrée est minimale mais les courants sont maxima (de 3,5 à 4 nœuds) (Velegrakis *et al.*, 1999). Ces courants vont ensuite en diminuant vers l'est. Néanmoins, le rétrécissement de la Manche vers le détroit du Pas de Calais accélère les courants qui peuvent atteindre 3,7 nœuds (S.H.O.M., 1968).

Le va-et-vient de la marée deux fois par jour provoque à long terme un transfert des particules d'eau. Des modèles mathématiques bidimensionnels permettent aujourd'hui de prédire la direction de ces déplacements et de les quantifier (Pingree et Maddock, 1977,

Salomon et Breton, 1991). C'est dans le cadre de cette formalisation mathématique des observations que Salomon et Breton (1991) ont montré l'existence d'un fleuve central ou 'rivière Manche' constituée des eaux atlantiques et de zones de tourbillons latéraux (Figure 3).

Des études, notamment de suivi de traceurs radioactifs (Guéguéniat *et al.*, 1993, Guéguéniat *et al.*, 1995, Bailly du Bois *et al.*, 1996), ont permis d'évaluer que le temps de transit des particules entre La Hague et le détroit du Pas de Calais était compris entre 2 et 8 mois (Figure 7).

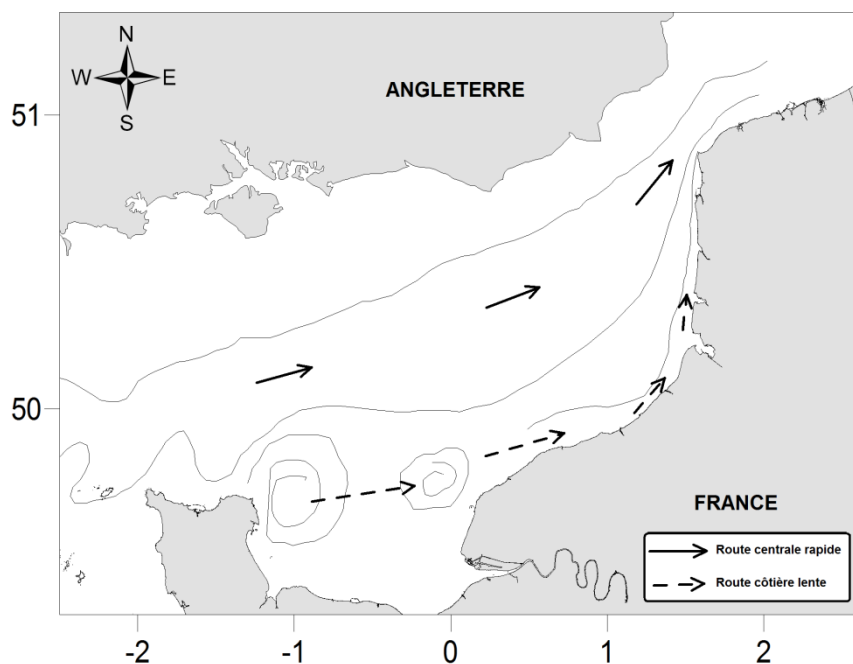


Figure 7 : Figure illustrant les voies de circulation rapide et lente en Manche orientale (Guéguéniat *et al.*, 1995).

Toutes ces études ont également permis de quantifier le flux résiduel. Ce dernier est orienté vers le nord-est, de 3 à 5 milles par jour (Pingree et Maddock, 1977, Garreau, 1997) et est entre 27 000 et 50 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Salomon et Breton, 1991, Prandle *et al.*, 1993).

A ces courants de marée s'ajoute les effets liés au vent (et de la houle). Ces phénomènes touchent la couche d'Eckman, qui est d'environ 20 m en Manche (Garreau, 1997). Ce processus engendre une pente à la surface de la mer. La différence de pente entre la Manche et la mer du Nord augmente la valeur du flux résiduel, qui est en moyenne de 114 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Pingree et Griffiths, 1980, Salomon *et al.*, 1993, Bailly du Bois et Dumas, 2005). Le vent est responsable des $\frac{3}{4}$ du transport des particules d'eau entre la Manche et la mer du Nord, mais, il y a de grandes fluctuations (Salomon *et al.*, 1993). D'ailleurs, il arrive que des vents prolongés de nord-est tendent à diminuer, voire parfois inverser ce flux, notamment dans le détroit du Pas de Calais (S.H.O.M., 1968).

La compréhension de l'origine et du devenir des eaux transitant en Manche est importante du point de vue hydrologique, mais également dans la compréhension de la diffusion des polluants ou de la dispersion larvaire (Lagadeuc et Brylinski, 1987, Salomon, 1989, Belgrano *et al.*, 1990, Salomon, 1990, Belgrano et Dewarumez, 1995, Belgrano *et al.*, 1995).

La connaissance de la structure thermique de la Manche est utile pour la compréhension de plusieurs mécanismes, dont la structuration des communautés benthiques. En Manche orientale, contrairement à la Manche occidentale, les conditions hydrodynamiques et la bathymétrie occasionnent un mélange des masses d'eau sur toute la

colonne d'eau (Agoumi *et al.*, 1983). En effet, la diminution de la profondeur couplée à l'augmentation des courants de marée créent une couche turbulente sur toute la hauteur d'eau, entraînant un mélange des eaux de surface et de fond. De plus, la circulation résiduelle existante en Manche engendre des masses d'eau différentes entre la côte et le large (Salomon et Breton, 1991). Ainsi, le centre de la Manche orientale est caractérisé par une veine d'eau originaire de l'Atlantique, plus chaude en hiver et plus froide en été et avec de moins grands écarts thermiques au cours d'une année que les eaux côtières qui subissent l'effet des apports d'eau froide en hiver et d'eau chaude en été par les grands fleuves (en particulier la Seine). Les variations annuelles de la température ne sont pas de même amplitude dans la partie centrale et dans les zones côtières de la Manche orientale (Figure 8), occasionnant le patron des isothermes disposées en chevrons (Lumby, 1935, Cabioch *et al.*, 1977) et expliquant le passage des eaux océaniques de faible amplitude thermique aux eaux plus continentales de forte amplitude thermique. De plus, ces masses d'eau côtières à l'hydrologie différente peuvent être piégées par les tourbillons résiduels (Garreau, 1997, Ménesguen et Gohin, 2006).

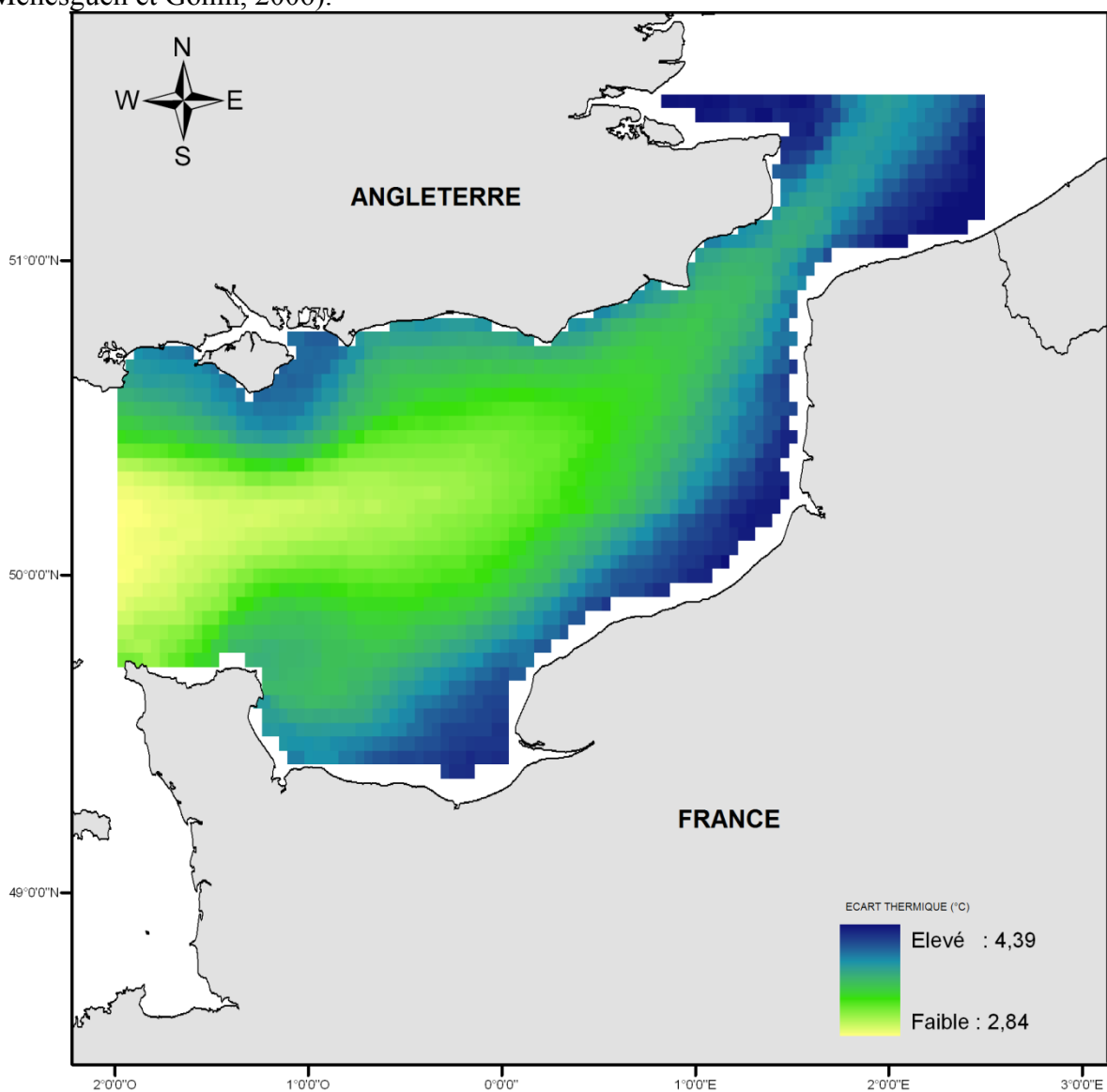


Figure 8 : Amplitude thermique en Manche orientale (Vaz, comm. pers.).

Le gradient côte-large fortement marqué s'observe également sur d'autres paramètres hydrologiques et biologiques : salinité, turbidité, concentration en sels nutritifs,

phytoplancton... L'intrusion de la langue d'eau en provenance de l'océan Atlantique influence essentiellement la veine d'eau centrale, avec une salinité de 35 et une faible variabilité (Visser *et al.*, 1996, Garreau, 1997, Kelly-Gerreyn *et al.*, 2006). En zone côtière, l'influence plus ou moins forte des grands estuaires (Seine, ensemble Escaut-Rhin-Meuse), relayée par des fleuves plus petits (Somme, Canche, Authie) se traduit par une dessalure de la bande littorale. L'apport des eaux douces en Manche est d'environ $30 \text{ km}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, dont $327 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sont apportés par les fleuves anglais et $665 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ par les fleuves français [la Seine contribue à la hauteur de $410 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Dauvin et Lozachmeur, 2006)]. Cet apport engendre une circulation côtière, appelée 'fleuve côtier', largement étudiée tant du point de vue hydrologique que du point de vue biologique (Quisthoudt *et al.*, 1987, Brylinski *et al.*, 1988, Bentley et Maillard-Quisthoudt, 1990, Brylinski et Lagadeuc, 1990, Davoult et Richard, 1990, Brylinski *et al.*, 1991, Dupont *et al.*, 1991, Brylinski *et al.*, 1996). De plus, le mélange transversal entre les eaux de la veine centrale et les eaux côtières est plus faible que le mélange longitudinal (Pingree *et al.*, 1975), ce qui a tendance à isoler encore plus ces eaux côtières.

Cette différenciation eaux du large/eaux côtières se retrouve également dans la teneur de ces eaux en particules minérales et organiques. Ainsi, les eaux de l'Atlantique qui entrent en Manche orientale sont claires, avec une faible concentration de matière particulaire en suspension et un fort pourcentage en Carbone Organique Particulaire (COP) (Bodineau *et al.*, 1999, Velegrakis *et al.*, 1999). Mais, la couche turbulente qui existe en Manche orientale va ramener des particules organiques et minérales en surface (Thomas, 1985), et augmenter la turbidité de la zone. Cette dernière est également augmentée par les apports fluviaux (Thomas, 1985, Dupont *et al.*, 1991, Velegrakis *et al.*, 1999). Les particules en suspension peuvent alors emprunter la voie du large, à dispersion rapide vers la mer du Nord ou la voie côtière, plus lente (Guéguénat *et al.*, 1993). La turbidité de l'eau a un impact sur la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau, donc sur la production primaire (Cabioch *et al.*, 1976, 1977, Brunet *et al.*, 1996) et par conséquent sur les niveaux trophiques supérieurs.

En Manche orientale, c'est cette zone côtière qui contient les plus fortes concentrations en nutriments en hiver, ceux-ci étant apportés essentiellement par la Seine (Rietjens et Agoumi, 1992, Brunet *et al.*, 1996, Gentilhomme et Lizon, 1998). Toutefois, la colonne d'eau de la zone côtière est épuisée en sels nutritifs à la fin de la phase de poussée phytoplanctonique en juin-juillet. Un second bloom phytoplanctonique, observé plus ou moins régulièrement en septembre et avec une intensité également variable d'une année sur l'autre, provient de la régénération estivale en sels nutritifs (Gentilhomme et Lizon, 1998). Ainsi, le bloom phytoplanctonique printanier est une production nouvelle due aux apports fluviaux hivernaux alors que le bloom phytoplanctonique automnal est lié à une production par régénération (Gentilhomme et Lizon, 1998).

1.1.3. Description de la couverture sédimentaire

La couverture sédimentaire de la Manche a été décrite dans de nombreuses études (Dangeard, 1928, Larsonneur, 1971, Larsonneur *et al.*, 1975, Auffret *et al.*, 1980, Larsonneur *et al.*, 1982, Reynaud *et al.*, 2003). Une carte synthétique de la couverture sédimentaire a été réalisée par Vaslet *et al.* en 1979 (Figure 9).

Ainsi, la Manche orientale est dominée par des sédiments gravelo-sableux et est séparée de la Manche occidentale par la zone caillouteuse de la Manche centrale (Vaslet *et al.*, 1979). Des fonds de cailloutis sont également observés dans le détroit du Pas de Calais et au large du Pays de Caux. Ces dépôts grossiers sont liés à la tension de cisaillement rencontrée sur le fond (Figure 10). En partant de ces zones à forte énergie, où sont

rencontrés des sédiments grossiers, les courants s'affaiblissent de façon graduelle amenant aux dépôts graveleux, puis sableux et enfin vaseux. Ce gradient d'affinement sédimentaire est observé de la Manche centrale vers la zone des bancs sableux au sud du détroit du Pas de Calais et du détroit vers la mer du Nord. Un gradient inverse est observé de la zone des bancs sableux du sud du détroit au détroit lui-même. Les sédiments vaseux sont rencontrés dans les baies et les estuaires, mais également le long d'une ligne de basse énergie aux alentours de 6 à 10 m de profondeur. Du Sud au Nord, il y a d'abord des sédiments sablo-graveleux au nord de Dieppe, puis des ensembles de dunes sous-marines au sud de Boulogne-sur-Mer et enfin un peu de sédiments sablo-graveleux avant les cailloutis du détroit du Pas de Calais. Un double gradient (Ouest / Est et côte / large) est donc observé dans les dépôts sédimentaires en Manche orientale.

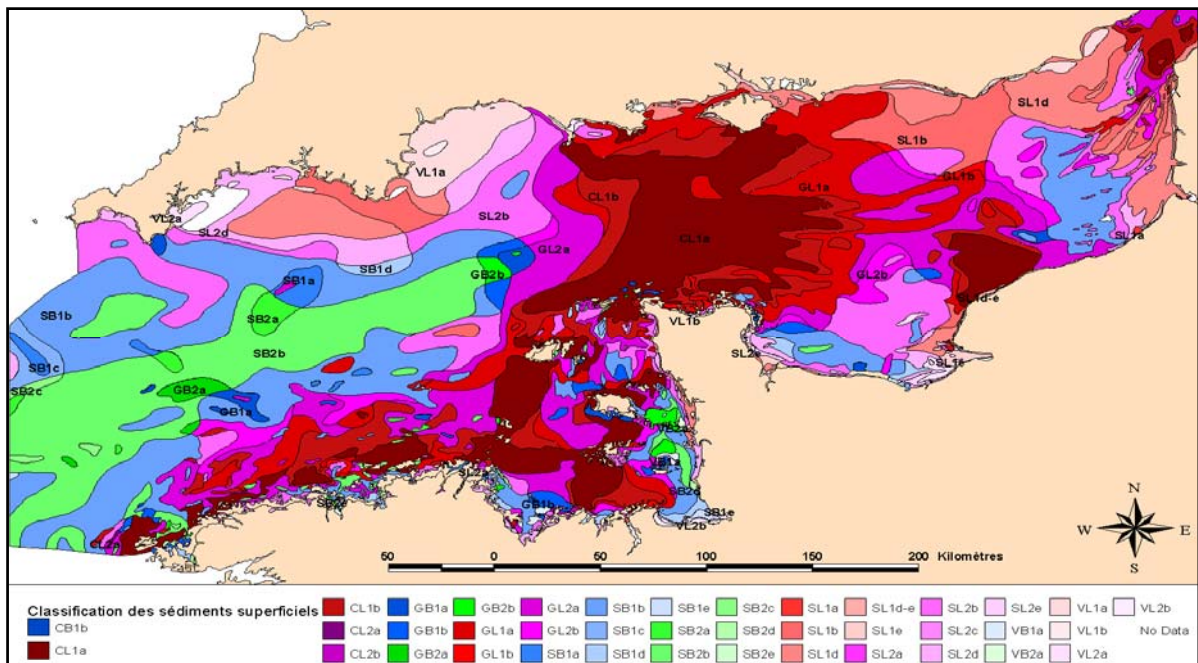


Figure 9 : Schéma de la distribution des sédiments superficiels en Manche (d'après Vaslet *et al.*, 1979). CL : cailloutis lithoclastiques, GL : graviers lithoclastiques, SL : sables lithoclastiques, VL : vases lithoclastiques, GB : graviers bioclastiques, SB : sables bioclastiques, VB : vases bioclastiques. Les numéros 1 et 2 sont liés à la concentration en carbonate de calcium (1 : faible, 2 : élevée). Les petites lettres a, b et c différencient les sédiments en fonction de leur seconde caractéristique granulométrique.

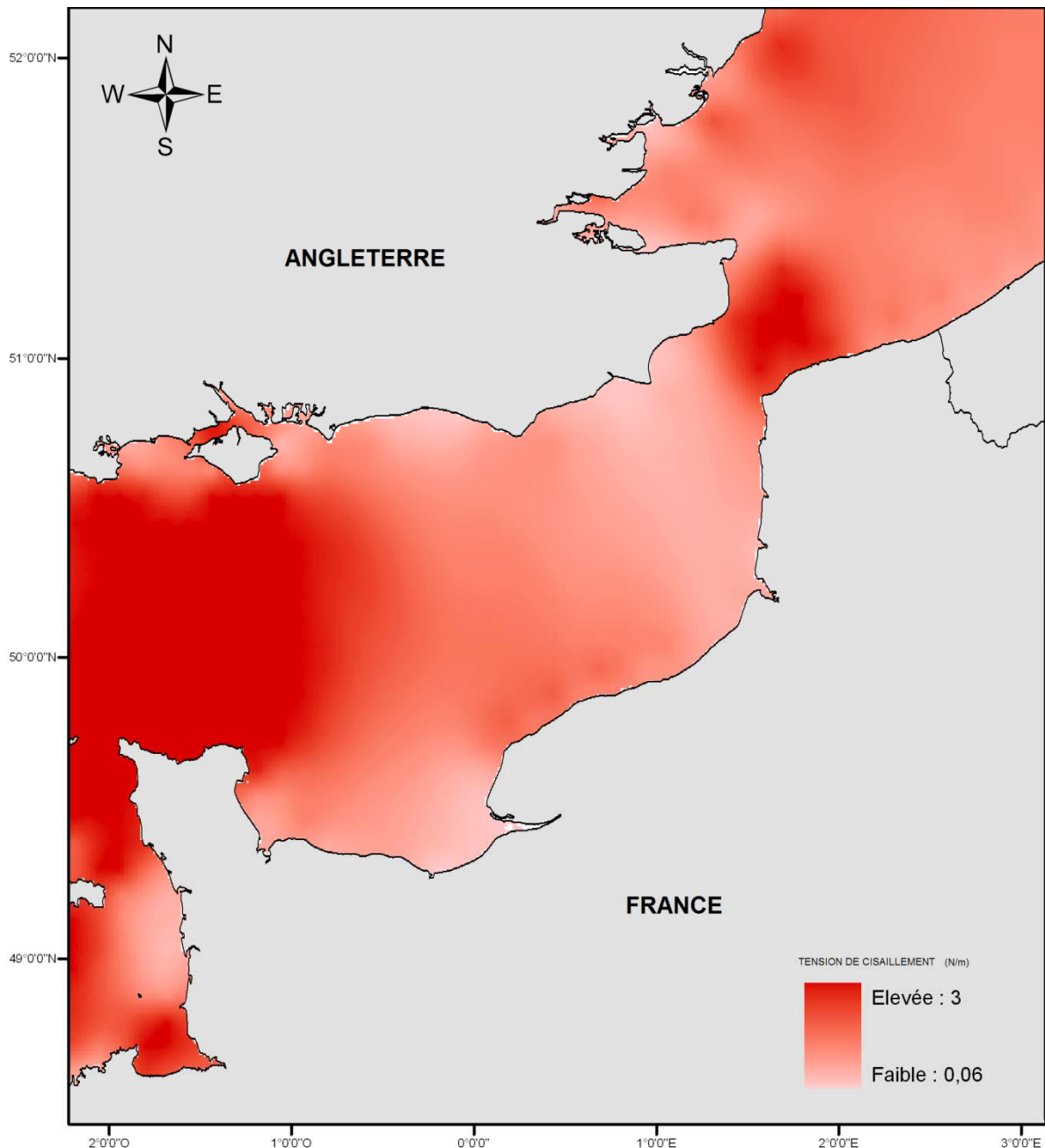


Figure 10 : Répartition de la tension de cisaillement sur les fonds de la Manche (Carpentier *et al.*, 2009).

I.1.4. Remaniement sédimentaire actuel

En Manche orientale se trouvent donc des *lag deposits* mais également des sédiments mobiles (des dunes de sables sous-marines). Actuellement, ces dépôts sédimentaires sont équilibrés et structurés par les conditions hydrodynamiques. Les modèles mathématiques de Pingree et Salomon et l'utilisation de traceurs radioactifs ont permis de comprendre les transports qui s'opèrent sur les particules sédimentaires (Pingree et Griffiths, 1979, Beck *et al.*, 1991, Grochowski *et al.*, 1993a, Grochowski *et al.*, 1993b). Ceux-ci sont presque entièrement dus aux forces de la marée et forment le schéma suivant : (i) un transport important dominé par le reflux et orienté sud-ouest dans le milieu du détroit du Pas de Calais; (ii) un transport associé au flux et orienté nord-est dans la Manche orientale et le long des côtes du Nord-Pas-de-Calais et (iii) une zone de convergence le long

d'une ligne Hastings-baie de Somme (Figure 11). Il en résulte que le sable en provenance de la mer du Nord entre dans la Manche orientale à travers la partie centrale (et profonde) du détroit du Pas de Calais et converge au milieu de la Manche orientale avec le sable originaire de la Manche centrale. Une partie de ce sable est réexporté vers la mer du Nord par le transport côtier. Au niveau des zones de dunes sous-marines, des tourbillons se créent et stabilisent les dunes. D'ailleurs, ces tourbillons ont une « signature » particulière dans les modélisations (Salomon et Breton, 1991).

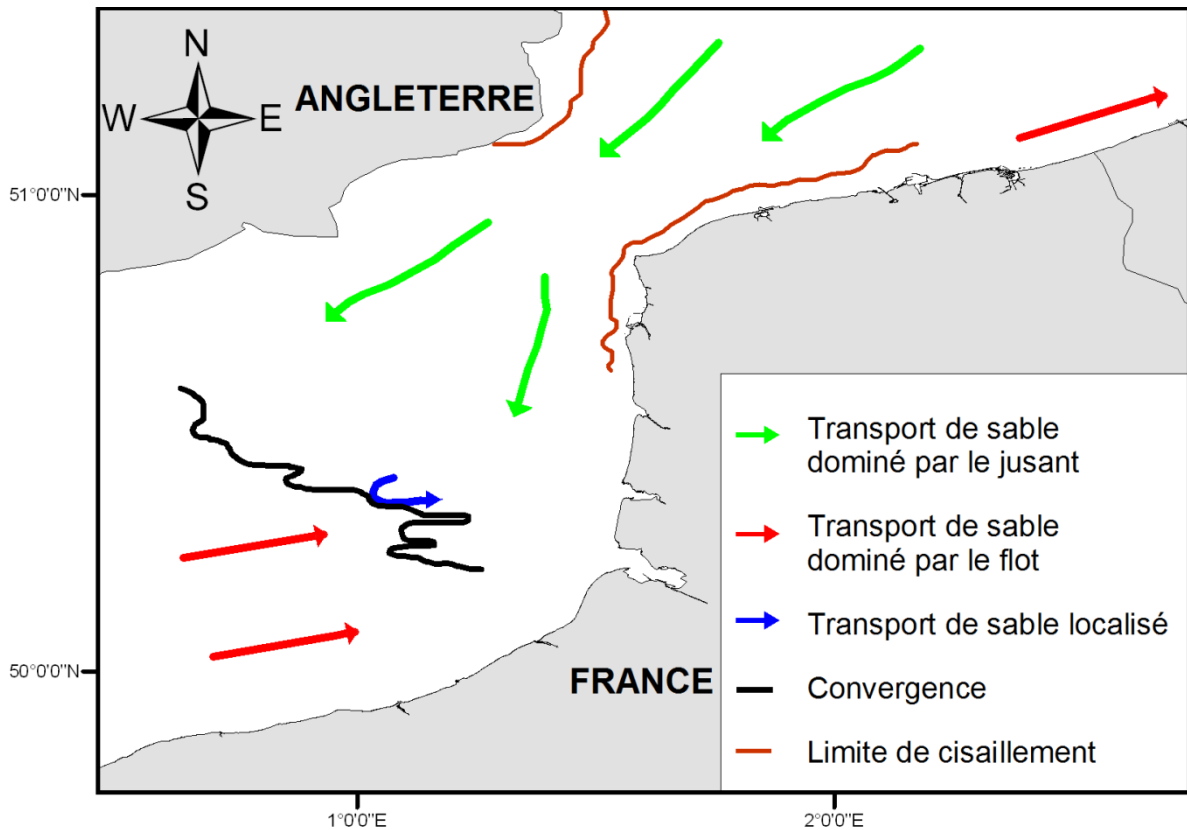


Figure 11 : Schéma du transport sédimentaire en Manche orientale d'après Grochowski *et al.* (1993b).

Même si les courants de marée occasionnent la plus grande part du transport sédimentaire, certaines conditions météorologiques (forte houle, tempête) entraînent également des mouvements de sédiments. Différentes études (Grochowski et Collins, 1994, Guillou et Chapalain, 2006, 2008) ont ainsi montré que :

- dans la zone centrale de la Manche, seulement 1 % des sédiments sont affectés par l'effet des vagues ;
- dans les zones côtières, ce pourcentage atteint 20 à 40 % ;
- ce sont surtout les particules inférieures à 200 μm qui sont affectées par ce transport ; les particules supérieures à 350 μm étant affectées uniquement en cas de tempêtes.

Globalement, la majorité des fonds sédimentaires de la Manche sont dans un équilibre dynamique avec le régime des vagues (Grochowski et Collins, 1994).

I.2. Biologie

I.2.1. Blooms phytoplanctoniques

Les blooms phytoplanctoniques sont initiés par l'interaction de facteurs physico-chimiques tels que les concentrations en nutriments, les processus hydrodynamiques, la pénétration de la lumière ... (Brunet *et al.*, 1996). Dans les eaux bien mélangées, comme en Manche orientale, la profondeur de la colonne d'eau et l'épaisseur de la couche euphotique (< 10 m, Gevaert, 2001) deviennent des éléments prépondérants dans le développement de ces blooms.

En Manche orientale, les blooms phytoplanctoniques ont lieu essentiellement en avril (Gentilhomme et Lizon, 1998, Bodineau *et al.*, 1999) et sont souvent dominés par des diatomées (Breton *et al.*, 2000). A cette période, le phytoplancton utilise les nutriments accumulés pendant la période hivernale et lorsque les conditions de température et de lumière deviennent suffisantes. Ces blooms génèrent souvent une concentration supérieure à $20\mu\text{g chl}a.\text{ml}^{-1}$ et sont de courte durée. L'amplitude des stocks de nutriments hivernaux et des blooms planctoniques distinguent les zones côtières des zones du large. Ainsi, la zone côtière est parfois caractérisée par l'existence de blooms du complexe *Phaeocystis*, qui peuvent avoir un impact sur les communautés benthiques côtières (Desroy et Denis, 2004, Dauvin *et al.*, 2008, Spilmont *et al.*, 2009).

I.2.2. Connaissances sur le compartiment benthique : les travaux historiques

C'est au XIX^{ème} siècle qu'ont commencé les études des fonds marins de la Manche. Il convient cependant de rappeler qu'à la fin du XVIII^{ème} siècle, l'abbé Dicquemare et G. Cuvier ont entrepris quelques recherches sur la faune marine des côtes normandes. Les premières études du XIX^{ème} siècle se situaient autour des laboratoires marins existants (Roscoff avec Pruvot, Le Portel avec Hallez, Plymouth avec Allen, Wimereux avec Giard). Le développement des moyens d'exploration et leur modernisation ont permis l'essor de la recherche sur le benthos.

Le benthos, ensemble des organismes vivants en étroite relation avec les fonds marins (Gray, 1974), représente une des ressources marines clés. Se déclinant en phytobenthos et zoobenthos, il peut occuper plusieurs strates permettant de définir trois catégories :

- Endobenthos : « totalité des espèces sessiles ou vagiles qui se trouvent dans l'épaisseur, les cavités, fissures ou interstices du substrat » (Pérès, 1961) ;
- Epibenthos : « totalité des espèces sessiles ou vagiles qui se trouvent à la surface du sédiment ou de la roche » (Pérès, 1961) ;
- Suprabenthos : « partie de la faune benthique constituée d'animaux de petite taille, surtout des Crustacés, qui tout en étant liés au fond d'une façon ou d'une autre, possèdent de bonnes capacités natatoires et peuvent occuper, pendant des périodes et sur des distances variables, la couche d'eau immédiatement adjacente au fond » (Brunel *et al.*, 1978).

A la fin des années 1950 et au début des années 1960, les travaux de Holme offrent la première approche des communautés benthiques à une échelle synoptique, celle de la Manche. Entre 1958 et 1962, il entreprend la collecte de la faune benthique sur 167 stations à l'aide d'une « drague-ancre » (Holme, 1961). Il complète cet échantillonnage par 144 autres stations entre 1960 et 1962 (Holme, 1966). A partir de l'analyse de ces 311 dragages, il conclut à l'existence de cinq associations benthiques en Manche : associations des vases,

des sables vaseux, des sables, des graviers vaseux et des graviers. Il détermine également les patrons de distribution de plusieurs espèces suivant sept classes : (1) espèces ubiquistes, (2) espèces occidentales, (3) espèces de la Manche occidentale, (4) espèces cornubiennes, c'est-à-dire endémiques des batholithes cornubiens, formations granitiques du sud-ouest du Royaume-Uni, (5) espèces sarniennes, c'est-à-dire dont la distribution est presque exclusivement limitée au golfe normano-breton, (6) espèces orientales et (7) espèces à distribution diversifiée.

A partir de 1959, Cabioch commence l'étude des communautés benthiques au large de Roscoff (Cabioch, 1961), puis l'élargit à la Bretagne occidentale (Cabioch, 1968).

A partir de 1972, ces travaux d'exploration des communautés benthiques de la Manche deviennent coordonnés par la Station Biologique de Roscoff (Louis Cabioch et Franck Gentil), en association avec les laboratoires maritimes de Dinard (Christian Retière) et Wimereux (René Glaçon) et la collaboration du laboratoire de géologie marine de l'université de Caen (Claude Larsonneur et Jean-Paul Auffret). Cette association s'est ensuite structurée dans différents cadres pour poursuivre cette exploration de la Manche : (1) Recherche Coopérative sur Programme (RCP) du Centre Nationale de la Recherche Scientifique (RCP 378), (2) Groupement de REcherches COordonnées (GRECO) « Manche » puis (3) Groupement De Recherche (GDR) Manche 19.

Suite à cette prospection systématique de la Manche paraissent plusieurs publications¹ :

- sur les peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine [(Cabioch et Gentil, 1975, Gentil, 1976, Gentil et Cabioch, 1997a) (Figure 12)] ;
- sur les peuplements macrobenthiques de la Baie de Somme jusqu'au Pas de Calais [(Cabioch et Glaçon, 1975) (Figure 13)] ;
- sur les peuplements macrobenthiques du cap d'Antifer à la Baie de Somme [(Cabioch et Glaçon, 1977) (Figure 14)].

¹ A cette époque, il était courant de mettre en synonymie les termes peuplements et communautés (ceux-ci ayant pris par la suite un sens différent comme il a été expliqué dans l'introduction. Pour cette partie, le terme peuplement a été conservé en référence aux descriptions qui ont été faites par les auteurs.

Quelques définitions : assemblage, communauté, habitat...

En écologie benthique, les grands concepts généraux ont souvent été redéfinis en fonction de l'origine géographique des auteurs. Ceci a amené à l'existence de plusieurs définitions pour une même notion. Récemment, la multiplication des textes officiels gouvernementaux (notamment les textes de classifications en écologie) a montré un mésusage des termes écologiques ; alors qu'il est indispensable d'avoir une terminologie commune pour les notions les plus couramment employées par le plus grand nombre (Dauvin *et al.*, 2007a).

Le terme 'assemblage' est un terme très général. Il fait référence à un groupe d'espèces (populations) vivant ensemble dans un lieu ou un environnement déterminé, sans aucune notion d'interrelation entre les espèces (Pérès, 1982).

Le terme 'communauté' est *sensu stricto* un synonyme de 'biocénose'. Néanmoins, il fait souvent référence à une entité de la biocénose (comme la communauté macrobenthique par exemple) définie quantitativement, à travers l'abondance, la dominance ou la structure fonctionnelle. Mills (1968, 1969) la définit comme un groupe d'organismes rencontrés dans un environnement particulier, interagissant certainement entre eux et avec l'environnement et distinguable au moyen d'études écologiques sur d'autres groupes.

Le terme de 'biocénose' a été proposé en 1877 par Möbius. Sa définition actuelle correspond à un groupement d'organismes vivants, liés par des relations d'interdépendance dans un biotope dont les caractéristiques dominantes sont relativement homogènes ; chaque biocénose comprend notamment la phytocénose, limitée aux végétaux, et la zoocénose, limitée aux animaux. Le terme de 'biocénose' est inséparable du terme 'biotope'. Ce dernier terme a fortement évolué (Olenin et Ducrotoy, 2006, Dauvin *et al.*, 2007b). En 1908, Dahl le définit comme les conditions physico-chimiques d'existence d'une biocénose. Actuellement, il combine l'environnement physique (nommé 'habitat') et son assemblage d'espèces (communauté) selon Olenin et Ducrotoy (2006). D'après ces auteurs, un biotope correspondrait donc à l'addition d'un habitat et d'une communauté.

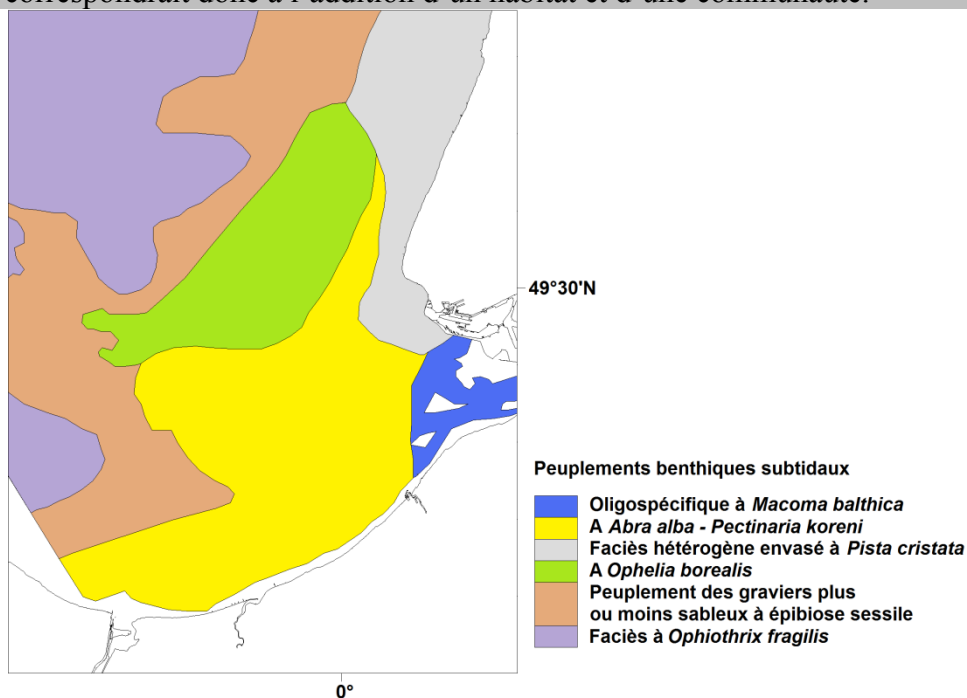


Figure 12 : Carte des communautés benthiques de la baie de Seine (Cabiocch et Gentil, 1975).

Le terme 'habitat' a également fortement évolué. Pour Darwin (1859), un habitat était le lieu où une plante ou un animal peuvent vivre. Il faisait donc référence au lieu occupé par une ou plusieurs espèces, en fonction de son préférendum écologique. Avec les nouvelles directives européennes et la classification EUNIS, le terme est maintenant synonyme de biotope dans sa nouvelle définition, c'est-à-dire qu'il combine les facteurs abiotiques (l'environnement physique) et les facteurs biotiques (la communauté).

Le terme de 'peuplement' correspond à l'ensemble des populations d'un même niveau taxonomique qui vivent dans le même biotope et qui crée une entité relativement stable et homogène étendue sur une large aire (par exemple, le peuplement des bivalves des sables fins infralittoraux).

Pour la présente étude, les définitions suivantes ont été adoptées :

- Communauté (synonyme de biocénose) : ensemble des différentes populations vivant dans des conditions écologiques moyennes dans un endroit donné.

- Population : ensemble des individus d'une même espèce sujets aux mêmes événements démographiques.

- Faciès : cas particulier d'une communauté lorsque l'un des facteurs écologiques devient dominant.

- Peuplement : ensemble formé des différentes populations appartenant à un seul ensemble taxonomique (par exemple les bivalves) dans un endroit donné. Une communauté peut donc contenir plusieurs types de peuplements.

- Habitat : correspond à la définition retenue dans l'atlas CHARM (Carpentier *et al.*, 2005). Il s'agit du lieu regroupant l'ensemble des conditions environnementales dans lequel une espèce, une population ou une communauté peut survivre et se maintenir à l'état spontané.

- Assemblage : ensemble d'espèces caractérisant un groupe de stations ayant une forte similitude faunistique. Il est pris dans ce travail dans un sens statistique, c'est-à-dire qu'il s'agit du résultat d'une partition ou d'une ordination.

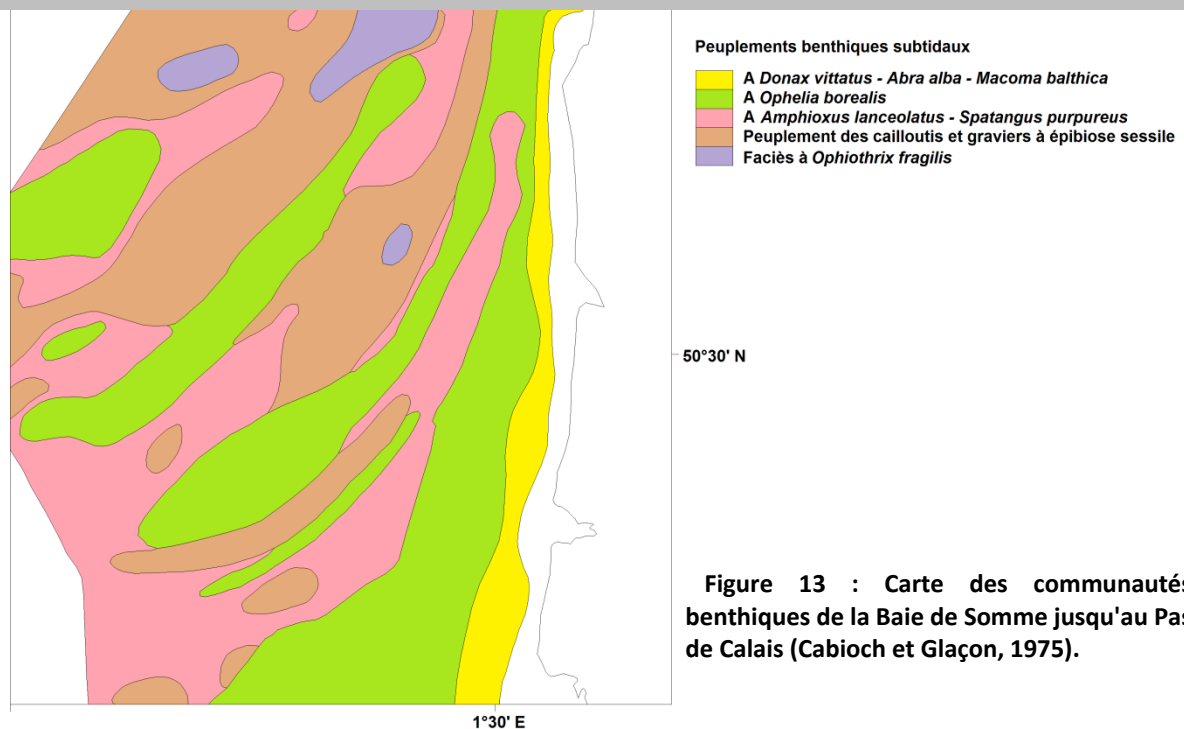


Figure 13 : Carte des communautés benthiques de la Baie de Somme jusqu'au Pas de Calais (Cabioch et Glaçon, 1975).

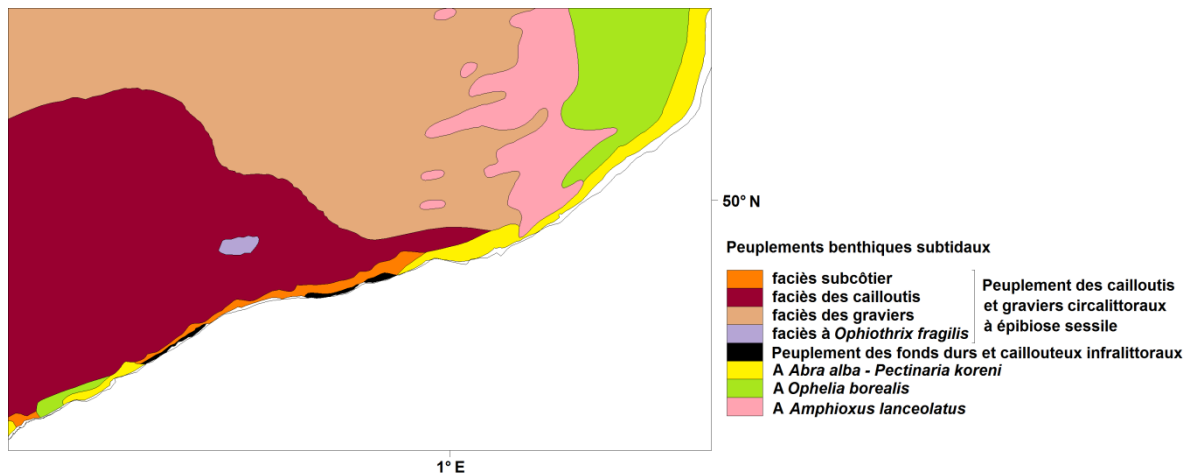


Figure 14 : Carte des communautés macrobenthiques du cap d'Antifer à la baie de Somme (Cabioch et Glaçon, 1977).

De ces études, il ressort que cinq peuplements benthiques peuvent être trouvés en dans les zones prospectées :

- Le peuplement des cailloutis à épibiose sessile

Ce peuplement est caractéristique des zones de forts courants (Pays de Caux, détroit du Pas de Calais) entre 20 et 50 m. Les cailloutis représentent 80 % de la couverture sédimentaire, suivis par les graviers et les sables. L'épibiose sessile y est abondante et diversifiée, contrairement à l'endofaune. Ce peuplement présente plusieurs faciès (faciès d'appauvrissement lié à une augmentation de la fraction sableuse, faciès à *Modiolus modiolus*).

- Le peuplement de la gravelle à *Amphioxus lanceolatus*

Il se rencontre dans les zones jouxtant les faciès d'appauvrissement des cailloutis et en zone côtière où il sert de transition au peuplement des sables moyens propres. Les graviers représentent jusqu'à 50 % du sédiment de ce peuplement, le reste étant constitué de sables fins et moyens, sans pélites. C'est un peuplement relativement pauvre, caractérisé par le céphalochordé *Amphioxus lanceolatus* et l'oursin *Spatangus purpureus*.

- Le peuplement de l'hétérogène envasé

Ce peuplement occupe les dépressions interbanes, dans les zones de dunes sous-marines au sud de Boulogne-sur-Mer et en mer du Nord. Il est établi sur un sédiment hétérogène : cailloutis, graviers, sables et pélites (jusqu'à 5%). Des espèces d'épibiose sessile s'y trouvent encore mais ce sont surtout les espèces de l'endofaune qui deviennent dominantes. Ce peuplement est un écotone, zone de transition, entre le peuplement à cailloutis et le peuplement des sables fins.

- Le peuplement des sables fins à moyens propres à *Ophelia borealis*

Il se rencontre essentiellement sur les bancs sableux de la Manche orientale et de la mer du Nord. Le sédiment sur lequel il s'établit est composé de sables fins et moyens sans pélites. C'est un peuplement oligospécifique. Les espèces caractéristiques de ce peuplement sont la polychète *Ophelia borealis* et l'oursin *Echinocardium cordatum*.

- Le peuplement des sables fins envasés à *Abra alba*

Ce peuplement est situé en zone côtière, là où les courants sont plus faibles. Les sables fins, comportant une fraction pélitique importante, composent le sédiment de ce peuplement. Les espèces caractéristiques de ce peuplement sont le bivalve *Abra alba*, la polychète *Pectinaria (Lagis) koreni* et l'échinoderme *Ophiura ophiura*. Il est soumis à des fluctuations importantes, notamment en mer du Nord (Dewarumez *et al.*, 1986).

Une partie des données historiques (1495 stations) ont été ré-analysées dans la thèse de Sanvicente-Añorve (1995), afin de déterminer les structures benthiques spatiales de la Manche orientale grâce à différentes techniques d'analyses multivariées. Ce travail apporte des éléments à la connaissance sur la typologie des communautés, sur la répartition spatiale des espèces et sur la biodiversité. Sanvicente-Añorve a montré que certaines typologies respectaient les grands ensembles sédimentaires reconnus par Larsonneur *et al.* (1982) et les connaissances préalables des benthologues. Par contre, d'autres typologies s'en éloignaient, suite aux modifications faites sur les données brutes (pondération, lissage...). Cependant, son travail a permis de conclure à une forte cohérence spatiale des structures benthiques. Elle a également constaté que les résultats obtenus différaient en fonction de l'échelle spatiale choisie (mise en évidence des niveaux d'hétérogénéité spatiale).

Des cartes de distribution des communautés benthiques ont également été réalisées dans le sud de la mer du Nord, en particulier entre le cap Gris-Nez et la frontière belge (Souplet *et al.*, 1980, Davoult *et al.*, 1988, Prygiel *et al.*, 1988, Dauvin et Dewarumez, 2002) et ont permis de préciser certains faciès et certaines zones de transition (Figure 15).

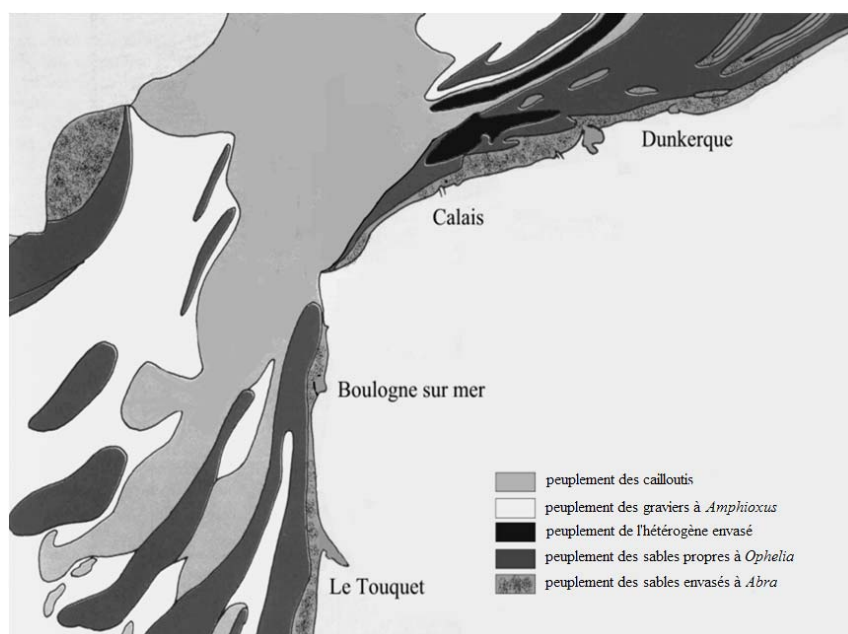


Figure 15 : Carte de répartition des cinq peuplements macrobenthiques en Manche orientale et sud de la mer du Nord (Dauvin et Dewarumez, 2002).

Il ressort de ces travaux que la distribution des communautés benthiques en Manche est liée aux conditions environnementales (lumière, température, couverture sédimentaire) et hydrodynamiques (Gentil et Cabioch, 1997b), ce qui a également été décrit dans d'autres systèmes (Reys, 1976, Adjeroud, 2000, Le Loc'h, 2004). Comme la Manche est un carrefour biogéographique, le gradient climatique longitudinal est un facteur déterminant dans la répartition de nombreuses espèces et conditionne un gradient dans les communautés benthiques (Holme, 1966, Cabioch et Glaçon, 1977, Cabioch et Gentil, 1997) et pélagiques (Mahé *et al.*, 2005, Vaz *et al.*, 2007). Selon leurs *preferenda* écologiques, deux grands ensembles d'espèces sont décrits : les espèces occidentales, dites également « boréo-océaniques », et les espèces orientales, dites également « boréo-arctiques » (Gentil et Cabioch, 1997b, Barnay, 2003). Ainsi, une diminution de la diversité de la macrofaune benthique est observable d'ouest en est (Cabioch et Glaçon, 1977, Hecq *et al.*, 1992, Heip *et al.*, 1992, Gee et Warwick, 1996, Dauvin, 1999, Dauvin *et al.*, 2003a, Desroy *et al.*, 2003). La presqu'île du Cotentin constitue d'ailleurs une frontière infranchissable pour de

nombreuses espèces (Ellien *et al.*, 2000, Dupont *et al.*, 2003, Jolly *et al.*, 2004). Ce gradient climatique est recoupé par des gradients édaphiques [côte/large et ouest/est (Cabioch *et al.*, 1976)]. Or, la distribution des communautés benthiques est étroitement liée aux successions sédimentaires (Gray, 1974, Clabaut et Davoult, 1989, Snelgrove et Butman, 1994), elles-mêmes liées aux conditions hydrodynamiques. Ainsi, les communautés de sédiments grossiers se rencontrent sur les zones à fort hydrodynamisme (largement réparties en Manche) alors que les communautés de sédiments fins sont cantonnées dans les zones de plus faible hydrodynamisme, principalement près des côtes.

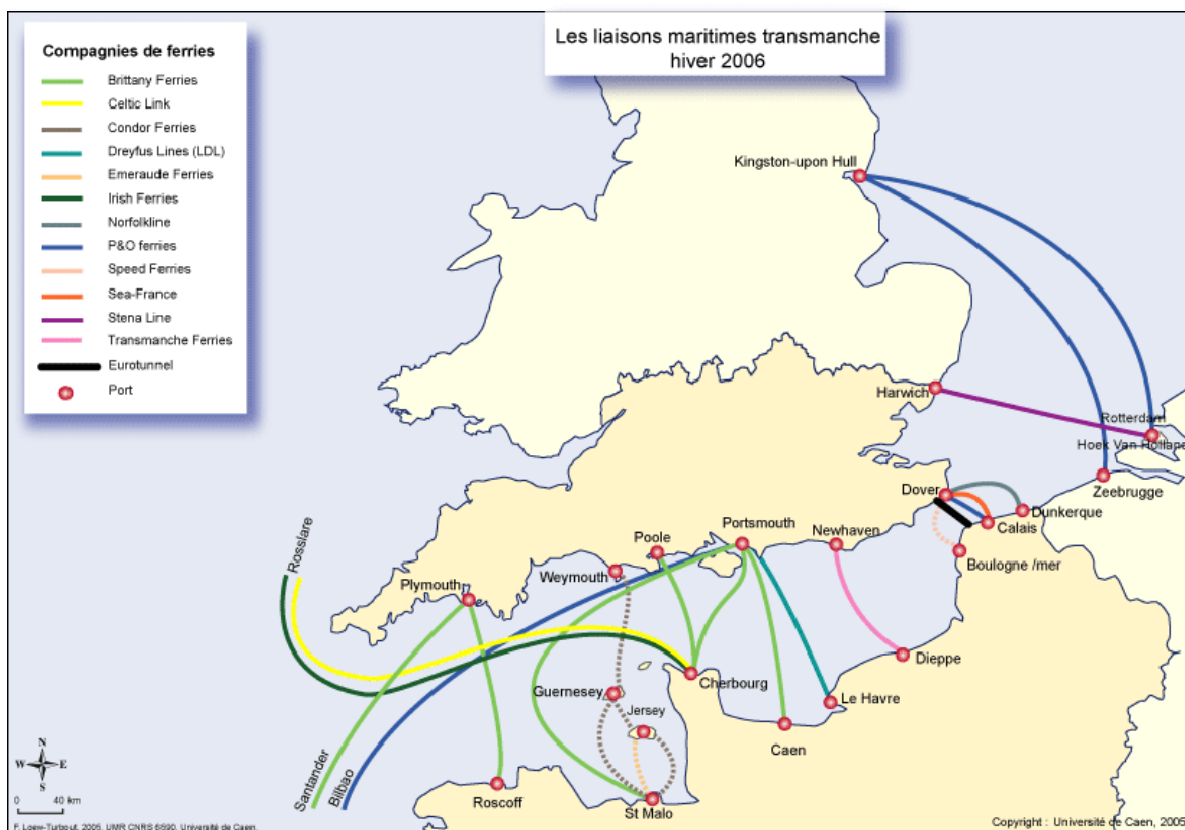
I.3. Perturbations naturelles ou anthropiques pouvant affecter le système Manche

Les communautés macrobenthiques peuvent être modifiées par des perturbations anthropiques, de nature biologique, physique ou chimique et par des processus naturels. La majorité de ces perturbations se situent en zone côtière et sont le résultat des activités humaines (Gray, 1997). Toutefois, définir la cause réelle de la modification d'une communauté n'est pas une chose aisée tellement les interactions entre les différents phénomènes peuvent être fortes (Clark et Frid, 2001, Planque, 2009).

Les pressions anthropiques sont nombreuses et fortes en Manche : pêche, aquaculture, câbles sous-marins, tourisme et plaisance, agriculture, urbanisation, extractions de granulats... C'est également une mer où surviennent fréquemment des tempêtes, surtout en période hivernale. Elle est sous l'influence de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO), un phénomène climatique lié aux fluctuations des différences de pressions atmosphériques entre les basses pressions de l'Islande et les hautes pressions des Açores. Afin d'illustrer ces pressions, une liste non exhaustive des perturbations pouvant être rencontrées en Manche est dressée dans cette introduction.

De part sa situation géographique entre l'Océan Atlantique et la mer du Nord, la Manche est une voie maritime très fréquentée. Près de 20 % du trafic mondial passe par le détroit du Pas de Calais, soit 700 à 800 bateaux par jour (Bahé, 2008).

En 2006, 313 millions de tonnes de produits dangereux ont ainsi été transportés par voie maritime en Manche, dont 80 % d'hydrocarbures (Bahé, 2008). A ce transport maritime s'ajoute le transport des voyageurs (Figure 16). En 2006, au niveau du détroit du Pas de Calais, 46 liaisons entre la France et l'Angleterre (toutes compagnies confondues) croisaient la route des navires commerciaux (Loew-Turbout, 2005).



Compagnie	Lignes	Temps de traversée	Rotations
Brittany Ferries	Caen-Portsmouth	5h45 de jour et 7h de nuit	3 par jour
	Cherbourg-Poole	4h de jour et 6h30 de nuit	1 par jour
	Cherbourg-Portsmouth	4h30	1 par jour
	Roscoff-Plymouth	6h de jour et 7h de nuit	1 à 4 par semaine
	St Malo-Portsmouth	9h de jour et 10h30 de nuit	1 par jour
Celtic Link	Plymouth-Santander	18h	1 par semaine
	Cherbourg-Rosslare	20h	3 par semaine
Condor Ferries	St Malo-Jersey	1h15	4 par semaine
	St Malo-Guernsey	1h45	2 par semaine
	St Malo-Jersey-Guernsey-Weymouth	5h15	2 par semaine
Dreyfus Lines	Le Havre-Portsmouth	4h	2 par jour
Emeraude Ferries	St Malo-Jersey	1h10	1 à 2 par jour
Irish Ferries	Cherbourg-Rosslare	17h	1 à 3 par semaine
Norfolkline	Dunkerque-Dover	2h	10 par jour
P&O Ferries	Calais-Dover	1h15min	25 par jour
	Zeebrugge-Hull	12h30	1 par jour
	Rotterdam-Hull	11h	1 par jour
Speed Ferries	Bilbao-Portsmouth	29h	2 par semaine
	Boulogne-Dover	50 min	3 par jour
Sea France	Calais-Dover	1h30	15 par jour
Stena Line	Hoek Van Holland-Harwich	3h40 de jour et 6h30 de nuit	4 par jour
Transmanche Ferries	Dieppe-Newhaven	3h	3 par jour

Sources : Compagnies de Ferries, CCI

Figure 16 : Carte des liaisons maritimes pour le transport des voyageurs en Manche (d'après Loew-Turbout, 2005).

Ces activités demandent des installations portuaires conséquentes. Ainsi la Manche compte trois des sept grands ports maritimes français (Le Havre, Rouen et Dunkerque), plus des ports régionaux tels que Dieppe, Boulogne-sur-Mer (première plateforme européenne de traitement du poisson) et Calais (premier port de passagers européen). L'installation et l'entretien de ces aménagements perturbent les écosystèmes en place. En effet, les travaux de construction portuaire peuvent modifier les conditions courantologiques et sédimentaires locales (Dewarumez, 1988, Monbet et Desprez, 1997), ce qui perturbe les communautés existantes. L'aménagement du nouveau bassin du grand port maritime du Havre par exemple (projet Port 2000), a engendré des modifications des communautés (Dauvin *et al.*, 2006). Les bassins portuaires ainsi que leurs chenaux d'accès doivent être régulièrement entretenus par dragages lorsque le trafic maritime y est intense (Robbe, 1988), comme au

port de Boulogne-sur-Mer par exemple. Les sédiments dragués sont rejetés en mer dans des zones de clapage où en général l'énergie hydrodynamique permet la dispersion des sédiments de dragage (L'Yavanc *et al.*, 1999), ce qui peut modifier le milieu. De plus, des particules fines sont remises en suspension lors des différentes étapes de l'entretien des ouvrages portuaires et peuvent ainsi modifier la sédimentologie à la fois des zones côtières situées juste à la sortie des ports et des zones de clapage. Les sédiments rejetés sont riches en matière organique et la plupart du temps anoxiques mais également porteurs de polluants divers, qui peuvent perturber les communautés benthiques en place.

Toutes ces activités peuvent entraîner des risques de pollution physique, chimique et biologique :

* Les pollutions chroniques : les rejets d'effluents pollués en mer, qu'ils soient urbains ou industriels, constituent une des sources majeures de dégradation des biocénoses marines côtières (Hily et Guillaud, 1997). Ces rejets sont de natures diverses et ont des conséquences variables :

(1) La dégradation de la matière organique par les processus bactériens va induire une plus forte demande en oxygène, ce qui occasionne une diminution de la concentration en oxygène dans l'eau au niveau du fond et des modifications des processus d'oxydoréduction des sédiments. De plus, les rejets de matière organique modifient l'environnement : augmentation de la turbidité des eaux entraînant une baisse de la luminosité, une modification des ressources alimentaires (Pearson et Rosenberg, 1978), des conditions physico-chimiques et de la granulométrie. Ceci se traduit par des changements dans la composition spécifique du benthos (abondances et biomasses), d'où des modifications de la structure des biocénoses et des réseaux trophiques (Lafite *et al.*, 2000).

(2) L'enrichissement en sels nutritifs des zones côtières peut créer une eutrophisation littorale (Merceron, 1999a).

(3) Les rejets de métaux, même s'ils ne génèrent pas d'effets létaux peuvent produire des altérations dans les différents processus métaboliques ou de reproduction (Richard *et al.*, 1988). Par exemple et malgré les efforts faits sur le traitement des rejets, l'estuaire de Seine est un des plus contaminés en Europe (Chiffolleau, 2001).

* Les pollutions diffuses : les rejets en mer des effluents issus des exploitations aquacoles apportent dans le milieu un excédent de matières organiques ainsi que d'autres substances liées aux pratiques d'élevage (désinfectants, antibiotiques) (Arzul, 2002).

* Les pollutions accidentelles : le secteur de la Manche représentant une zone d'important trafic, les naufrages de navires, notamment les pétroliers, constituent un risque potentiel permanent. Des accidents majeurs sont déjà survenus en Manche. Parmi les plus récents, il y a eu le *Ievoli Sun*, chimiquier qui a sombré en mars 2000 au large du Cotentin dans une zone riche en macrozoobenthos et exploitée par les caseyeurs.

* Les pollutions biologiques : les introductions d'espèces marines exotiques sont connues depuis le XIX^{ème} siècle. Les espèces exotiques sont en grande partie apportées par les navires, soit dans leurs eaux de ballast, soit attachées sur leurs coques. L'exemple le plus connu est celui de *Crepidula fornicata* qui, apportée sur les côtes françaises de la Manche par les navires lors de la deuxième guerre mondiale, prolifère aujourd'hui (Blanchard, 1995). Le trafic maritime en Manche augmentant, les introductions d'espèces sont de plus en plus fréquentes (d'Udekem d'Acoz, 1999, Gouletquer *et al.*, 2002). Les impacts de telles introductions sur les communautés comprennent la compétition pour l'espace et la ressource trophique (Vallet *et al.*, 2001), la destruction des habitats, la production d'une biomasse non utilisable par les espèces indigènes et la perturbation des équilibres écologiques (Belsher *et al.*, 1997). Les espèces introduites, notamment algales,

peuvent par exemple procurer de nouvelles niches écologiques pour certaines espèces indigènes dont les populations augmentent alors (Belsher *et al.*, 1997). Les espèces introduites sont de toute façon des facteurs de déséquilibre des communautés. (Lévêque, 2008b, 2008a)

Ces différentes pollutions sont des sources de conflits d'usage avec les pêcheurs ou les plaisanciers. D'ailleurs ces derniers représentent une fraction non négligeable des acteurs en Manche. En 2004, 300 688 bateaux de plaisance étaient recensés sur la façade Manche côte français (Bahé, 2008). Les composés dérivés des peintures anti-fouling perturbent également les communautés, les populations et les espèces marines (Merceron, 1999b).

Les activités de pêche sont importantes en Manche (Figure 17). Boulogne-sur-Mer est un pôle halieutique de première importance. En 2004, environ 600 navires ont été recensés dans la partie est de la Manche (Comité National des Pêches, 2009). De nombreux métiers de la pêche y sont rencontrés : fileyeurs, arcs dormants, chalutiers, caseyeurs.

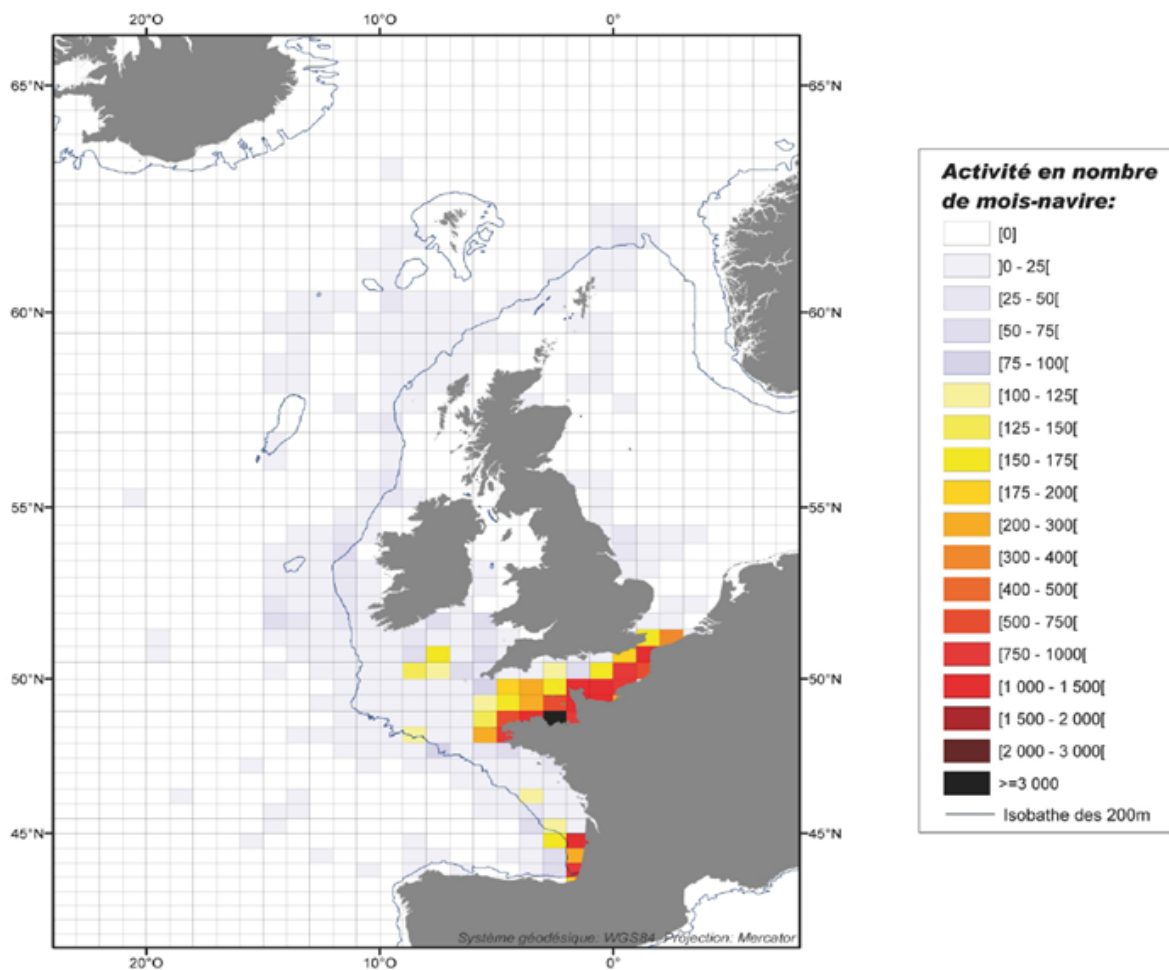


Figure 17 : Effort de pêche en Manche pour les navires enregistrés sur la façade Manche/mer du Nord (Leblond *et al.*, 2009).

L'impact de la pêche sur les communautés benthiques n'est pas négligeable (Figure 18). Outre la pression de prélèvement qu'elle exerce, les engins de pêche traînants, dragues et chaluts benthiques, engendrent des modifications des habitats. Celles-ci sont fonction des caractéristiques des engins, de leurs conditions d'utilisation et de la nature des fonds (Hamon *et al.*, 1997, Jennings et Kaiser, 1998, Jennings *et al.*, 2001a, Jennings *et al.*, 2001b). Ces modifications dépendent également des pressions dans l'espace (exploitation intensive ou non d'un même lieu) et dans le temps (fréquence des prélèvements plus ou moins élevée) qui sont pratiquées. La principale conséquence de telles activités de pêche est de nature physique et consiste en une altération de la structure sédimentaire des fonds et ainsi qu'en une remise en suspension de particules, organiques ou non, dans la colonne d'eau. Les engins tractés engendrent également des perturbations biologiques : mortalité dans le compartiment benthique, pêche accessoire, dommages occasionnés sur l'épifaune sessile... Les effets indirects sont plus difficilement identifiables : décroissance de la diversité par une perte des organismes les plus sensibles, altération des communautés par une modification des équilibres trophiques et la prolifération de certaines espèces, telles que *Crepidula fornicata*, en favorisant leur dispersion (Gray, 1989).

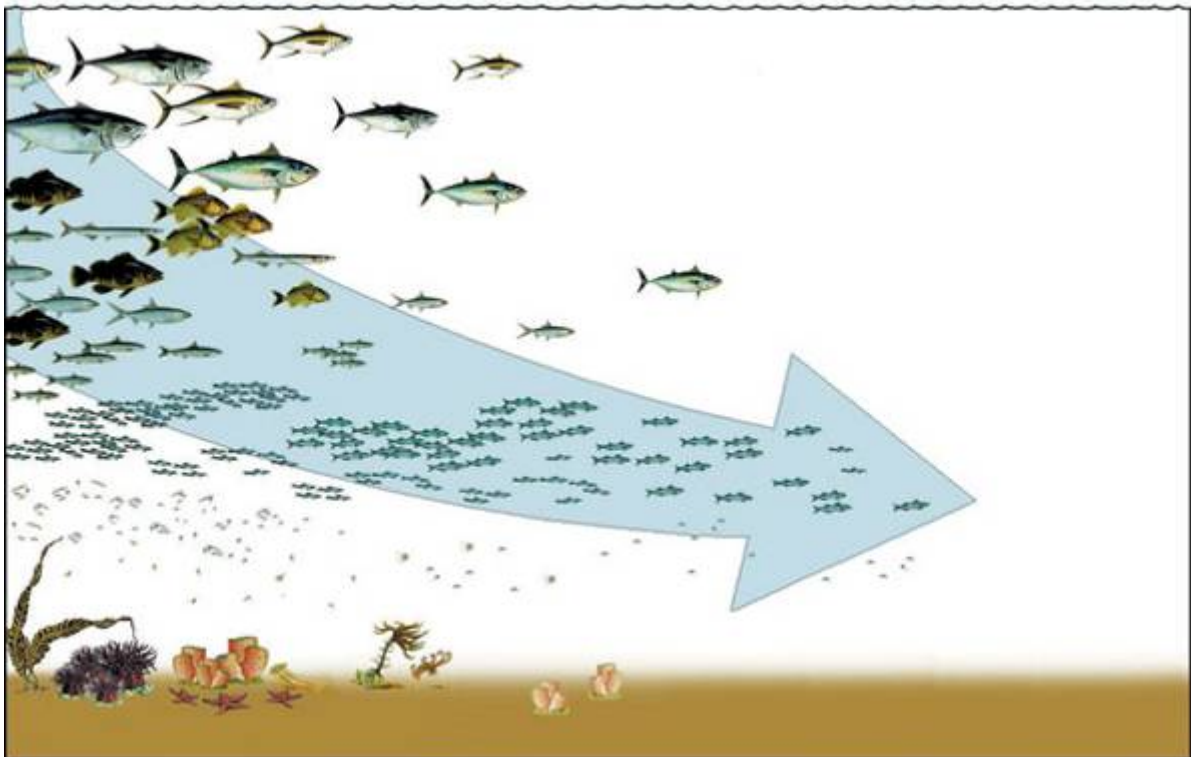


Figure 18 : Impact de la pêche sur la diversité marine (Conception : Daniel Pauly ; Artiste : Aque Atanacio, Los Baños, Philippines ; (Pauly, 2007)). La pêche (flèche bleue) impacte jusqu'aux bas niveaux des réseaux trophiques : après avoir épuisé les grands poissons plus vulnérables, elle vise les petits poissons et les invertébrés (tels que les méduses). Les invertébrés benthiques disparaissent à cause de la pêche au chalut.

Mais cette activité est de plus en plus en conflit avec d'autres activités existantes (câbles sous-marins) ou en développement (extraction de granulats, éoliennes offshore).

De nombreux câbles sous-marins occupent les fonds de la Manche (Figure 19). Actuellement, l'essentiel du travail est constitué par la maintenance des câbles existants. Néanmoins, les besoins liés à Internet pour les communications pourraient voir cette activité reprendre de l'essor (Kalaydjian, 2008).

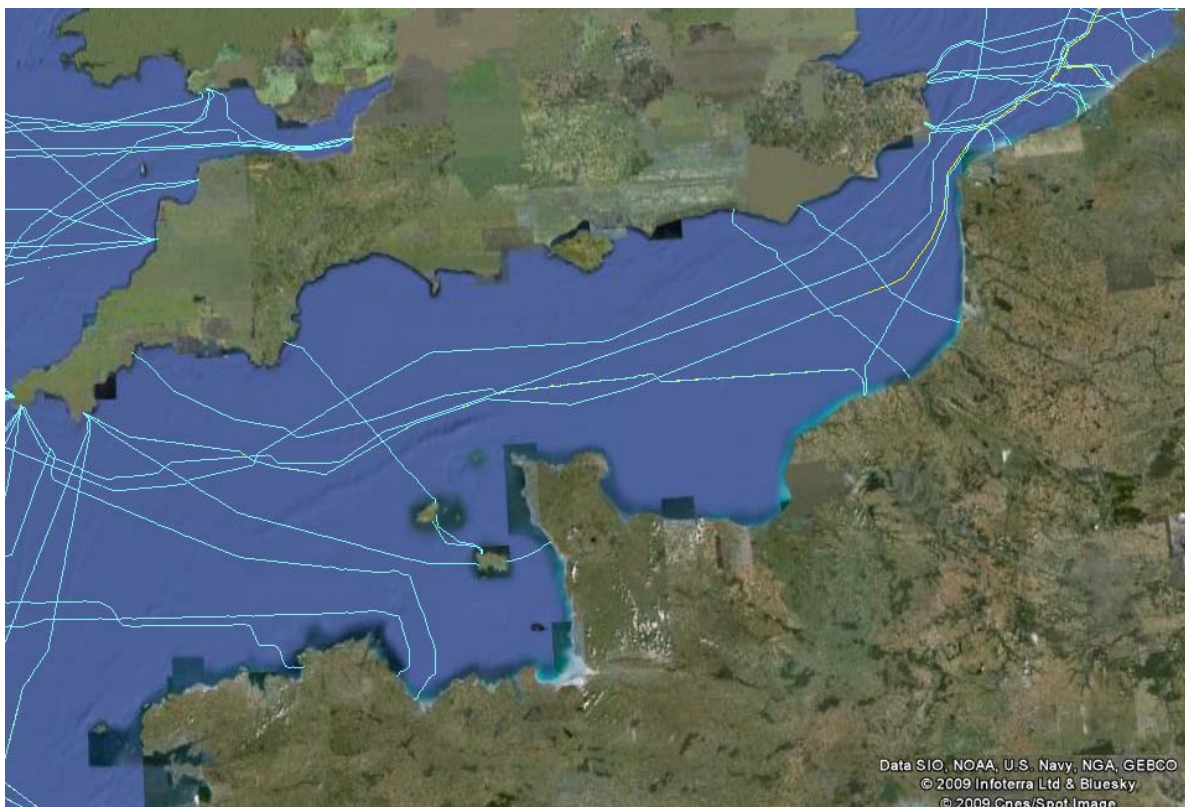


Figure 19 : Position des câbles sous-marins en Manche (pour les télécommunications de France Télécom et KingFisher, Image GoogleEarth©, créée le 12 février 2009).

Suite à la diminution des possibilités d'extraction de granulats terrestres et aux besoins constants de la construction et du bâtiment et des travaux publics, les industriels se sont tournés vers les granulats marins. Les extractions actuelles en France fournissent huit millions de tonnes par an dont le quart est assuré par les concessions en mer en Manche (Delsinne, 2009). Il faut noter que l'emploi de cette ressource par la France est faible par rapport à nos voisins britanniques : 1,2 % de la production française contre 15,3 %, au Royaume-Uni (Anonyme, 2007). L'Ifremer évalue les ressources en matériaux marins (des sables aux graviers) à 149 milliards de m³ pour la partie française de la Manche-Est². Et, à l'heure actuelle de nombreuses demandes de concessions sont en cours, tant du côté anglais que du côté français (Figure 20).

² http://wwz.ifremer.fr/drogm/ressources_minerales/materiaux_marins/inventaire_des_ressources, page consultée le 19 octobre 2009.

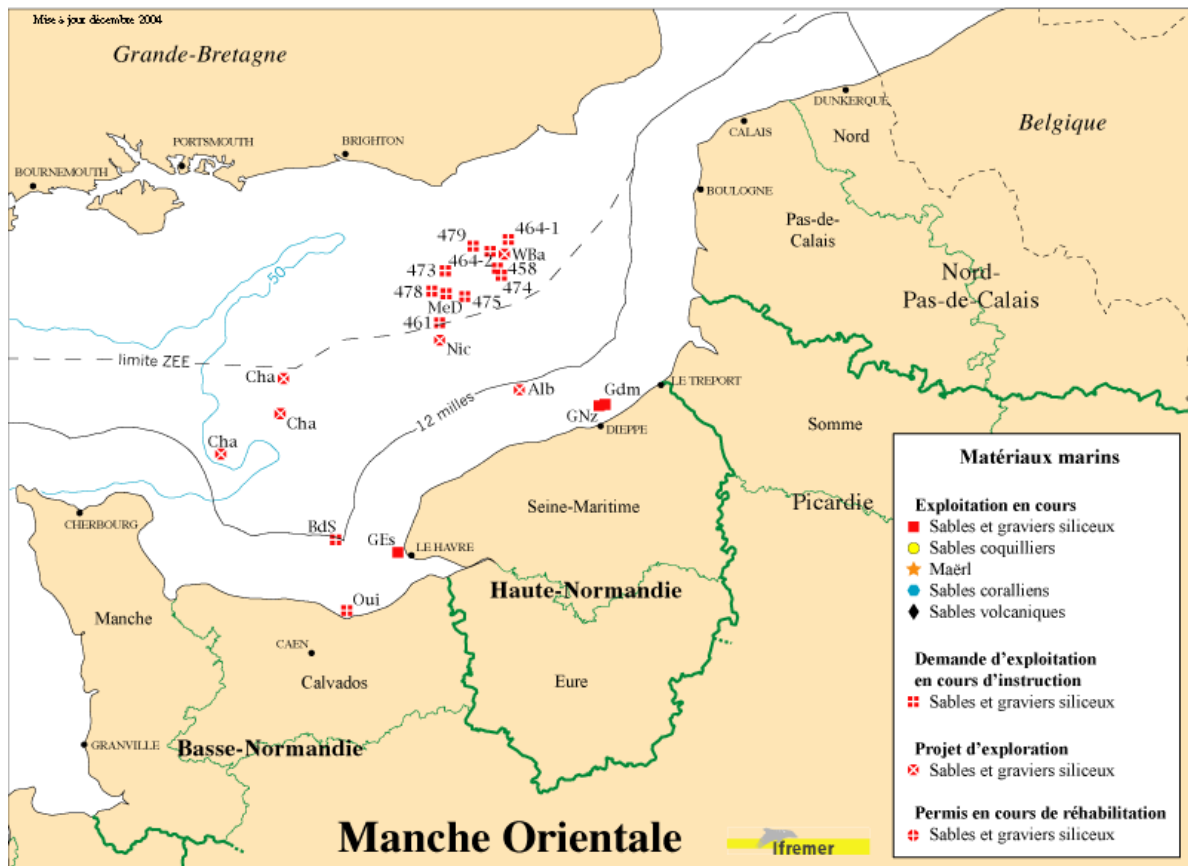


Figure 20 : Localisation des zones d'extraction de granulats marins en Manche orientale (d'après IFREMER ; http://www.ifremer.fr/drogm/media/drogm/ressources_minerales/granulats_marins, consulté le 13/08/09).

La méthode employée pour le dragage des granulats conditionne les possibilités de restructuration des fonds. Ainsi, l'extraction « en un point fixe » a un effet plus néfaste que l'extraction « par aspiration en marche » (c'est-à-dire pendant que le bateau fait route) car elle crée de grands puits dans lesquels des conditions asphyxiantes sont générées, empêchant toute recolonisation (Alzieu, 2000). Plus le dragage est intensif, plus les communautés benthiques seront affectées. La remise en suspension de particules fines peut aussi perturber les communautés benthiques. La durée de la recolonisation de ces milieux est fonction de l'état d'équilibre des communautés impactées et de l'état de perturbation du milieu après le dragage (Desprez, 2000).

En France, l'utilisation de l'énergie nucléaire est développée depuis de nombreuses années. Trois centrales sont présentes sur la façade Manche-mer du Nord (Figure 21).

Le rejet dans le milieu marin des eaux de refroidissement, réchauffées et chlorées, des centrales nucléaires crée des taches thermiques chaudes qui favorisent l'installation d'espèces plus thermophiles et stimulent le développement bactérien (Naylor et Frederick, 1965, Bamber et Spencer, 1984, Bamber, 1990). De plus, lorsque les zones d'échauffement permanent sont vastes, le benthos subit les effets de ce réchauffement ; il s'ensuit en effet des déficits importants en biomasse (Dewarumez, 1990). Enfin, certains compartiments benthiques peuvent s'avérer sensibles à la chloration des eaux de refroidissement, cette dernière servant à empêcher la colonisation des canalisations par des espèces marines (Le Fèvre-Lehoërff *et al.*, 1997). En accord avec le protocole de Kyoto, pour réduire la dépendance vis-à-vis du pétrole, diversifier les sources d'énergie et renforcer la lutte contre l'effet de serre, la directive 2001/77/CE du 27 septembre 2001 qui en découle fixe à 12% minimum le quota d'énergie propre à atteindre pour les pays membres d'ici à 2010

(Anonyme, 2007). C'est dans ce cadre qu'un parc éolien offshore au large de la côte d'Albâtre (Veulettes-sur-Mer) devrait voir le jour en 2010 (21 éoliennes d'une puissance totale installée de 105 MW). Des projets existent également le long des côtes anglaises (Figure 21) et françaises (Dunkerque, Le Tréport, Penly).

Ces installations sont susceptibles d'avoir des impacts sur le milieu marin, qu'il soit benthique subtidal ou intertidal ou qu'il soit pélagique, et sur les milieux terrestres littoraux (DIREN, 2003a, 2003b). La zone subtidale est soumise à de nombreux facteurs physiques qui peuvent occasionner des contraintes à l'implantation de telles structures. Mais ces dernières peuvent aussi perturber le milieu via une destruction des communautés benthiques en place lors de l'implantation des embases des éoliennes et des câbles sous-marins utilisés pour le transport de l'électricité à terre (Köller *et al.*, 2006, Wilhelmsson et Malm, 2008), un effet sur la courantologie et sur la dynamique sédimentaire (accentuation des dépôts sédimentaires ou de l'érosion) durant la phase d'installation et durant la phase d'exploitation (Besio et Losada, 2008, Broström, 2008), des perturbations sonores et électromagnétiques susceptibles d'avoir des répercussions sur les populations d'ichtyofaune, de mammifères marins et d'oiseaux (Köller *et al.*, 2006, Kikuchi, 2010), ou tout simplement des risques de collision avec les oiseaux par exemple (Exo *et al.*, 2003, Garthe et Hüppop, 2004, Desholm et Kahlert, 2005, Fox *et al.*, 2006, De Lucas *et al.*, 2007).

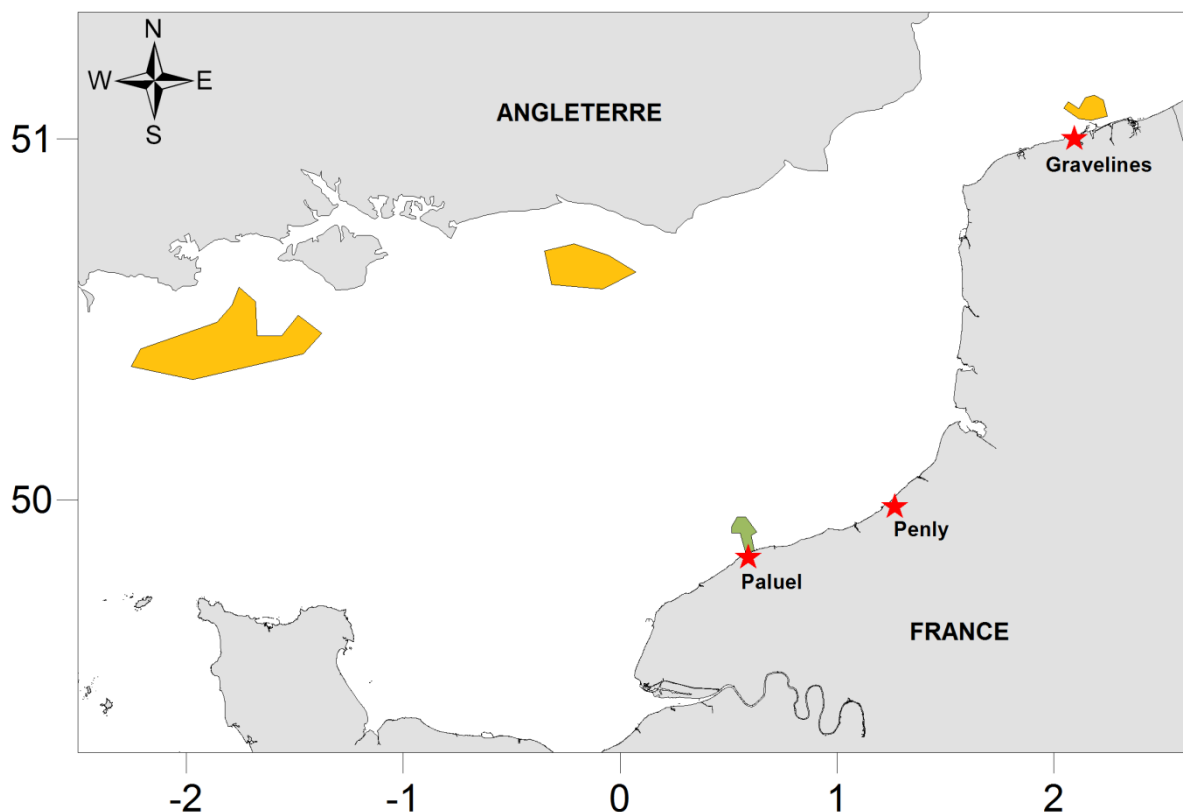


Figure 21 : Position des trois centrales nucléaires (représentées par les étoiles rouges) sur la façade Manche-mer du Nord et des champs d'éoliennes en Manche (en vert, ceux en construction ; en orange, ceux envisagés) ; coordonnées en degrés décimaux.

Parallèlement à ces perturbations anthropiques, des perturbations naturelles peuvent être mises en évidence. En se limitant aux changements climatiques, quatre grands types de perturbations cycliques entraînant des modifications des peuplements sont identifiables : les perturbations périodiques, les perturbations climatiques pluriannuelles affectant de façon plus importantes les organismes si elles ont lieu au printemps, les perturbations climatiques hivernales touchant particulièrement les communautés côtières, les perturbations

météorologiques exceptionnelles comme les tempêtes qui bouleversent la surface des sédiments et modifient les communautés (Glémarec, 1979, Dauvin, 1993, Le Bot *et al.*, 2000, Idier *et al.*, 2002).

Actuellement, les scientifiques ont des difficultés à prédire et à détecter les effets des changements climatiques, en particulier sur les communautés benthiques, car le milieu marin est très dispersif (Bhaud *et al.*, 1995, Hiscock *et al.*, 2004, Schiel *et al.*, 2004, Kirby et Beaugrand, 2009). Le quatrième rapport de synthèse du GIEC (Pachauri et Reisinger, 2007) dresse un bilan des changements climatiques observés et des effets constatés. Ainsi, il a déjà été noté une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère et de l'océan, une fonte des glaces et une hausse du niveau des mers. Ceci entraîne des modifications de la répartition des précipitations et des températures à l'échelle du globe, d'où des changements dans les systèmes climatiques régionaux. L'augmentation des événements météorologiques exceptionnels (tempêtes, cyclones) serait peut-être également liée à ce changement climatique. Certaines des perturbations induites sont prévisibles. Par exemple, il devrait y avoir une augmentation des apports en matière en suspension dans les zones côtières qui auront des précipitations plus intenses (ce qui ne devrait pas être le cas partout en France), d'où des modifications des communautés macrobenthiques en place. D'autre part, les conditions météorologiques exceptionnelles amèneront à des mouvements sédimentaires qui pourraient être de grande ampleur (notamment des mouvements de dunes sous-marines). Ces déplacements sédimentaires provoqueront des modifications sur les communautés en place (passage de communautés à épibiose sessile riches à des communautés de sable, plus pauvres par exemple). Sur le long terme, le déplacement des isothermes pourrait modifier la répartition des espèces, ce qui induirait un changement dans la capacité de résilience des écosystèmes. L'augmentation des concentrations de CO₂ dans les océans aura également des conséquences sur l'acidification de ces derniers et influera sur les organismes contenant du carbonate de calcium (Orr *et al.*, 2005).

I.4. Contexte de l'étude : le projet européen CHARM

Le projet CHARM (Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche orientale) est un projet de recherche franco-britannique d'une durée de cinq ans (phases I et II), cofinancé par l'Union Européenne (à travers les fonds INTERREG IIIa), la région Haute-Normandie et le 'Government Office for the South-East (GOSE)'. Les deux premières phases du projet ont réuni des équipes de chercheurs de différentes institutions : l'université du Kent, l'université de Canterbury et le CEFAS (Centre scientifique sur l'environnement, la pêche et l'aquaculture) pour le côté britannique ; l'ULCO (Université du Littoral Côte d'Opale), l'Université Lille 1 et l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) pour le côté français.

Ce projet a pour but de développer un système de gestion intégrée pour l'évaluation des ressources marines vivantes, des espèces clés et de leur habitat en Manche orientale.

Deux phases ont déjà eu lieu :

- la première, de 2004 à 2005, avait pour cadre géographique la Manche orientale et en particulier le détroit du Pas de Calais pour le benthos. Ce secteur était jugé prioritaire car c'est une zone économique importante pour de nombreuses activités, et donc une source de conflits d'usage. Au cours de cette première phase, l'intégration des données issues des domaines benthiques et halieutiques a permis la publication d'un atlas (Carpentier *et al.*, 2005), téléchargeable sur le site <http://charm.canterbury.ac.uk>).

- la seconde phase, de 2006 à 2008, a poursuivi et prolongé les objectifs initiaux du projet : (1) en intégrant l'information collectée pendant les phases I et II dans des modèles d'écosystèmes et de planification étendus à toute la Manche orientale ; (2) en

présentant les résultats aux utilisateurs potentiels de la région éligible d'INTERREG donnant lieu à commentaires et débats ; (3) en distribuant les résultats à une plus large audience grâce à un atlas interactif en ligne. Elle a eu un cadre géographique différent de la première phase : l'ensemble du bassin oriental de la Manche et en particulier la Manche orientale pour le benthos. Comme pour la phase I, la mise en commun de données biologiques (essentiellement sur le benthos et l'ichtyofaune, mais aussi sur le plancton) a permis de dresser des cartes d'habitats préférentiels des ressources biologiques de la Manche. De plus, la seconde phase du projet a aussi vu le développement des outils de modélisation des réseaux trophiques, la prise en compte des pêcheurs (du point de vue anthropologique), la comparaison des législations des pêches. Tout ceci a apporté des éléments complémentaires de connaissances pour la compréhension de cet écosystème et le développement d'outils de gestion durable des ressources halieutiques. Un atlas papier a été publié (Carpentier *et al.*, 2009) et un atlas interactif en ligne est disponible à l'adresse suivante <http://www.ifremer.fr/charm/>.

- la phase 3 (2009-2012) a commencé. « En s'appuyant fortement sur les résultats obtenus pendant les phases précédentes, la phase 3 du projet CHARM a pour objectif d'accentuer la nature pluridisciplinaire des travaux au travers d'une approche écosystémique, c'est-à-dire une approche « intégrée » de la gestion des ressources marines (vivantes, minérales, humaines). De ce fait, la zone d'étude est étendue à toute la Manche et le sud de la mer du Nord et de nouvelles expertises (ex. économie, changement climatique) sont introduites dans l'équipe CHARM » (extrait du dossier de présentation de CHARM3).

I.5. Problématique et objectifs

Les travaux de Holme (1961, 1966) et de Cabioch et ses collaborateurs (1971-1976) ont fondé les bases de la connaissance des communautés benthiques subtidales à l'échelle de la Manche. En raison de l'accroissement des pressions en Manche orientale et de l'observation de modifications importantes des communautés benthiques à des échelles locales (phase I du projet CHARM, zone des Ridens), il a paru indispensable de dresser un nouvel état des lieux des communautés macrobenthiques dans le bassin oriental de la Manche au début du 21^{ème} siècle, trente ans après les travaux de référence de Cabioch et ses collaborateurs (1971-1976). Plusieurs questions ont alors été posées : quelles sont les communautés benthiques aujourd'hui rencontrées en Manche ? Ont-elles évolué ? Si oui, où et pourquoi ? Comment se caractérise la diversité de ces communautés ? Comment évoluent-elles le long du gradient sud-ouest / nord-est formé par le « corridor » Manche ? Y a-t-il eu arrivée et /ou disparition d'espèces ? Dans une vision de gestion intégrée des écosystèmes, peut-on modéliser les habitats potentiels des espèces caractéristiques des communautés ?

Après une description du site d'étude, de la stratégie d'échantillonnage, de la méthodologie employée et des analyses de données effectuées (Chapitre II), la couverture sédimentaire actuelle de la Manche est décrite, ainsi que son évolution au cours des trente dernières années (Chapitre III).

L'étude des communautés macrobenthiques qui y sont associées est ensuite présentée (chapitre IV) au travers de plusieurs points : (1) l'utilisation de plusieurs outils afin d'obtenir une image à méso-échelle des communautés benthiques dans les années 1970 et dans les années 2000 ; (2) la comparaison des images et l'évolution qui en ressort et (3) la description plus précise des communautés de sédiments grossiers, qui dominent largement en surface dans cette partie du bassin oriental de la Manche. En effet, une part importante de la présente étude est consacrée à l'épibiose sessile, qui caractérise les fonds grossiers,

majoritaires dans le bassin oriental de la Manche. L'épibiose sessile est constituée de l'ensemble des organismes animaux (épifaune) ou végétaux (épiflore) fixés en permanence sur un substrat dur (les cailloutis, graviers et coquilles sont ici considérés comme un substrat dur pour ces organismes). Ces espèces forment un compartiment du benthos, considéré comme un bon intégrateur des stress environnementaux car les espèces sont sédentaires et longévives (Dauvin, 1993). Cependant, ce compartiment benthique est souvent négligé. Son étude était intégrée dans les travaux de Cabioch et collaborateurs ; mais la synthèse des résultats n'est pas encore disponible. C'est donc ici le premier travail qui renseigne sur les organismes de l'épifaune sessile à l'échelle du bassin oriental de la Manche. Il est à noter que les classifications actuelles sur les habitats benthiques, type EUNIS, utilisent dans leurs premiers niveaux de classement l'épibiose sessile (notamment celle qui est visible par des acquisitions vidéo). Il est donc apparu intéressant de montrer dans ce travail l'importance que prend ce compartiment dans la description des communautés benthiques de la Manche et de définir précisément les distributions géographiques des espèces principales.

Le chapitre V est dédié à l'étude de la diversité rencontrée dans le bassin oriental de la Manche, que ce soit sur l'ensemble de cette aire ou par communauté, et à son évolution. Un récent colloque sur la biodiversité, tenu à Valence en novembre 2008 (*World Conference on Marine Biodiversity*, 11-15 novembre 2008, Cité des Arts et des Sciences, Valencia, Spain), a montré comment la communauté scientifique s'intéresse au plus haut point aux relations entre la biodiversité et les impacts anthropiques. A l'issue de cette conférence, une déclaration écrite a mis en relief les faits suivants :

- la biodiversité marine revêt une importance fondamentale tant pour le fonctionnement de la biosphère que pour le bien-être humain ;
- le rythme et l'ampleur des changements anthropiques qui s'opèrent dans les océans sont une source d'inquiétude, notamment par rapport aux impacts qu'ils ont sur la biodiversité marine ;
- la recherche sur la biodiversité marine, encore insuffisante, doit être renforcée et promue afin de fournir les connaissances de base nécessaires pour l'élaboration des plans de gestion ;
- tous les programmes de gestion (stocks de poissons, aires marines protégées...) doivent être renforcés (et de nouveaux doivent être créés), à la fois à l'intérieur et dehors de la juridiction nationale.

Toutes ces observations et recommandations ont pour trame le fait que la diversité dans les océans fournit de nombreux services (Daily, 1997, Costanza, 1999), tant à l'échelle mondiale (production d'oxygène, cycle des nutriments, capture du carbone par photosynthèse ou par la pompe biologique...) qu'à l'échelle régionale (stabilisation des côtes, biorestauration des déchets, usages esthétiques et culturels...). Economiquement, les services rendus par l'écosystème marin ont une valeur au moins deux fois supérieure à l'extraction directe des ressources marines [poissons et autres espèces, (Daily, 1997, Costanza, 1999)]. Les activités anthropiques menacent cette biodiversité et par là même le fonctionnement, la viabilité et la résilience des écosystèmes marins. Malgré ces menaces, moins de 1% des océans est actuellement protégé ; or, il a été montré que la présence des zones protégées renforce les capacités de résistance aux perturbations des écosystèmes.

Le volet descriptif de ce travail (chapitres III et IV) s'accompagne également d'un volet prédictif (chapitre VI). En effet, des cartes d'habitats potentiels ont été modélisées, pour les espèces caractéristiques de communautés (Vaz *et al.*, 2008b, CHARM II, 2009). La modélisation d'habitat sert en effet à relier la distribution géographique d'une espèce avec les facteurs environnementaux tels que la température, la salinité, la couverture sédimentaire... et ainsi à définir son habitat optimal. A terme, il pourra être possible

d'appliquer des scénarii d'évolution climatique à ces mêmes modèles pour observer les changements qui s'opéreraient alors sur les communautés benthiques.

En résumé, les objectifs de cette étude, qui vise à déterminer la distribution des sédiments et des espèces au début du XXIème siècle à travers une campagne d'échantillonnage dans le bassin oriental de la Manche sont :

- (i) d'utiliser les résultats de la campagne pour produire une carte récente de la couverture sédimentaire,
- (ii) de mener des analyses statistiques sur les données de faune macrobenthique pour identifier les assemblages benthiques primaires,
- (iii) de déterminer les associations entre les principaux assemblages benthiques et les différents types sédimentaires,
- (iv) de comparer les données récentes avec les travaux historiques de Cabioch et ses collaborateurs pour déterminer si des changements sont observables entre les deux périodes,
- (v) d'évaluer la diversité biologique de la zone,
- (vi) d'utiliser la modélisation pour mettre en évidence les habitats potentiels d'une sélection d'espèces clefs pour l'écosystème.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Les campagnes d'échantillonnage

La zone d'étude comprend le bassin oriental de la Manche et le sud de la mer du Nord, tous les prélèvements ayant été effectués entre 49°30'000 N et 51°18'000 N et entre 0°46'000 W et 2°30'010 E.

Les prélèvements ont été effectués au cours de six campagnes : une correspondant à une grille régulière (le programme MABEMONO) et cinq correspondant à des zones de plus forte densité d'échantillonnage (Ridens, Modioles et états biosédimentaires initiaux).

II.1.1. Le programme MABEMONO

Trente ans après l'étude menée par Cabioch et ses collaborateurs, une nouvelle caractérisation des communautés macrobenthiques du bassin oriental de la Manche a été initiée à la Station Marine de Wimereux dans le cadre du programme MABEMONO (acronyme pour MACroBenthos de la Manche orientale et du sud de la mer du Nord).

La zone prospectée est comprise entre la longitude de 0° et la frontière belge, aussi bien dans les eaux françaises que les eaux anglaises, plus exactement de 0° à 2°30'010 de longitude Est et de 49°30'000 à 51°18'000 de latitude Nord (Figure 22). L'échantillonnage a fait l'objet d'importantes campagnes de prélèvements, à bord du N/O *Côtes de la Manche* (Figure 23), qui s'est déroulée sur 37 jours répartis en 12 missions : du 10/02/06 au 12/02/06 (45 stations), le 12/03/06 (3 stations), le 29/03/06 (12 stations), le 03/04/06 (8 stations), du 22/04/06 au 30/04/06 (59 stations), du 28/05/06 au 31/05/06 (38 stations), le 13/07/06 (6 stations), du 17/07/06 au 22/07/06 (68 stations), du 21/09/06 au 24/09/06 (30 stations), du 03/11/06 au 05/11/06 (23 stations), le 02/05/07 (1 station) et du 27/08/07 au 29/08/07 (22 stations). Cet échantillonnage est de type régulier (une station tous les 5' en latitude et en longitude). Cependant, le secteur des bancs sableux des Flandres (partie sud de la mer du Nord) ainsi que les bancs sableux du sud du détroit du Pas de Calais ont fait l'objet d'un échantillonnage plus fin (Figure 22). Sur les 316 stations prévues de la grille régulière, une seule station n'a pas pu être échantillonnée (trop faible profondeur d'eau et proximité d'un banc de sable ne permettant pas au N/O «Côtes de la Manche» de s'y rendre). La profondeur des points échantillonnés varie entre -3,66 et -63,52 m.

La benne Hamon a été utilisée sur 239 des 315 stations échantillonnées (Figure 24), dont la surface de prélèvement est de 0,25 m² (Dauvin, 1979, Eleftheriou et Holme, 1984). Cet engin a été choisi pour plusieurs raisons :

- il est capable de travailler des sédiments fins (vases et sables) jusqu'aux sédiments les plus grossiers (graviers, voire cailloutis) ;
- il a été utilisé lors de différentes études en Manche au cours desquelles il a permis d'obtenir une bonne représentation de la biodiversité locale, notamment en échantillonnant les espèces d'endofaune les plus profondes [à 10 cm sous l'interface eau / sédiment (Dauvin, 1979, Thiébaud, 1994, Warembourg, 2000, Ghertsos, 2002, Barnay, 2003)] ;
- il permet d'obtenir des données quantitatives (nombre d'individus et biomasses par unité de surface), nécessaires pour l'intégration des données dans la modélisation des réseaux trophiques (Garcia, en cours).

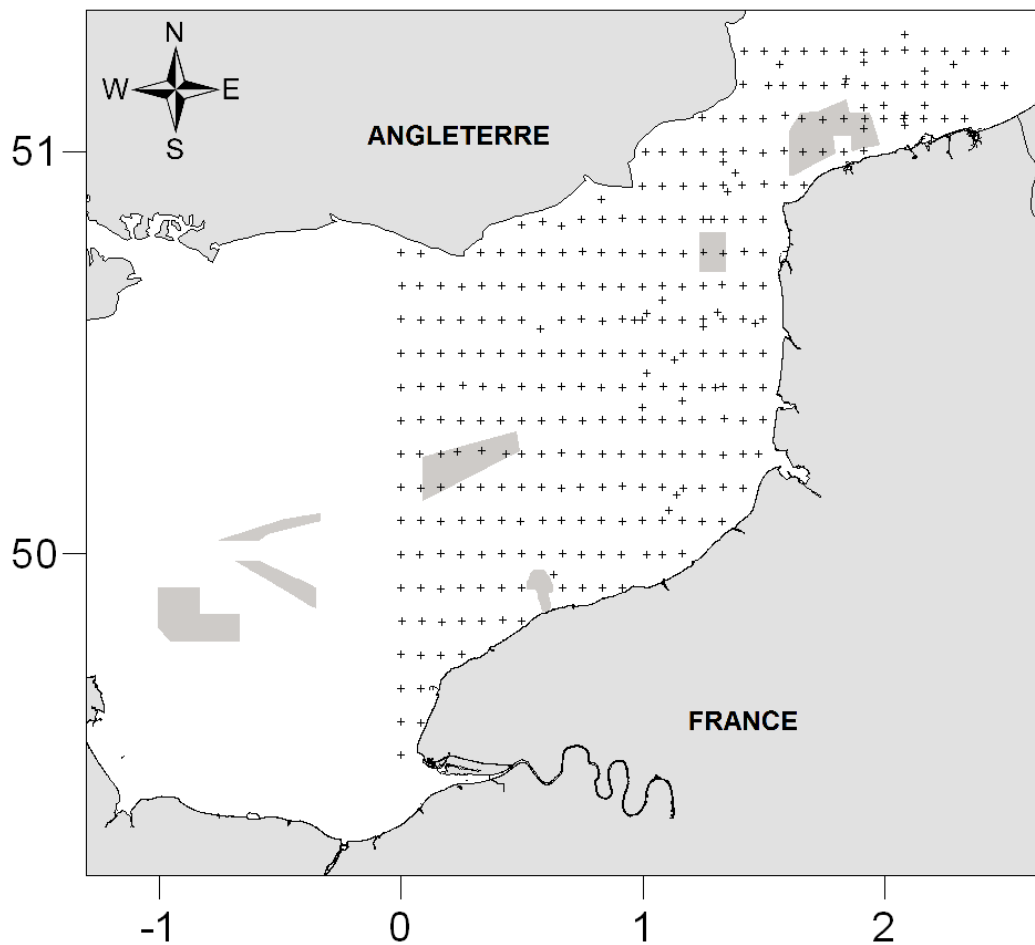


Figure 22 : Localisation des stations échantillonnées en Manche au cours des missions en mer (croix : stations de la grille régulière ; zones grisées : zones sur lesquelles la prospection a été plus intense) ; coordonnées en degrés décimaux.



Figure 23 : Navire océanographique *Côtes de la Manche* utilisé lors des campagnes MABEMONO.

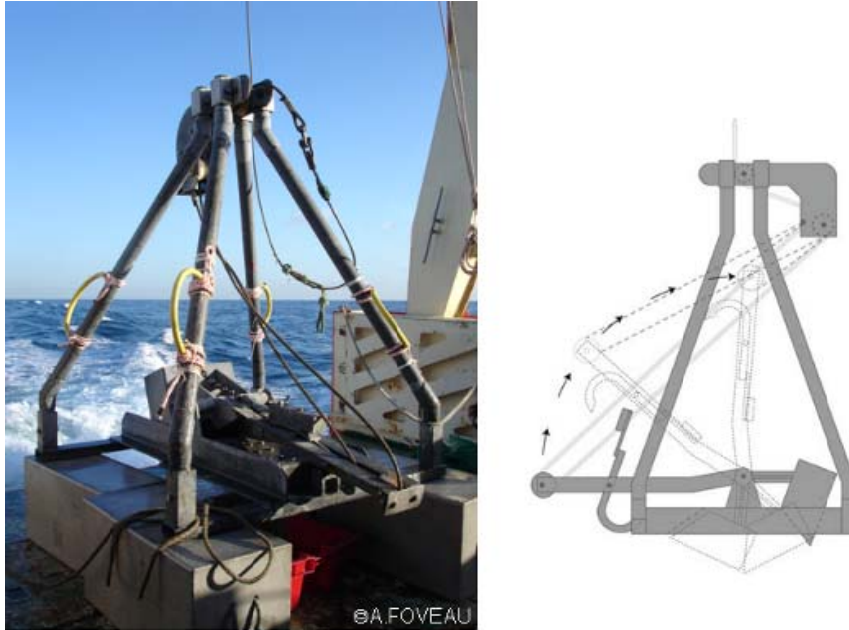


Figure 24 : Benne Hamon et schématisation de son déclenchement (Dauvin, 1979).

Par station, trois répliquats ont été réalisés : un premier pour une analyse granulométrique, les deux autres pour une analyse de la faune benthique. Il a déjà été démontré que deux prélèvements à la benne Hamon par station sont nécessaires et suffisants pour caractériser cette dernière tant pour les espèces dominantes, que pour la richesse spécifique, les abondances et les biomasses (Thiébaud *et al.*, 1997). Pour les analyses, les deux répliquats ont donc été poolés. La surface unitaire par station est donc de 0,5 m² si on considère la surface échantillonnée par benne égale à 0,25 m² malgré que le volume prélevé a varié d'une station à l'autre de 1 à 70 L avec une moyenne à 28,7 L, ce qui correspond à une surface d'échantillonnage moyenne de 0,29 m² d'après l'abaque défini par Dauvin (1979).

Pour 79 des stations échantillonnées à la benne Hamon (soit environ une station sur quatre), une benne Van Veen a également été mise en œuvre (Figure 25). Des prélèvements n'ont toutefois pu être ramenés que pour 59 d'entre elles ; la benne n'ayant pas réussi à fonctionner sur les types sédimentaires rencontrés aux autres stations. C'est un engin quantitatif qui échantillonne sur 0,1 m². La benne Van Veen employée est dite « à long bras », pèse 70 kg et est modifiée par l'augmentation de la taille des fenêtres afin de diminuer l'effet de souffle (modification faite à la Station Marine de Wimereux). Cet engin a été employé pour permettre une intercalibration future avec le North Sea Benthos Project. Ces prélèvements n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Lorsque l'utilisation de la benne Hamon s'avérait impossible (sédiments trop grossiers), la drague Rallier du Baty (Figure 26) a été employée (76 stations des 315 stations échantillonnées), conformément aux recommandations de la norme ISO 16 665 (AFNOR, 2005). Cet engin est qualifié d'échantillonneur semi-quantitatif, car il est traîné sur le fond sur une surface difficilement déterminable ; la façon dont il travaille dépendant de la nature des fonds. La drague est traînée sur le fond pendant 5 à 10'. Le volume standard de l'échantillon, retenu par Cabioch et ses collaborateurs pour les sédiments de la Manche, était de 30 L de sédiments. C'est ce même volume qui a été retenu ici. Lorsque ce volume n'était pas atteint au premier trait, un second trait était réalisé au même endroit pour obtenir un volume minimal total de 30 L.

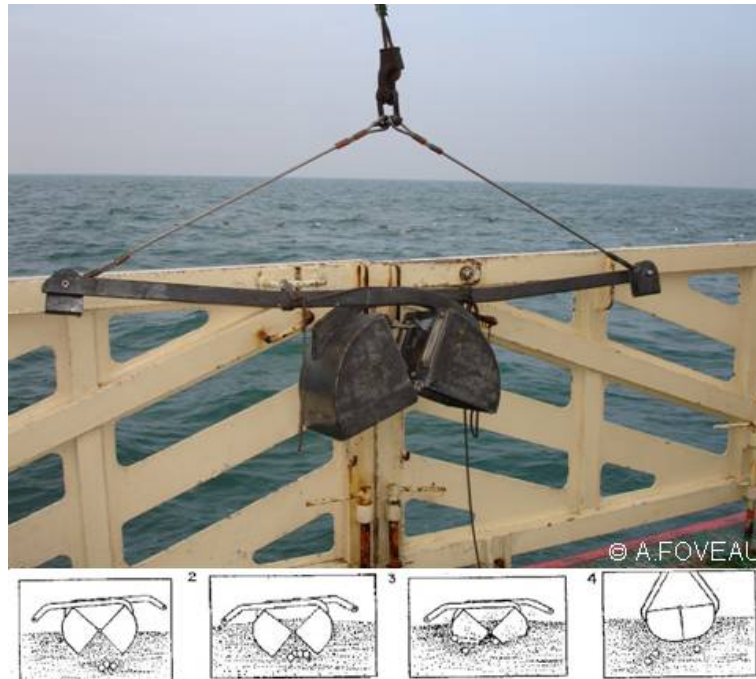


Figure 25 : Benne Van Veen et schématisation de son déclenchement suivant les étapes 1 à 4 (Wigley, 1967).



Figure 26 : Drague Rallier du Baty.

Pour chaque prélèvement, des données ont été recueillies et consignées dans des fiches de mer (Figure 27) : coordonnées du point de prélèvement (ou du virage et du filage pour la drague Rallier du Baty) relevées avec un GPS différentiel Sercel NR 58, température et salinité de sub-surface, profondeur, observations. Une photographie a également été prise sur les prélèvements destinés à l'analyse faunistique.

Station :	
Date :	Heure (TU) :
Latitude :	Longitude :
Profondeur brute :	Profondeur corrigée :
Engin utilisé :	Volume prélevé :
Température (°C) :	Salinité (PSU) :
Observation sur le sédiment et le peuplement :	

MABEMONO 2006

Station :	
Date :	Heure (TU) :
Latitude :	Longitude :
Profondeur brute :	Profondeur corrigée :
Engin utilisé :	Volume prélevé :
Température (°C) :	Salinité (PSU) :
Observation sur le sédiment et le peuplement :	

Figure 27 : Fiche de mer type.

A bord, un double tamisage a été effectué : premièrement sur un tamis à vide de maille circulaire de 2 mm (vide de maille également utilisé par Cabioch et ses collaborateurs dans les années 1970), deuxièmement sur un tamis à vide de maille circulaire de 1 mm (la limite inférieure pour la macrofaune établie par Mare en 1942). Les prélèvements ont été fixés au formol neutralisé à 3 % minimum (en fonction des taxa rencontrés).

II.1.2. Les campagnes à forte densité d'échantillonnage

Parallèlement à cet échantillonnage selon une grille régulière à large échelle avec un maillage large, des missions ont été effectuées sur des zones plus restreintes dans le bassin oriental de la Manche. Ces zones correspondent à des aires pour lesquelles des observations de modifications locales ont été rapportées ou à des zones d'états biosédimentaires initiaux, réalisés pour le compte d'industriels, qui sont donc des zones susceptibles de subir des modifications à court ou moyen terme.

- ✓ Le haut-fond des Ridens, au large de Boulogne-sur-Mer

Suite à des observations effectuées par des plongeurs et des pêcheurs, qui rapportaient des modifications de la sédimentologie des fonds, la zone du haut-fond des Ridens a été échantillonnée finement (Garcia, 2006). Elle est intégralement incluse dans un « carré » géographique de 5' par 5' entre 50°42'500 N et 50°47'500 N et 1°15'000 E et 1°20'000 E (Figure 28). A cette échelle, un sous-quadrillage régulier de 24 points a été réalisé afin de couvrir totalement la zone. L'échantillonnage a été effectué au cours de deux

missions, à bord du N/O *Côtes de la Manche* : le 05/02/06 (16 stations) et le 30/04/06 (8 stations). La bathymétrie de ces stations était comprise entre - 18,13 et - 48,47 m.



Figure 28 : Localisation géographique des 24 stations du haut-fond des Ridens.

La benne Van Veen a été employée sur 16 stations : pour chacune, six prélèvements ont été effectués (un pour l'analyse granulométrique et cinq pour l'analyse de la macrofaune benthique). Sur huit stations, situées à l'est de la zone, l'emploi de cet engin s'est révélé impossible : la drague Rallier du Baty a donc été utilisée. Un double tamisage a été réalisé, comme pour les missions MABEMONO, avant une fixation au formol neutralisé à 3 % minimum.

✓ La campagne MODIOLES

Cette campagne a été initiée dans le cadre de la phase I du projet CHARM et a servi d'étude préalable au programme MABEMONO, sur une zone localisée au large de Calais (Alizier, 2005, Foveau, 2008). L'échantillonnage a été réalisé à bord du N/O *Sepia II* (Figure 29) au cours de 5 missions : le 30/03/04 (4 stations), le 31/03/04 (16 stations), le 01/04/04 (10 stations), le 15/04/04 (9 stations) et le 16/06/04 (7 stations).



Figure 29 : Navire océanographique *Sepia II* utilisé lors de la campagne MODIOLES.

Une grille de 46 stations, dont la bathymétrie varie entre -26 et -52 m, a été définie sur la base de celle établie par Cabioch et ses collaborateurs lors des campagnes RCP « Benthos de la Manche » effectuées entre 1972 et 1976 (Figure 30).

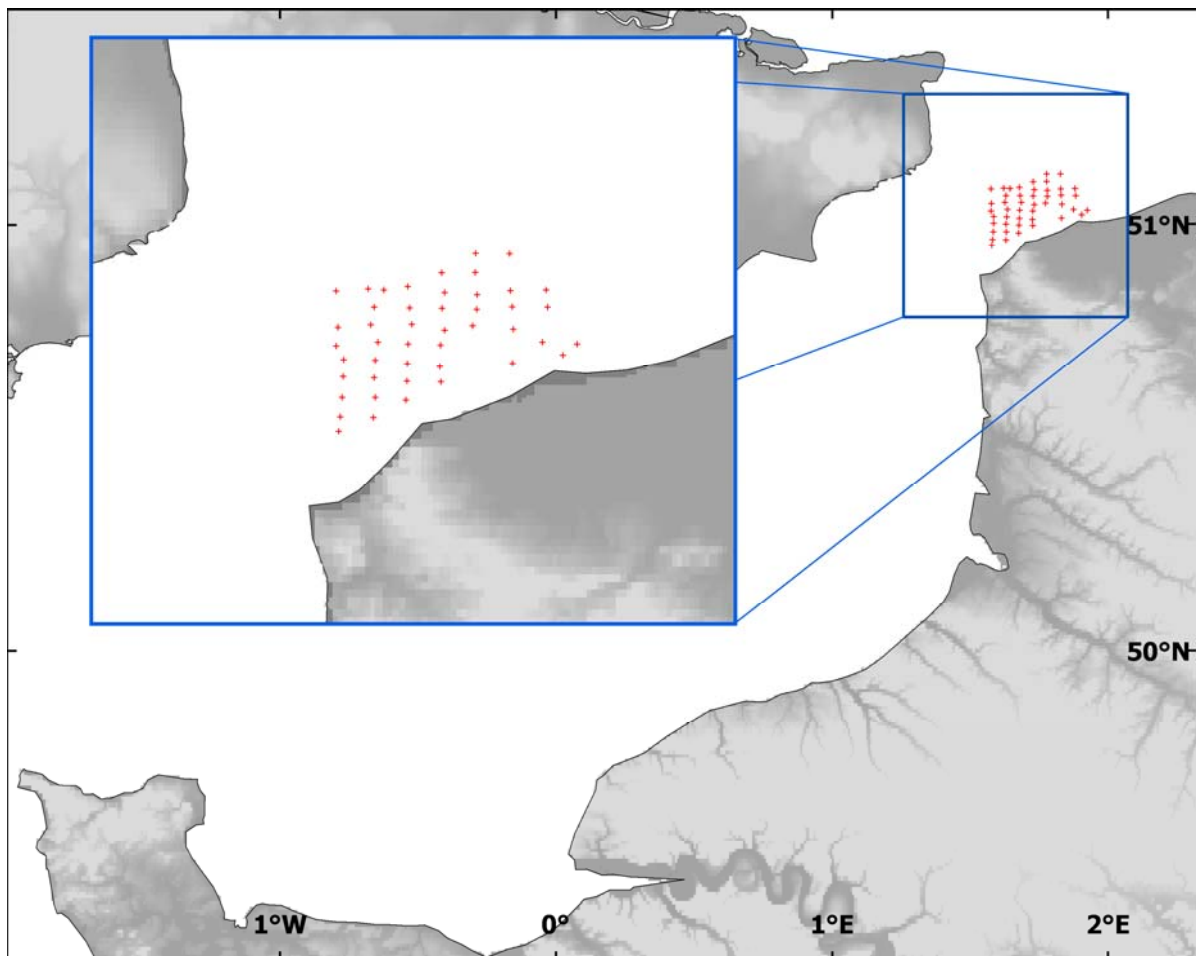


Figure 30 : Localisation des stations échantillonnées au cours de la campagne MODIOLES.

Les cailloutis, occupant la plus grande partie des fonds étudiés, empêchent l'utilisation d'un engin de prélèvement quantitatif (benne ou carottier). La drague Rallier du Baty a été retenue pour l'échantillonnage de ces fonds grossiers, conformément aux recommandations de la norme ISO 16 665 (AFNOR, 2005). Le volume échantillonné étant de 30 L, une fraction du prélèvement est réservée à l'analyse granulométrique.

Les prélèvements ont été tamisés sur un tamis à vide de maille circulaire de 2 mm, avant d'être fixés au formol neutralisé à 10%.

✓ Les états biosédimentaires initiaux

○ La campagne EOVE (dans le cadre de l'étude d'impact environnemental de la Centrale Eolienne Côte d'Albâtre)

Cette zone, située au large des côtes du Pays de Caux, correspond à un futur parc éolien qui devrait être mis en service en 2011. L'échantillonnage a été effectué à bord du N/O *Côtes de la Manche* au cours de deux missions : le 04/02/06 (3 stations) et le 29/03/06 (10 stations ; Figure 22). La profondeur moyenne de la zone échantillonnée est de - 23 m de profondeur. Les fonds de cette zone sont occupés par des cailloutis très grossiers, imposant l'utilisation de la drague Rallier du Baty comme engin de prélèvement. Le prélèvement a consisté en une prise de 30 L de sédiment (avec au maximum 3 traits en cas d'échec). 0,8 L du prélèvement ont été réservés à l'analyse granulométrique du sédiment. Un double tamisage a été réalisé, comme pour les missions MABEMONO, avant une fixation au formol neutralisé à 3 % minimum.

○ La campagne Saint-Nicolas (dans le cadre du PER³ Saint-Nicolas)

La campagne d'échantillonnage a eu lieu à bord du N/O *Côtes de la Manche* au cours d'une mission : du 22/04/06 au 24/04/06 (50 stations ; Figure 22). La profondeur moyenne de la zone est de - 40 m. Le mode opératoire appliqué pour cette campagne est défini par un protocole national, disponible sur le site internet de l'IFREMER⁴. La benne Hamon a été utilisée en priorité (en cas, d'échec, la drague Rallier du Baty était utilisée).

Le sédiment a été tamisé sur une table de tri métallique à maille circulaire de 1 mm. Les échantillons ont été fixés au formol neutralisé à 3 % minimum. Néanmoins, au laboratoire, un second tamisage a été réalisé sur un tamis à vide de maille circulaire de 2 mm et pour les groupes des annélides et des amphipodes (pour les autres groupes, il a été considéré que les individus étaient de taille supérieure à 2 mm), afin de permettre une comparaison avec les autres études.

○ Les campagnes BEMACE (dans le cadre du PER Manche orientale)

Le PER Manche orientale est situé sur les fonds marins du plateau continental du bassin oriental de la Manche, au nord de la baie de Seine, dans ce qui est communément appelé la Manche centrale, d'où le nom des campagnes menées pour cette étude : BEMACE, acronyme de BÉnthos de la MANche CÉntrale. Le nombre de stations pour l'étude du macrozoobenthos (44 stations dont 42 ont été échantillonnées à la fois en juin et en septembre ; c'est une moyenne des résultats de ces deux campagnes qui a été utilisé) a

³ PER : Permis Exclusif de Recherche

⁴ <http://www.ifremer.fr/drogm/Realisation/Miner/Sable/protocole.html>, consulté le 01 septembre 2009.

été choisi d'après la nature sédimentaire du fond de chacune des trois zones potentiellement exploitables qui constituent la zone du PER.

Deux campagnes en mer ont été organisées afin de visiter chacune des stations avant et après l'été pour tenir compte de la variabilité induite par le recrutement des principales espèces benthiques :

- BEMACE 1, à bord du N/O *Côte d'Aquitaine* (Figure 31) du 18/06/07 au 23/06/07 ;

- BEMACE 2, à bord du N/O *Côtes de la Manche* du 30/07/07 au 04/08/07.



Figure 31 : Navire océanographique *Côte d'Aquitaine* utilisé lors de la campagne BEMACE 1. Photographie de l'INSU.

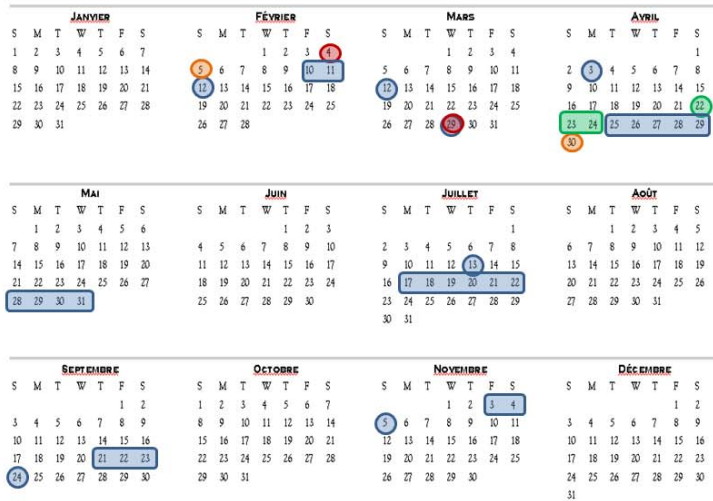
Trois échantillons à la benne Hamon ont été prélevés par station : tout d'abord deux répliqués pour l'étude de la macrofaune, puis un échantillon pour l'analyse granulométrique (au moins une pelle de tri de taille moyenne, soit environ 0,4 L, de sédiment et une autre d'eau si le sédiment s'était avéré vaseux). Un double tamisage a été effectué à bord. Les deux fractions (1 et 2 mm) ont été fixées au formol neutre à 10 %. Suite à deux échecs avec la benne Hamon, la drague Rallier du Baty a été utilisée pour certaines stations.

II.1.3 Bilan

Un calendrier récapitulatif des missions menées et utilisées dans le cadre de cette thèse est présenté à la Figure 32.

Afin de comparer ces données avec celles acquises par L. Cabioch et ses collaborateurs, seule la fraction 2 mm a été utilisée (le terme de macrobenthos de grande taille peut être employé). Si ce choix biaise en partie les estimations de la richesse spécifique et de l'abondance de la macrofaune benthique, il permet néanmoins de caractériser les communautés et ne biaise que très peu les données de biomasse puisque 95 % de la biomasse est mesurée sur la fraction supérieure à 2 mm (Ghertsov, 2002).

2006



2007

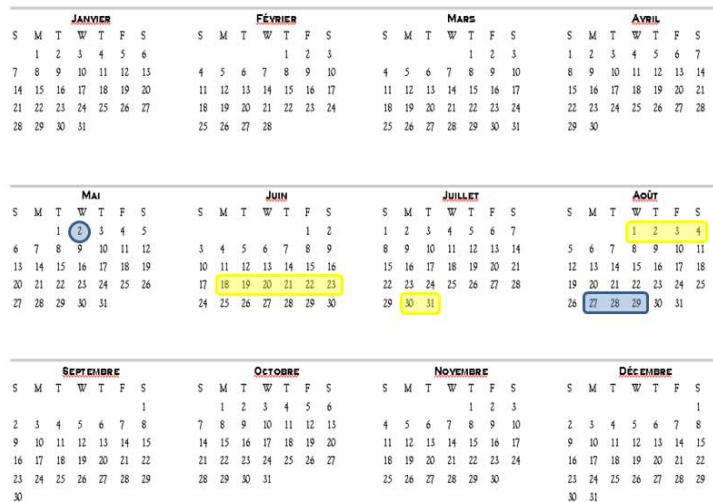


Figure 32 : Calendrier récapitulatif des missions menées et utilisées dans les analyses (en bleu : MABEMONO, en orange : les Ridens, en rouge : Veulettes, en vert : Saint-Nicolas et en jaune : BEMACE ; la campagne Modioles (2004) n'a pas été représentée).

Au total, les données biologiques des 461 stations échantillonnées auraient pu être disponibles pour cette étude. Mais, dans le temps imparti pour une thèse, il n'a pas été possible de trier et de déterminer la faune présente dans l'ensemble de ces stations. Des choix ont donc été faits à partir des résultats des analyses granulométriques effectuées quant à elles sur l'ensemble des stations. Au final, ce sont les données biologiques récoltées dans 318 stations qui ont été incorporées dans cette étude.

En plus des échantillons récoltés à la benne Van Veen, il reste les prélèvements de 143 stations récoltées à la benne Hamon au cours des campagnes MABEMONO qui sont

stockées à la Station Marine de Wimereux et dont la faune n'a pas encore été exploitée fin 2009 (Figure 33).

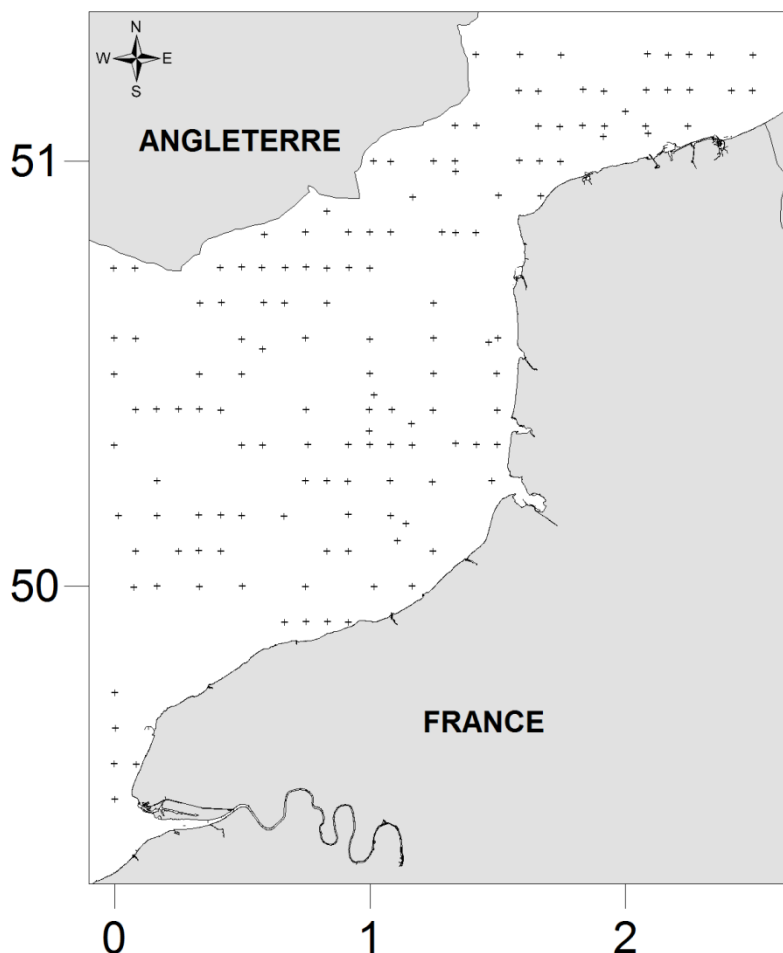


Figure 33 : Localisation des 143 stations MABEMONO échantillonnées à la benne Hamon et non encore dépouillées, au 1^{er} octobre 2009 ; coordonnées en degrés décimaux.

II.2. Le travail au laboratoire

II.2.1. Granulométrie

Après stockage en chambre froide, le sédiment doit être parfaitement dessalé avant d'être mis à sécher. En effet, toute trace de sel provoque par cristallisation des agrégats de grains de sable. Le sédiment a donc été rincé par trois lavages successifs à l'eau douce puis séché à l'étuve pendant 48 h à 110°C. Dans les cas où la teneur en particules très fines semblait élevée, le sédiment a d'abord été tamisé sur un tamis de vide de maille 50 µm. La fraction ainsi obtenue a ensuite été séchée et pesée à part. Les eaux de lavage ont été récupérées pour être décantées afin de mesurer les fines inférieures à 50 µm. Une série de 21 tamis de type AFNOR (allant de 5 cm à 50 µm de vide de maille, suivant une progression géométrique de raison $\sqrt[10]{10}$) a été utilisée (Tableau 1).

Tableau 1 : Série de tamis (de norme AFNOR) utilisés pour l'analyse granulométrique (classification d'après Larsonneur, 1971).

Classes	Maille (μm)
Galets et coquilles	50 000
	20 000
Graviers	5 000
Granules	2 000
Sables grossiers	1 600
	1 250
	1 000
Sables moyens	800
	630
	500
Sables fins	400
	315
	250
	200
Sablons	160
	125
	100
Sablons fins	80
	63
	50
Silts et argiles	0

Le sédiment a été passé manuellement sur les deux tamis de vide de maille de 50 à 20 mm. Pour les 18 autres tamis, un tamisage mécanique a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse numérique « AS200 digit » de la marque Retsch (Figure 34) en plaçant les tamis par ordre décroissant de vide de maille en trois colonnes vibrantes successives :

- tamis de 5 mm à 800 μm pendant 10 minutes.
- tamis de 630 μm à 200 μm pendant 20 minutes.
- tamis de 160 μm à 50 μm pendant 20 minutes.



Figure 34 : Tamiseuse "AS200 digit" utilisée.

Chaque refus de tamis a été pesé avec une balance Sartorius avec une précision de 0,01 g près.

La masse de la fraction inférieure à 50 µm a été calculée en additionnant la valeur de la pesée du sédiment ayant traversé le tamis de 50 µm lors du tamisage mécanique et la valeur de la pesée du sédiment recueilli par décantation lors du tamisage préalable effectué sur les sédiments envasés.

Les résultats ont ensuite été ramenés en pourcentage du poids total de l'échantillon. Pour chaque station, un histogramme de fréquence relative pondérale et une courbe cumulée de fréquence relative pondérale ont été établis.

II.2.2. Tri

De retour au laboratoire, les échantillons de sédiment contenant la macrofaune ont tout d'abord été rincés afin d'éliminer le fixateur (formol). Les échantillons ont été rincés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin d'éviter toute dégradation des organismes. Ce rinçage a été effectué sur une colonne de trois tamis de maille décroissante afin de séparer les fractions les plus grossières des plus fines. Ensuite, un tri à vue méticuleux du refus de tamis par la méthode d'agitation-flottaison a permis d'extraire le macrozoobenthos du sédiment. Une première répartition par groupes taxonomiques a été réalisée lors de cette étape. Les graviers et les cailloutis porteurs d'épifaune sessile ont été de nouveau stockés dans des bidons et conservés dans de l'éthanol à 70% dans le but de réaliser ensuite l'analyse de l'épifaune sessile. Un colorant de la matière organique, le rose bengale, a été employé lorsque les stations présentaient des richesses en individus importantes afin de faciliter le tri.

II.2.3. Détermination

Les déterminations ont été menées autant que possible jusqu'au niveau spécifique. Elles ont été réalisées sous une loupe binoculaire et, lorsque cela s'avérait nécessaire, sous un microscope Olympus BH-2. En cas d'incertitude quand à l'identification au niveau de l'espèce, le rang taxonomique le plus sûr a été adopté (genre, parfois famille, voire à un niveau nettement supérieur dans le cas des némertes par exemple). Les nématodes, de même que les poissons, n'ont pas été pris en compte dans ce travail. Des photographies de la plupart des taxa ont été prises afin de constituer une photothèque de référence. De plus, une collection de référence a été constituée.

Pour chaque prélèvement, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce pour l'endofaune et pour l'épifaune vagile ont été comptabilisés.

La détermination de l'épibiose sessile (épifaune et épiflore) a été réalisée jusqu'au niveau taxonomique le plus élevé possible (généralement spécifique). Les espèces arrachées des galets ont également été prises en compte. Pour les espèces facilement dénombrables, les individus (ou de colonies dans le cas des *Alcyonium*) ont été dénombrés. Pour les espèces d'épibiose sessile difficilement dénombrable, seule leur présence a été notée. Des échantillons ont été envoyés pour expertise à M. Schuchert du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève (hydrides) et à M. Harmelin (bryozoaires) de la Station Marine d'Endoume.

II.2.4. Biomasses

La biomasse de la macrofaune benthique a été déterminée par espèce et par station et exprimée en poids sec libre de cendres (PSLC) selon la méthodologie préconisée par le Benthos Ecology Working Group de l'ICES (Anonyme, 1986) et reprise dans la norme ISO/FDIS 16 665 (AFNOR, 2005).

Après comptage des individus de chaque espèce, ceux-ci ont été placés dans des papillotes en aluminium (Figure 35), puis séchés à l'étuve à 75°C pendant 24 à 48h jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Une première pesée, donnant le poids sec, a été effectuée à l'aide d'une balance de marque Sartorius de type « R160 P – F1 » à 0,01 mg près. Ensuite, les papillotes ont été placées au four à 500°C pendant 6h afin de permettre une calcination complète de la matière organique sans altérer la matière minérale (coquilles de Mollusques). Une seconde pesée, donnant le poids de cendres a été effectuée à l'aide de la même balance que lors de l'étape précédente. La différence entre les deux pesées donne le PSLC. Cette méthode permet de s'affranchir des problèmes liés à la teneur en eau des organismes.



Figure 35: Echantillons prêts à être étuvés.

II.3. Traitement des données

Pour la partie faunistique, la matrice de données est constituée de 318 stations et 875 taxa pour la période récente et de 1495 stations (dont 606 dans la zone étudiée récemment) et 583 taxa (dont 425 dans la zone étudiée récemment) pour la période historique. Cet apparent enrichissement spécifique (425 versus 875 taxa) est discuté au chapitre V.

Pour la partie sédimentologique, la matrice de données est constituée de 470 échantillons et de 21 classes granulométriques pour la période récente et de 1449 échantillons et 10 classes granulométriques pour la période historique.

Les données historiques ont été fournies par L. Cabioch.

II.3.1. Validation des données granulométriques

Le programme MESH a établi, dans sa *Review of standards and protocols for seabed habitat mapping* (Coggan *et al.*, 2007), une synthèse des volumes sédimentaires à analyser en fonction de la taille maximale des particules présentes dans le sédiment (Tableau 2).

Tableau 2 : Taille minimale d'un échantillon nécessaire pour une analyse des sédiments basée sur la taille maximale des grains.

Taille maximale des grains présente dans une proportion substantielle (en mm)	Masse minimale à échantillonner pour le tamisage (en g)
2,00	100
6,30	200
10,00	500
14,00	1000
20,00	2000
28,00	6000
37,50	15000
50,00	35000
63,00	50000

Les valeurs données dans ce protocole ont été comparées à celles obtenues pour les 469 stations pour lesquelles le plus de renseignements sur les données granulométriques étaient disponibles (soit pour les campagnes effectuées entre 1999 et 2007, excepté la campagne BENTHOSEINE, en raison de l'absence des résultats bruts). Pour se faire, les valeurs maximales de grain des données granulométriques ont été évaluées : cela correspond aux tailles 5 mm, 20 mm, 50 mm et 63 mm. Comme la valeur de masse minimale à échantillonner manquait pour la taille maximale de 5 mm, elle a été déterminée grâce à une règle de trois car si la relation liant la taille des grains et la masse à échantillonner est globalement de type sigmoïdal ($r^2 = 0,99$), elle est linéaire pour les faibles valeurs de taille des grains, comme le montre la Figure 36 établie à partir des valeurs présentées dans le Tableau 2. La masse minimale à échantillonner pour une taille maximale de 5 mm a ainsi été estimée à 170 g.

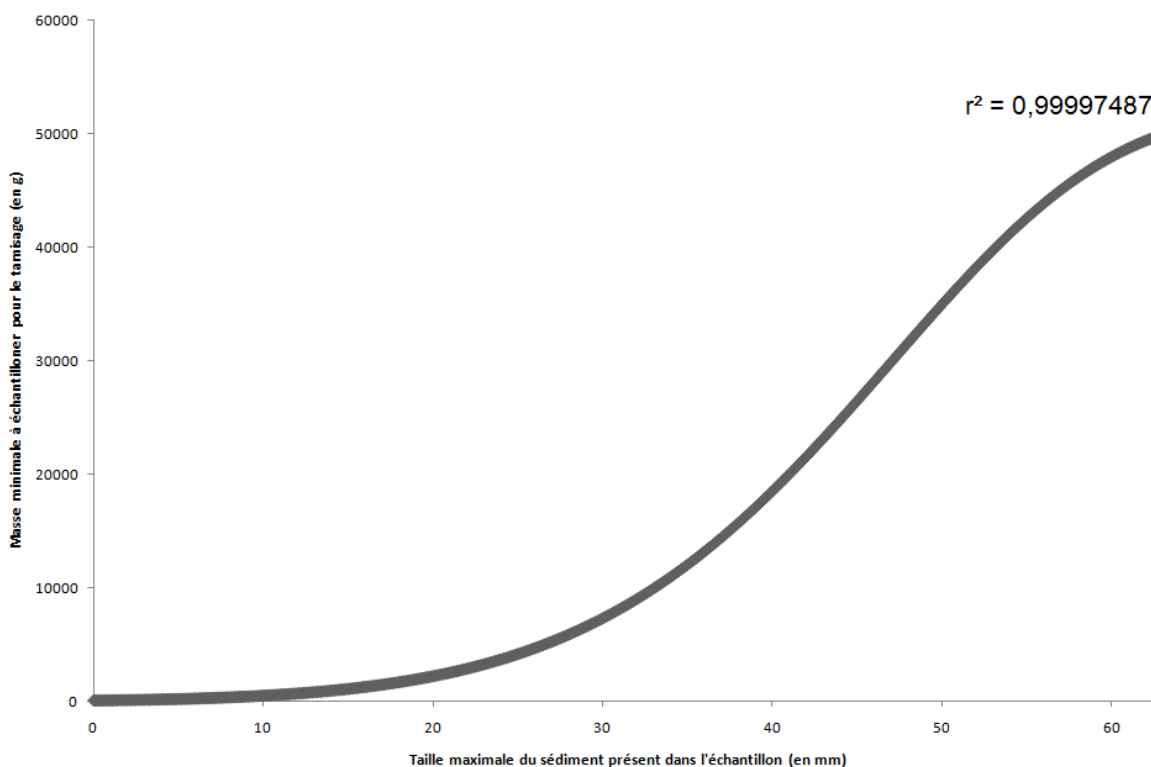


Figure 36 : Courbe de la masse minimale à échantillonner pour le tamisage (en g) en fonction de la taille maximale du sédiment présent dans l'échantillon (en mm).

II.3.2. Les Bases De Données (BDD)

La BDD MABEMONO recense l'ensemble des données recueillies au cours des différentes campagnes effectuées dans le bassin oriental de la Manche, notamment :

- coordonnées géographiques des stations,
- paramètres physiques,
- abondances et biomasses brutes,
- référentiel taxonomique ; en l'occurrence, celui de l'ERMS (European Register for Marine Species), avec l'aimable autorisation de Ward Appeltans, Edward Vanden Berghe et Mark Costello,
- informations sur l'écologie.

Elle a été créée au format ACCESS 2000 grâce au logiciel Office Access 2003 (Microsoft ®). Elle ne contient que des données validées. Cette BDD comporte 149 champs répartis dans 10 tables, dont le dictionnaire est fourni en Annexe 1. Les relations entre ces différentes tables sont présentées à la Figure 37.

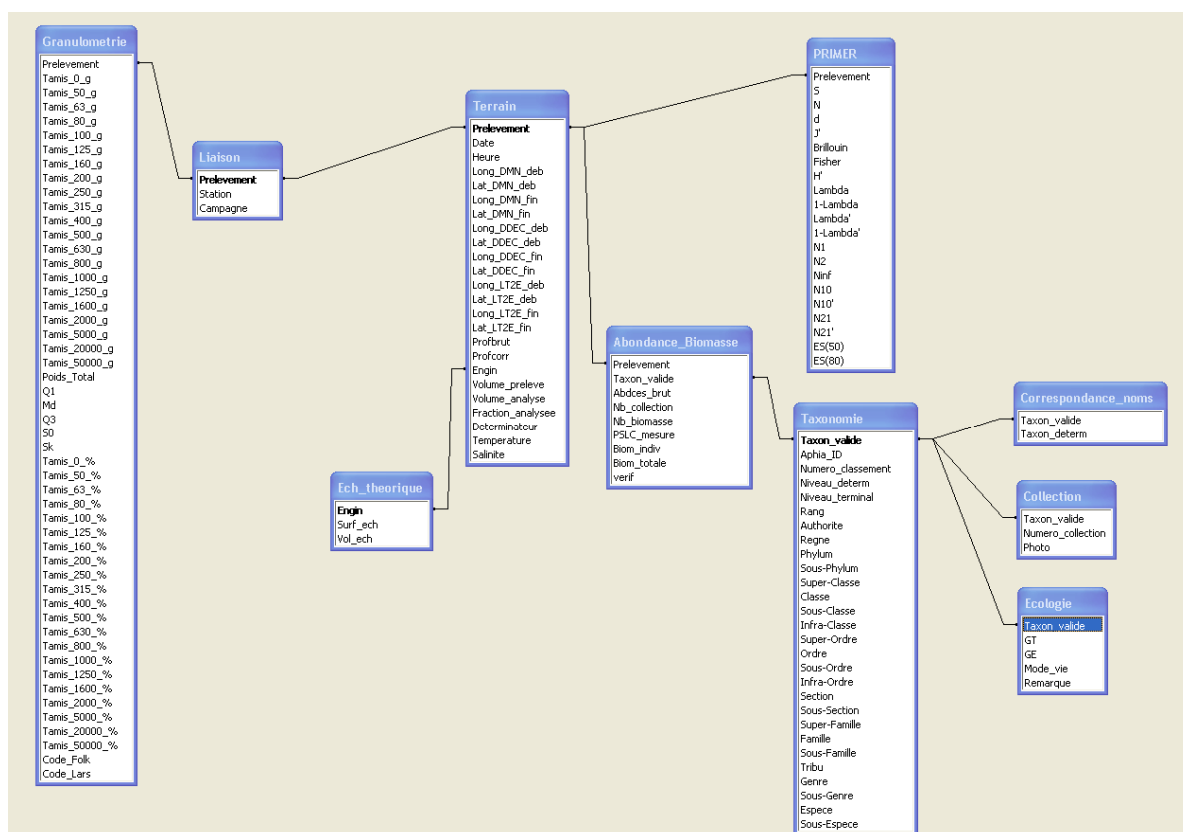


Figure 37 : Relations entre les tables de la BDD MABEMONO.

La BDD Historique a été constituée de la même façon.

II.3.3. Analyse des données

Les analyses de données ont été réalisées soit sur des nombres d'individus exprimés par unité de surface (0,5 m²) ou par unité de volume (30 L), soit sur des données de présence-absence. Compte-tenu du fait que les 0,5 m² prélevés à la benne Hamon correspondent en moyenne à 28,7 L et que ce volume n'est pas très différent des 30 L

prélevés à la drague Rallier du Baty (4 % d'écart environ), des analyses ont également pu être menées en mélangeant les données provenant de ces deux types d'engins. Des essais ont été réalisés en vain de façon collégiale à la Station Marine de Wimereux pour établir plus précisément la correspondance entre volume et surface prélevés à la drague Rallier du Baty. Les difficultés rencontrées lors de cette calibration sont probablement imputables au fait que cet engin travaille de façon différente selon les substrats et qu'il a tendance à travailler de façon discontinue sur le fond (il effectue irrégulièrement des sauts en dehors du substrat). L'approche utilisée ici est le meilleur compromis trouvé.

II.3.3.1. Distinction et caractérisation des assemblages

Afin de distinguer les différents assemblages, deux analyses ont été employées : la classification ascendante hiérarchique et l'analyse factorielle des correspondances. Ces deux analyses se basent sur le calcul, à partir d'une matrice stations \times espèces, d'une matrice de distance entre paires de stations. Différentes similarité peuvent être employées en fonction du type de données récoltées (Legendre et Legendre, 1984).

✓ Analyse Factorielle des Correspondances

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) permet d'ordonner les stations et les espèces dans un même espace factoriel : il s'agit de trouver la meilleure représentation concomitante d'un ensemble de points d'observations (stations) et d'un ensemble de points variables dans un même espace. L'AFC est donc particulièrement adaptée à l'étude des tableaux de contingences (stations \times espèces), même si dans ceux-ci figurent un grand nombre de zéros (Legendre et Legendre, 1984).

La distance du χ^2 est utilisée dans l'AFC : l'avantage de cette distance est de ne pas comprendre la co-absence comme une ressemblance. Grâce à la double pondération de chaque terme de la distance par la somme des lignes et la somme des colonnes, une des propriétés du χ^2 est de souligner les différences relatives entre stations et espèces. Habituellement, la représentation est constituée de deux axes factoriels orthogonaux représentant le maximum de variance retenue par l'analyse (deux ou trois axes sont souvent retenus). La représentation ainsi obtenue révèle un « profil faunistique » ; l'interprétation des résultats se faisant en fonction de la proximité entre les stations, entre les espèces ou entre stations et espèces. Deux types de caractéristiques sont à retenir pour l'interprétation d'une AFC : les contributions relatives ou absolues et les cosinus carrés. Les premières fournissent des éléments sur la contribution de chaque station ou de chaque espèce à chaque axe, ce qui nous renseigne sur la position des groupes dans l'espace. Les seconds traduisent la représentativité de l'axe pour le point considéré.

La prise en compte de ces caractéristiques permet de déterminer les espèces contributives, qui peuvent être considérées par la suite comme représentatives d'un groupe de station. Une espèce est contributive lorsque sa contribution relative à l'inertie de l'axe considéré (en %) est supérieure à $100 \times 2/N$, avec N qui est le nombre total d'espèces selon Blanchet (Blanchet, 2004).

✓ Classification Ascendante Hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (ou CAH) est une méthode de classification qui produit des regroupements définis par un certain nombre de caractères (Lebart *et al.*, 2006). Le processus de cette méthode est de construire des classes par agglomération successive de deux objets entre eux, de deux classes entre elles ou d'une classe et d'un objet (Benzécri, 1976), jusqu'à obtenir une hiérarchie de partition des objets. Différents calculs de distance pouvant être faits, le choix doit être judicieusement effectué en fonction du type de données employées.

Pour les données en présence-absence et l'analyse comparative des assemblages, c'est l'indice de similarité de Sørensen qui a été conservé. Cet indice de similarité accorde beaucoup plus d'importance à la présence qu'à l'absence des espèces. Cet indice est calculé

de la façon suivante : $S = \frac{2A}{(2A+B+C)}$, avec A le nombre d'espèces présentes dans les

deux prélèvements ; B, le nombre d'espèces présentes dans un seul des deux prélèvements et C, le nombre d'espèces présentes uniquement dans l'autre prélèvement. Le facteur 2 devant le A permet d'assigner une plus grande importance à la double présence.

Pour les données de granulométrie, l'indice de similarité de Bray-Curtis a été utilisé. Ce même indice de similarité a été employé avec les données d'abondances - ces dernières ayant subi une transformation en $\log(X+1)$ - afin de minimiser l'importance des espèces rares.

L'emploi de l'algorithme de regroupement de Ward (Ward, 1963), pourtant le plus utilisé dans de nombreuses études, étant incompatible avec la distance de Sørensen (McCune et Grace, 2002), c'est l'algorithme UPGMA (Unweighted Pair-Group Method with Average ; (Sneath et Sokal, 1973)) qui a été utilisé. Ce dernier réalise les jonctions lorsque la distance moyenne entre tous les membres des deux groupes est identique. Néanmoins, l'algorithme de regroupement de Ward a été utilisé pour la CAH des données granulométriques étant donné qu'une formulation de la distance de Bray-Curtis (Bray et Curtis, 1957), celle utilisée dans la librairie vegan (Oksanen, 2009) et présentée par Michie (Michie, 1982), a été employée pour ces données.

Le choix du niveau de coupure optimal des dendrogrammes a été effectué selon la méthode de Ratkowsky (Ratkowsky, 1984).

En pratique, les calculs des différentes distances et les classifications ascendantes hiérarchiques ont été effectués à l'aide du logiciel R (Ihaka et Gentleman, 1996) en utilisant la librairie vegan (Oksanen *et al.*, 2009) et la librairie ade-4 (Chessel *et al.*, 2009).

✓ Caractérisation des assemblages

Diagramme Rang-Fréquence ou DRF

Le DRF est employé dans cette étude afin de caractériser les espèces principales des assemblages. Les espèces sont d'abord classées par ordre d'abondances décroissantes. Puis, un rang est attribué à chaque espèce. Une représentation graphique est ensuite réalisée en plaçant en abscisse les rangs attribués aux espèces et en ordonnée les fréquences des espèces. Les espèces principales d'un assemblage sont celles qui occupent les premiers rangs.

Constance et fidélité

Constance d'une espèce

La constance d'une espèce est le rapport, en pourcentage, entre le nombre de stations (P_i) où l'espèce i est présente et le nombre total de stations (P_t) de l'unité biocénotique considérée (Dajoz, 1975). Elle s'exprime par la formule suivante : $C_i = \frac{P_i}{P_t} \times 100$.

Il en résulte détermine quatre catégories :

- (1) Espèce rare, $C < 12,5\%$;
- (2) Espèce occasionnelle, $12,5 \leq C < 25\%$;
- (3) Espèce commune, $25 \leq C < 50\%$;
- (4) Espèce constante $C \geq 50\%$.

Fidélité d'une espèce

La fidélité d'une espèce i à une unité A est le rapport, en pourcentage, de la constance de cette espèce (C_{iA}) au sein de cette unité sur la somme de ses constances dans chaque unité de la zone étudiée (Retière, 1979). Elle s'exprime par la formule suivante :

$$F_{iA} = \frac{C_{iA}}{(C_{iA} + \dots + C_{NA})} \times 100.$$

Cinq catégories sont ainsi déterminées :

- (1) Espèce accidentelle, $F < 10$;
- (2) Espèce accessoire, $10 \leq F < 33,3\%$;
- (3) Espèce indifférente, $33,3 \leq F < 66,6\%$;
- (4) Espèce préférante, $66,6 \leq F < 90\%$;
- (5) Espèce élective, $F \geq 90\%$.

Classification biocénotique

Le tableau de classification biocénotique résume l'étude de la caractérisation des communautés par la constance et la fidélité (Tableau 3). Il se présente sous la forme d'une liste d'espèces réparties entre les différentes modalités de constance et fidélité.

Tableau 3 : Tableau de classification bionomique (d'après Retière, 1979 et Dajoz, 1975).

Fidélité	Espèces électives $90 < F \leq 100\%$	Espèces préférantes $66,6 < F \leq 90\%$	Espèces indifférentes $33,3 < F \leq 66,6\%$	Espèces accessoires et accidentelles $0 < F \leq 33,3\%$
Constance				
Espèces constantes $50 \leq C < 100\%$	Espèces les plus caractéristiques de la communauté		Espèces tolérantes à large répartition, non caractéristiques de la communauté	
Espèces communes $25 \leq C < 50\%$				
Espèces occasionnelles $12,5 \leq C < 25\%$	Espèces caractéristiques mais rares		Espèces ne présentant pas de caractéristiques apparentes pour la communauté	
Espèces rares $0 \leq C < 12,5\%$	Espèces trop rares pour être considérées comme caractéristiques			

II.3.3.2. Mesures de diversité

Les différentes mesures de diversité qui peuvent être employées sont décrites dans l'encart « Les différentes échelles de mesures de la diversité ». Elles ont été faites à l'aide du logiciel PRIMER (Clarke et Gorley, 2006).

Le nombre de Hill N_1 est calculé sous Primer à partir de H' en logarithme népérien. Cependant, H' en logarithme népérien et H' en logarithme de base 2 sont reliés par une

relation linéaire. Il est donc possible à partir de l'indice de Hill de pondérer l'indice de Shannon, calculé avec un logarithme en base 2 par l'indice de Hill calculé sous Primer.

L'évolution de la richesse taxonomique a également été évaluée le long d'un axe théorique sud-ouest / nord-est. Cet axe correspond à la droite de régression linéaire établie à l'aide des coordonnées en Lambert 2 étendu de toutes les stations. Après une projection orthogonale des stations sur cet axe virtuel, de nouvelles coordonnées, toujours en Lambert 2 étendu, ont été déterminées pour chacune des stations le long de cet axe. Des graphiques montrant l'évolution de la richesse taxonomique (seule ou cumulée) le long de cet axe ont été dressées, puis, pour chaque espèce, les valeurs minimales et maximales de répartition sont extraites. Grâce à ces données, l'évolution de répartition des espèces entre les années 1971-1976 et 2004-2007 a pu être étudiée.

Les différentes échelles de mesures de la diversité

La biodiversité est définie comme la diversité de toutes les formes du vivant (Wilson, 1985). Longtemps appréhendée du seul point de vue du dénombrement des espèces, ce concept ne peut cependant être réduit au seul nombre d'espèces, qui à lui seul ne décrit pas la structure d'un assemblage d'espèces dans une région donnée (Gray, 2000). A la richesse spécifique, correspondant au nombre total d'espèces S présentes dans un échantillon et donc dépendante de la taille de cet échantillon, il faut donc ajouter d'autres estimateurs de la diversité tels que l'équitabilité (degré de répartition des individus au sein des espèces) ou la rareté.

En 1972, Whittaker (Whittaker, 1972) avance que la diversité peut se mesurer à plusieurs échelles : localement (diversité α) ou régionalement (diversité γ). Il définit la diversité β , qui est indépendante d'une échelle d'observation, comme le turn-over de la diversité le long d'un gradient environnemental. La diversité α est calculée à partir d'échantillons réputés représentatifs d'une station et donc à partir de surface ou de volume unitaire qui peuvent être différents selon ces stations. La diversité γ est en revanche beaucoup plus dépendante de l'effort d'échantillonnage car elle est établie à partir de stations dont il faut vérifier a posteriori qu'elles sont représentatives de la zone étudiée.

Pour mesurer la diversité α deux indices sont souvent utilisés :

- l'indice de Shannon-Wiener H' (Shannon, 1948) qui a été développé dans le cadre de la théorie de l'information et qui se calcule selon la formule $H' = -\sum_i p_i \log_2 p_i$ avec p_i la proportion de la $i^{\text{ème}}$ espèce. Cet indice correspond à l'information donnée par la connaissance d'un individu d'une espèce prélevé au hasard dans la communauté. H' est égal à 0 quand tous les individus appartiennent à la même espèce (aucune information n'est apportée). Lorsque tous les individus sont répartis dans différentes espèces, l'information est maximale : $H' = \log_2(S)$.

- l'indice de dominance de Simpson λ qui se calcule selon la formule $\lambda = 1 / \sum_i p_i^2$, avec p_i la proportion de la $i^{\text{ème}}$ espèce. Cet indice exprime la probabilité que deux individus pris au hasard dans la communauté appartiennent à deux espèces différentes. Cet indice est compris entre 0 et 1. Plus la valeur de l'indice est élevée, plus la diversité de la communauté l'est.

Les nombres de Hill peuvent également être utilisés $N_1 = e^{H'}$ et $N_2 = \frac{1}{\lambda}$ afin de mieux discriminer les stations respectivement à forte et à faible diversité les unes des autres. L'indice N_1 est sensible aux espèces classées au milieu des rangs d'abondance alors que l'indice N_2 est sensible aux espèces dominantes (Whittaker, 1972, Gray, 2000, Ellingsen, 2001).

Pour mesurer la diversité γ , l'exhaustivité de l'inventaire des espèces sur la zone étudiée peut être vérifiée grâce notamment à une courbe aire-espèce (ou courbe d'accumulation du nombre d'espèces en fonction de l'effort d'échantillonnage). Cette courbe tend vers une asymptote lorsque la richesse spécifique totale absolue est approchée. Néanmoins, il existe une probabilité que cette richesse spécifique totale soit sous-estimée malgré un protocole d'échantillonnage suffisant. C'est pourquoi plusieurs estimateurs du nombre d'espèces réellement présentes ont été développés (Colwell et Coddington, 1994). Parmi les plus utilisés, il y a les indices Chao1 et Chao2 (Chao, 1984). Ces deux indices reposent sur l'hypothèse que les espèces non-observées (ou manquantes) sont des espèces rares. L'indice Chao 1 estime ces espèces rares à partir du nombre d'espèces d'un échantillon représentées par des singletons ou des doubletons (espèces représentées par un ou deux individus) : il repose donc sur l'abondance. L'indice Chao2 estime les espèces rares avec les espèces présentes dans un ou deux échantillons (espèces uniques ou doubles) et repose sur l'occurrence des espèces. Certaines études considèrent que ces indices surestiment ou sous-estiment la diversité γ (Colwell et Coddington, 1994, Gray, 2000, Foggo *et al.*, 2003, Hortal *et al.*, 2006).

La diversité β correspond à la vitesse à laquelle un renouvellement d'espèces est occasionné en fonction des évolutions des caractéristiques environnementales. Par extension, il peut correspondre à la variation de la composition spécifique d'un inventaire entre différentes unités (Whittaker, 1972). La diversité β peut être estimée par le nombre d'espèces communes entre toutes les paires d'échantillons possibles.

II.3.4. Géostatistiques

Les données écologiques peuvent présenter différents types de patrons spatiaux à différentes échelles (Fortin, 1999). La distribution des espèces, quant à elle, résulte des synergies de réponses à plusieurs contraintes, tant externes qu'internes à la communauté (Legendre et Legendre, 1984). Les réponses sont donc parfois si complexes que, sur une région donnée, la variabilité spatiale apparaît comme aléatoire (Webster et Oliver, 2001), d'où une approche probabiliste, base des géostatistiques. Les géostatistiques correspondent à l'ensemble des méthodes servant à l'analyse des données spatiales et à leur interpolation (Matheron, 1970). Il s'agit d'une série de méthodes estimant la valeur d'une variable intéressante en une position géographique donnée, à partir des données disponibles de cette variable à d'autres positions disparates.

II.3.4.1. Préparation des données

Avant de réaliser les cartes présentées dans ce travail, un examen attentif de la distribution de probabilité des données est nécessaire. En effet, les différentes variables écologiques utilisées ne possèdent pas forcément une échelle uniforme. Bien que la plupart des méthodes statistiques ne nécessitent pas de normalité absolue, les résultats sont meilleurs si la distribution de probabilité est proche de la loi normale. Ainsi, la normalité de la distribution de probabilité des différentes données (aussi bien environnementales que biologiques) a été testée grâce aux histogrammes, au coefficient d'asymétrie et au coefficient d'aplatissement ou kurtosis. Les valeurs pour ces deux derniers coefficients doivent être compris entre [-1 ; 1]. Dans le cas contraire, les données ont été transformées afin d'améliorer la normalité de la distribution de probabilité. Les données biologiques ont été mesurées sur des échelles basées sur des conventions analytiques et ne sont pas apparentées aux processus naturels qui les génèrent. L'abondance des espèces a été exprimée sous forme de densité (nombre

d'individus pour 30 L de sédiments ou nombre d'individus par m²). Une transformation par la fonction logarithmique de base 10 $\log_{10}(x+1)$, où x est la valeur de densité de l'espèce, s'est avéré être la plus adaptée. Elle suppose une distribution log normale des données pour être utilisée. Une autre transformation aurait donné des résultats différents.

Certains descripteurs, notamment environnementaux, ont été analysés sous la forme de présence-absence. Pour ces descripteurs, il a été possible de créer des cartes de distributions continues de probabilité de présence grâce aux géostatistiques.

Avant de commencer les différentes interpolations, les coordonnées de longitude ont été corrigées afin d'exprimer les degrés décimaux sur la même échelle de distance métrique que les degrés décimaux de latitude. La transformation opérée est la suivante :

$$\text{Longitude corrigée} = \text{longitude} \times \cos[(\text{latitude} \times \pi) / 180]$$

Une fois les analyses géostatistiques et interpolations par krigeage effectuées, la longitude a été reconvertie dans son unité d'origine pour que la cartographie puisse être faite à partir des coordonnées géographiques standards.

Une exploration préliminaire des données a permis de déterminer les paramètres d'interpolation qui ont été utilisés pour chacune des procédures d'interpolation. Ainsi, la taille des mailles de la grille d'interpolation est de 0,03. Le rayon de recherche de données voisines a été fixé à deux fois la taille des mailles et le nombre d'observations voisines employées est compris entre 5 points (minimum) et 8 points (maximum).

II.3.4.2. Le variogramme

Le variogramme, outil central dans les géostatistiques, est une fonction mesurant les relations entre paires d'observations, pour différentes positions géographiques séparées par une distance connue. Il reflète donc la variabilité d'un descripteur quand varient la distance et la direction entre les paires d'observations. Théoriquement, pour des données spatialement structurées, la semi-variance est faible pour les courtes distances et s'accroît quand les distances augmentent. Un palier peut être atteint par la semi-variance : celui-ci indique la variabilité maximale du jeu de données à partir de laquelle les valeurs du descripteur à différentes positions ne sont plus corrélées spatialement. La valeur pour laquelle le palier est atteint porte le nom de portée et marque la limite de l'étendue spatiale du descripteur (Figure 38). Un descripteur avec une longue portée est donc spatialement plus étalé qu'un descripteur à faible portée. L'ordonnée à l'origine (positive) d'un variogramme porte le nom de pépite. La pépite correspond à la variabilité non-expliquée par le modèle : termes d'erreurs attribuables à un échantillonnage inapproprié, aux erreurs analytiques ou de mesures, à la part aléatoire de la variation et aux variations existants sur les distances inférieures à la résolution de l'échantillonnage (analogues à la variance en un point fixe).

Afin de modéliser les variogrammes, des modèles prédéfinis (modèles de type circulaire, sphérique, pentasphérique, et exponentiel négatif) ont été appliqués aux formes à décrire (Webster et Oliver, 2001). Ces modèles doivent pouvoir décrire les caractéristiques principales du variogramme (pépite, palier...). Les modèles circulaire, sphérique et pentasphérique se courbent plus graduellement que les modèles bornés linéaires. Ils illustrent tous des structures spatiales du descripteur ayant une étendue commune et apparaissant comme des taches (Webster et Oliver, 2001). Le modèle exponentiel approche son palier de façon asymptotique et n'a pas de portée finie. Le diamètre moyen des taches est alors évalué approximativement à trois fois la portée. Les variogrammes ajustés par un modèle exponentiel illustrent des schémas spatiaux pour lesquels les structures ont des étendues aléatoires. De tels variogrammes existent lorsque les différences entre les niveaux d'abondance sont les principaux contributeurs de la variation locale et quand les limites

entre les différences entre les niveaux d'abondance sont localisées de façon aléatoire (Webster et Oliver, 2001).

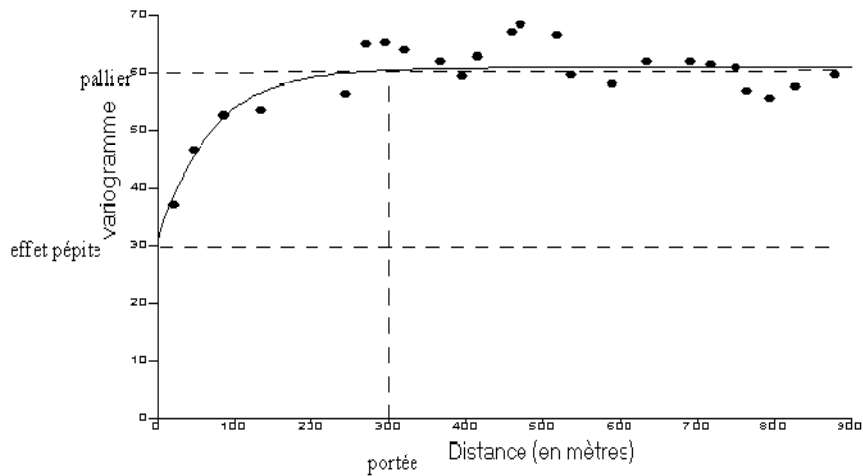


Figure 38 : Le semi-variogramme : modélisation et indication des principaux éléments pour sa lecture (Ruellet, 2004).

La méthode la plus employée pour ajuster les modèles au variogramme expérimental est celle des moindres carrés, la sélection entre différents modèles se basant sur les niveaux d'ajustement statistique et visuel. Les paramètres du modèle donnent une estimation des variances de pépite, de palier et de portée. Grâce à la portée, l'échelle de variation d'un descripteur peut être déterminée, comparée à d'autres et utilisée pour déterminer la limite de dépendance spatiale du descripteur. Il peut arriver que certains variogrammes soient totalement plats : il n'y a alors pas de dépendance spatiale évidente dans les données. Seule la variabilité de pépite est alors estimée.

Si des tendances locales existent, c'est-à-dire lorsque la valeur du descripteur change de façon continue et prévisible avec les coordonnées spatiales, l'hypothèse principale des géostatistiques est rompue. En effet, cette hypothèse prévoit que la variabilité spatiale d'un descripteur repose sur un processus purement stochastique (Isaaks et Srivastava, 1990). Dans ce cas, le variogramme présente une forme concave dans sa partie ascendante. La recherche de tendance spatiale des descripteurs doit être effectuée en amont en ajustant aux données un polynôme de faible degré (régression linéaire ou quadratique, (Webster et Oliver, 2001)). Une fonction linéaire correspond à un plan incliné, comme par exemple la dérive de la profondeur de la côte vers le large. Une fonction quadratique correspond à une surface courbée simulant un effet de bord. Quand le polynôme ajusté explique plus de 20 % de la variance, un variogramme peut être calculé et modélisé à partir des résidus de la régression, ce qui supprime la tendance.

Dans ce travail, l'analyse et la modélisation des variogrammes ont été réalisés sous le logiciel de statistiques généralistes Genstat septième édition (Lawes Agricultural Trust©). Ce logiciel, qui inclut les principaux outils de géostatistiques, permet de calculer le variogramme expérimental, d'y ajuster plusieurs modèles mathématiques et d'extraire les paramètres de ces modèles pour l'interpolation par krigeage ultérieur.

II.3.4.3. Le krigeage

Le krigeage est l'une des méthodes d'interpolation géostatistique les plus connues, qui produit aussi une estimation de l'erreur d'interpolation.

Le krigeage se différencie des autres méthodes d'interpolation car il exploite les paramètres du variogramme. Il produit des estimations optimales et objectives de valeurs du descripteur à des positions non investiguées, en tenant compte de la variabilité du descripteur dans la zone considérée sur la base des positions échantillonnées. Le krigeage repose sur une méthode de moyenne pondérée : le poids des points observés utilisés pour l'interpolation étant basé sur le modèle variographique de la variance spatiale du descripteur. Le krigeage ordinaire est le plus communément employé. Les poids des points observés proches du point à interpoler sont élevés et décroissent avec la distance selon le modèle appliqué au variogramme. Les points les plus proches contribueront donc plus au poids total. Lorsque les points sont regroupés, un poids individuel est appliqué, celui-ci étant plus faible pour des points isolés à la même distance (le degré de redondance de l'information spatiale est ainsi pris en compte). Enfin, certains points peuvent être masqués par des points disposés entre eux et le point à « kriger ». Ces effets souhaitables prouvent que le krigeage est local. Il existe également le krigeage par bloc, produisant une valeur moyenne d'interpolation à l'intérieur d'une zone donnée plutôt qu'à une position ponctuelle. La taille des blocs peut être choisie égale à celle de la grille d'interpolation de sorte que les nœuds de la grille correspondent au centre des blocs et que les blocs ne se chevauchent pas. Si une tendance spatiale est déterminée, le krigeage universel (Matheron, 1970) est appliqué. Il permet d'obtenir des estimations non biaisés en insérant la tendance spatiale après avoir pris en compte la structure spatiale des résidus par interpolation.

Une erreur d'interpolation, équivalent à une variance d'estimation, est fournie par le krigeage. Cette erreur est la plus réduite possible : pour chaque estimation, les poids attribués aux observations voisines sont calculés d'après le modèle du variogramme de manière à minimiser la variance d'estimation. L'interpolation par krigeage permet donc de couvrir de larges zones en produisant un nombre non négligeable d'estimateurs ponctuels et les erreurs d'interpolation associées.

Ainsi, les estimations krigées et les erreurs de krigeage peuvent être utilisées pour cartographier le schéma de distribution spatiale du descripteur. Au vue de la quantité et de la qualité des données disponibles, des cartes de distributions pluriannuelles ont été réalisées, avec celle de son erreur de krigeage. Si seules des données en présence-absence existaient, le krigeage indicatif (ou krigeage sur des données binaires) a été effectué et a permis de produire des cartes pluriannuelles de probabilité de présence, et les cartes d'erreurs d'interpolation associées.

A partir de l'extension « Spatial Analyst » de ArcMap (ESRI ArcGIS 9.1), la grille des estimations produites par krigeage a été à nouveau interpolée pour créer un canevas continu, soit un raster, en WGS84. L'outil « Calculatrice Raster » de l'extension « Spatial Analyst » a ensuite permis de supprimer les parties du raster extrapolant les données (notamment celles en dehors de l'aire géographique couverte par les données originelles), en les recoupant avec un polygone à la taille du jeu de données initial.

II.3.5. Modélisation des habitats

Les méthodes de régression ont pour but de fournir une estimation numérique de la réponse d'une espèce aux variations d'un ou de plusieurs facteurs environnementaux. Dans ce travail, un type d'habitat d'espèces est présenté : il s'agit des régressions quantiles (RQ). Les RQ représentent une technique adaptée pour estimer la limitation imposée par les facteurs environnementaux sur l'abondance d'une espèce. Les RQ permettent de décrire l'habitat potentiel d'une espèce, c'est-à-dire toutes les zones possibles qui présentent les conditions appropriées pour la présence ou la forte abondance d'une espèce. Les prédictions effectuées surestiment alors l'abondance pour illustrer la distribution spatiale de l'abondance dans des conditions environnementales idéales (Vaz *et al.*, 2008a). Ces approches de modélisation ont été utilisées pour produire des cartes d'habitats d'un certain nombre d'espèces d'invertébrés benthiques. Le modèle d'habitat se construit en trois étapes : la sélection du modèle, l'évaluation de son ajustement et l'évaluation de son pouvoir prédictif. La première étape requiert d'estimer les contributions des facteurs environnementaux mesurés à la réponse d'une espèce ; les facteurs environnementaux non significatifs étant éliminés du modèle.

Les régressions quantiles appartiennent à la famille des régressions, comprenant également les régressions linéaires simples et multiples (Koenker et Hallock, 2001). Cette technique permet de modéliser n'importe quelle borne relative à la distribution des données (à la place de la moyenne) : un quantile q décrit la valeur supérieure ou égale à q % des données observées, c'est-à-dire la borne supérieure de q % des données observées. Ainsi, l'analyse de la réponse des bornes supérieures (75 et 95 %) du descripteur (souvent l'abondance d'une espèce) en fonction des facteurs environnementaux permet d'estimer les effets limitants de ces derniers sur la distribution d'une espèce (Cade *et al.*, 1999, Hiddink et Kaiser, 2005). Les prédicteurs environnementaux ici sélectionnés sont : la tension de cisaillement, la profondeur, l'amplitude thermique en Manche et les différentes catégories de couverture sédimentaire superficielle. Les analyses ont été menées sous R en utilisant un script développé par S. Vaz (communication personnelle).

La sélection du modèle de RQ est rendue plus difficile par l'existence d'un grand nombre de modèles candidats : en effet, il existe un modèle par quantile. La sélection du modèle inclut donc la sélection des variables explicatives et du quantile sur lequel elles sont considérées. La sélection se fait en partant d'un modèle initial contenant tous les prédicteurs environnementaux : les paramètres continus ont été introduits sous forme d'un polynôme de degré deux, les variables catégorielles sous forme de facteurs ; toutes les interactions de premier ordre pouvant être considérées.

La procédure de sélection employée est celle décrite par (Vaz *et al.*, 2008a). Les modèles de RQ ont été estimés pour cinq percentiles (du 75^{ème} au 95^{ème}), séparés par un intervalle de 5 %. A l'aide d'une méthode de sélection descendante, les interactions et les termes quadratiques ayant la variable la moins significative sont éliminés en priorité. Le modèle réduit ainsi obtenu est de nouveau ajusté sur les cinq quantiles et l'élimination d'une nouvelle variable suit la même règle. Les effets principaux ne sont testés que quand toutes les interactions et les termes quadratiques les faisant intervenir ont été éliminés. Le processus de sélection est stoppé quand toutes les variables sont significatives pour un quantile. Ce dernier devient alors le quantile descripteur. Si le modèle final est significatif sur plusieurs quantiles, c'est le quantile le plus élevé qui est retenu comme étant le plus représentatif de l'effet limitant des variables environnementales sur l'abondance de l'espèce.

Pour chaque espèce, à l'aide de la calculatrice raster du Spatial Analyst, une carte d'habitat est construite en utilisant les cartes numériques des facteurs environnementaux recodées grâce aux coefficients issus de la sélection du modèle. Avant, chacune des cartes

numériques des facteurs environnementaux a été limitée à la fourchette des valeurs observées en campagne, afin d'éviter toutes extrapolations.

Pour chaque modèle d'habitat, le coefficient de détermination ajusté (ou R^2 ajusté) a été utilisé pour estimer la proportion de variance de l'abondance expliquée par le modèle final. Ce coefficient a l'avantage de prendre en compte les nombres de degrés de liberté associés respectivement aux observations et aux paramètres explicatifs (Legendre et Legendre, 1984). Les modèles ont été jugés acceptables si le coefficient était supérieur à 0,1, comme pour la réalisation des cartes présentées dans l'atlas Charm II (CHARM II, 2009).

Les performances des modèles ont ensuite été évaluées en comparant les valeurs observées et les valeurs prédites. La procédure de ré-échantillonnage par « bootstrapping » a été utilisée pour produire une validation robuste du modèle d'habitat. Pour chaque jeu de données de validation, des jeux de données simulés, comprenant un nombre de valeurs égal au nombre de valeurs du jeu de données d'origine, ont été créés par tirage avec remise. 1000 jeux de données simulés ont été générés pour chaque test.

Pour tous les modèles, valeurs observées et prédites ont été comparées à partir du coefficient de corrélation par rang de Spearman (r_s), une corrélation non paramétrique mesurant la relation entre le rang des valeurs prises par deux variables. Cette corrélation et sa significativité ont été calculées pour tous les jeux de données simulés, ainsi que sa moyenne et les intervalles de confiance à 95 % pour r_s et leurs probabilités de significativité associées. Le test est considéré comme acceptable si la probabilité de significativité associée est significative ($p < 0,05$) et si la limite inférieure de l'intervalle de confiance du coefficient de corrélation est supérieure à 0,1.

Pour les modèles de RQ, un test de classification correcte a été utilisé. Il est défini par la proportion de valeurs observées dans le jeu de données de validation inférieures à celles prédites pour le quantile considéré (Eastwood *et al.*, 2003, Vaz *et al.*, 2008b). Si un modèle prédictif de distribution d'une espèce est développé pour le 90^{ème} quantile de sa distribution d'abondance, une classification correcte nécessite que 10 % des valeurs d'abondance observées soient supérieures aux valeurs prédites. Les jeux de données simulés ont été employés pour estimer la moyenne et les intervalles de confiance. Un modèle est acceptable si son quantile est compris dans la fourchette des limites de l'intervalle de confiance du test de classification correcte.

Les modèles qui satisfont deux des trois tests décrits sont conservés et présentés dans ce travail. En plus de ce processus d'optimisation, l'erreur de prédiction (valeur absolue de la différence entre abondance observée et abondance prédite, divisée par la valeur maximum observée) a été calculée pour estimer l'ajustement du modèle. Elle a été ramenée à zéro (pour les RQ) lorsque les valeurs observées étaient inférieures aux valeurs prédites. Elle peut donc être interprétée comme un pourcentage d'incertitude.

CHAPITRE III – LA COUVERTURE SEDIMENTAIRE

Après une revue des relations entre la couverture sédimentaire et la macrofaune benthique et une présentation des données complémentaires intégrées dans les analyses, les cartes de la couverture sédimentaire sont présentées pour les périodes 1971-1976 et 2004-2007 puis sont comparées.

III.1. Les relations entre couverture sédimentaire et macrofaune benthique

Depuis les travaux de Petersen (Petersen, 1913), la description des communautés macrobenthiques est reliée aux types de substrats. Elles sont même parfois désignées par le type de substrats qu'elles habitent (Jones, 1950).

Jusque dans les années 80, les différentes études menées (Jones, 1950, Sanders, 1958, Wieser, 1959, Sanders, 1960, Sanders *et al.*, 1962, Longbottom, 1970, Nichols, 1970, Pearson, 1970, Gage, 1972, Hughes *et al.*, 1972, Toulemont, 1972, Boesch, 1973, Gray, 1974, Rhoads, 1974, Warwick et Uncles, 1980, Whitlatch, 1981, Palacin *et al.*, 1991) ont uniquement recherché les liens entre les espèces benthiques et la composition sédimentaire. Ainsi, de nombreuses études (Jones, 1950, Wieser, 1959, Sanders *et al.*, 1962, Nichols, 1970, Pearson, 1970, Gage, 1972, Hughes *et al.*, 1972, Toulemont, 1972, Gray, 1974, Rhoads, 1974, Warwick et Uncles, 1980, Whitlatch, 1981, Palacin *et al.*, 1991) ont montré que la taille des grains avait une importance dans la distribution des espèces dans le sédiment. Les particules les plus fines sont susceptibles d'obstruer les branchies de certaines polychètes (Bassindale et Clark, 1960). De plus, la taille des grains du sédiment régit d'autres processus dans la colonne sédimentaire tels que la dureté du sédiment (Nichols, 1970) ou la perméabilité de celui-ci (Wieser, 1959). Ces facteurs conditionnent alors la capacité des organismes à s'enfouir ou à se mouvoir dans les sédiments et donc à fuir les perturbations. Il leur faut être capable de se nourrir et de s'oxygéner plus en profondeur. Il a ainsi été montré qu'un diamètre de grains moyen inférieur à 0,2 mm représentait une barrière pour de nombreuses espèces (Wieser, 1959, Hughes *et al.*, 1972). Un autre élément important de la composition sédimentaire est le contenu du sédiment en particules fines, qui par leur propriétés physiques, concentrent la matière organique et la rendent plus accessibles pour les organismes (Sanders, 1958, Sanders *et al.*, 1962, Longbottom, 1970, Nichols, 1970, Whitlatch, 1981). Cette richesse en particules nutritives conditionne la présence de certaines espèces. A ce niveau, la prise en compte du groupe trophique des espèces considérées est nécessaire pour expliquer les processus dans la colonne sédimentaire. Ainsi, plusieurs aspects remarquables ont pu être mis à jour.

En 1970, Rhoads et Young ont posé l'hypothèse de l'amensalisme (interaction biologique interspécifique dans laquelle une espèce inhibe le développement de l'autre) des groupes trophiques, notamment entre les suspensivores et les dépositivores. Ils ont en effet remarqué que les dépositivores se trouvaient dans les sédiments vaseux meubles et les suspensivores dans les sédiments sableux ou les sédiments vaseux durs. En fait, cette hypothèse fait intervenir la notion de stabilité du sédiment, ce qui a été repris dans d'autres études (Sanders, 1958, Sanders *et al.*, 1962, Rhoads et Young, 1971, Young et Rhoads, 1971, Gray, 1974, Rhoads, 1974). En effet, certaines espèces dépositivores, par leur activité biologique, entraînent une bioturbation du sédiment qui le rend instable et empêche l'installation d'autres espèces, notamment, mais pas exclusivement, chez les suspensivores : *Arenicola marina* par exemple empêche l'installation du naissain de *Macoma balthica* et des juvéniles de *Nephtys hombergii* (Flach, 1992) et *Corophium volutator* et *Hediste diversicolor* inhibent mutuellement l'arrivée de leurs juvéniles (Olafsson et Persson, 1986). Cependant, si certaines espèces suspensivores arrivent à s'installer, elles peuvent stabiliser le sédiment et permettre le développement de communautés à suspensivores (Young et Rhoads, 1971). Gray (1974) parle du concept d'espèce-clé. Ce concept a été défini par Paine

(Paine, 1966), qui a montré que les carnivores d'un haut niveau trophique contrôlent la structure de la communauté des rochers intertidaux. Ce qu'ils appellent espèces-clés fait référence aux premières espèces qui s'installent sur un milieu (les variables environnementales contrôlant alors fortement leur recrutement) et qui vont structurer la communauté, notamment en régulant la diversité de celle-ci. Le sens de ce terme est donc bien différent de celui communément employé en benthologie, selon lequel les espèces-clés correspondent aux espèces dominantes du système mûre.

Les communautés en place vont également interagir avec le type sédimentaire. Ainsi, l'émission de fèces va localement affiner le sédiment et créer un fort apport de matière organique, par exemple *Mytilus edulis* (Cranford *et al.*, 2009) ou *Crepidula fornicata* (Thouzeau *et al.*, 2000). La présence d'espèces modifiant la microtopographie de la surface du sédiment (formation de cônes) occasionne aussi des dépôts de particules plus fines derrière ces microstructures (Rhoads, 1974). Dans cette étude, Rhoads a ainsi développé le concept d'hétérogénéité spatiale. Il évoque même le concept de l'hétérogénéité spatio-temporelle car ces modifications de la qualité et de la stabilité du sédiment peuvent rapidement modifier les communautés en place.

La qualité et la stabilité du sédiment va aussi favoriser ou non l'installation des larves. Dans sa revue des facteurs influençant la relation animal-sédiment, Gray (1974) montre que les larves choisissent de façon précise le sédiment où elles s'installent. Outre les facteurs chimiques et biologiques, la structure de la surface du sédiment et la taille des grains sont des facteurs très influents lors des phases de recrutement. Cette idée de l'importance de la qualité et de la stabilité du sédiment a également été développée dans d'autres études (Jones, 1950, Thorson, 1957, Rhoads et Young, 1970, Lagadeuc et Brylinski, 1987, Thiébaud, 1994).

Depuis les années 1980, l'arrivée de nouvelles techniques d'observation et d'expérimentation (Warwick et Uncles, 1980, Rhoads et Germano, 1982, Muschenheim *et al.*, 1986, Rhoads et Germano, 1986, Nowell et Jumars, 1987) a permis de mettre en place de nouveaux protocoles pour tester les hypothèses antérieures. Ainsi, Snelgrove et Butman (1994) ont revu les différents facteurs affectant la relation animal-sédiment et les ont commentés. Bien qu'ils admettent que certains facteurs soient importants (taille des grains, contenu organique, stabilité...), ils considèrent que d'autres éléments doivent être mieux pris en compte (existence de micro-organismes, courantologie, disponibilité larvaire, disponibilité en nutriments).

A titre d'exemple, des études (Warwick et Uncles, 1980, Shackley et Collins, 1984, Palacin *et al.*, 1991, Levinton, 1995, Snelgrove *et al.*, 1997, Snelgrove *et al.*, 2001, Cusson et Bourget, 2005, Anderson, 2008, Dauvin et Ruellet, 2008) prennent en compte d'autres facteurs en plus du sédiment pour expliquer la distribution des communautés. La prise en compte de ces nouveaux éléments complexifie la détermination des facteurs sédimentaires influençant la distribution des communautés mais n'amoindrit pas leur rôle (Seiderer et Newell, 1999). En effet, de nombreuses études ont montré que la composition sédimentaire est le facteur primordial pour expliquer la distribution des communautés macrobenthiques. C'est pour cette raison que l'étude de la couverture sédimentaire du bassin oriental de la Manche a été incluse dans ce travail.

III.2. La classification des sédiments

Afin de faciliter la comparaison des couvertures sédimentaires entre les données historiques et les données récentes, la classification de Folk a été adaptée et sept classes ont été considérées :

- 1. Les cailloutis (en bleu sur la Figure 39), correspondant à une partie de ce que Folk nommait les graviers. Dans la classification de Folk, les graviers (G sur la Figure 42) correspondent aux sédiments dont la fraction supérieure à 2 mm est supérieure à 80 %. Dans l'adaptation de sa classification, les cailloutis correspondent aux graviers dont la fraction supérieure à 20 mm est supérieure à 50 %.

- 2. Les graviers (en vert clair sur la Figure 39), correspondant au reste de ce que Folk nommait les graviers (G sur la Figure 42) et à ce qu'il nommait les graviers ensablés (sG sur la Figure 42), c'est-à-dire les sédiments dont la fraction supérieure à 2 mm est comprise entre 30 % et 80 % et dont le ratio sable sur vase est supérieur à 9.

- 3. Les graviers hétérogènes (en turquoise sur la Figure 39), correspondant à ce que Folk nommait les graviers sablo-vaseux (msG sur la Figure 42) et les sables graveleux (gmS sur la Figure 42). Dans l'adaptation de sa classification, les graviers hétérogènes correspondent donc aux sédiments dont le ratio sable sur vase est compris entre 1 et 9 et dont la fraction supérieure à 2 mm est comprise entre 5 et 80 %.

- 4. Les sables grossiers (en orange sur la Figure 39), correspondant à ce que Folk nommait les sables graveleux (gS sur la Figure 42) et les sables légèrement graveleux ((g)S sur la Figure 42). Dans l'adaptation de sa classification, les sables grossiers correspondent donc aux sédiments dont le ratio sable sur vase est supérieur à 9 et dont la fraction supérieure à 2 mm est comprise entre 1 et 30 %.

- 5. Les sables dunaires (en jaune sur la Figure 39), correspondant à ce que Folk nommait les sables (S sur la Figure 42), c'est-à-dire des sédiments dont le ratio sable sur vase est supérieur à 9 et dont la fraction supérieure à 2 mm est inférieure à 1 %.

- 6. Les sables fins plus ou moins envasés (en gris sur la Figure 39), correspondant à ce que Folk nommait les sables envasés (mS sur la Figure 42), c'est-à-dire des sédiments dont le ratio sable sur vase est compris entre 1 et 9 et dont la fraction supérieure à 2 mm est inférieure à 1 %.

- 7. Les sables hétérogènes (en rouge sur la Figure 39), correspondant à ce que Folk nommait les sables vaseux légèrement graveleux ((g)mS sur la Figure 42) et les vases sableuses légèrement graveleuses ((g)sM sur la Figure 42). Dans l'adaptation de sa classification, les sables hétérogènes correspondent donc aux sédiments dont le ratio sable sur vase est compris entre 1/9 et 9 et dont la fraction supérieure à 2 mm est comprise entre 1 et 5 %.

Les autres catégories de la classification de Folk qui ne sont pas reprises dans cette adaptation n'ont pas été considérées car elles n'ont pas été rencontrées lors des campagnes d'échantillonnage.

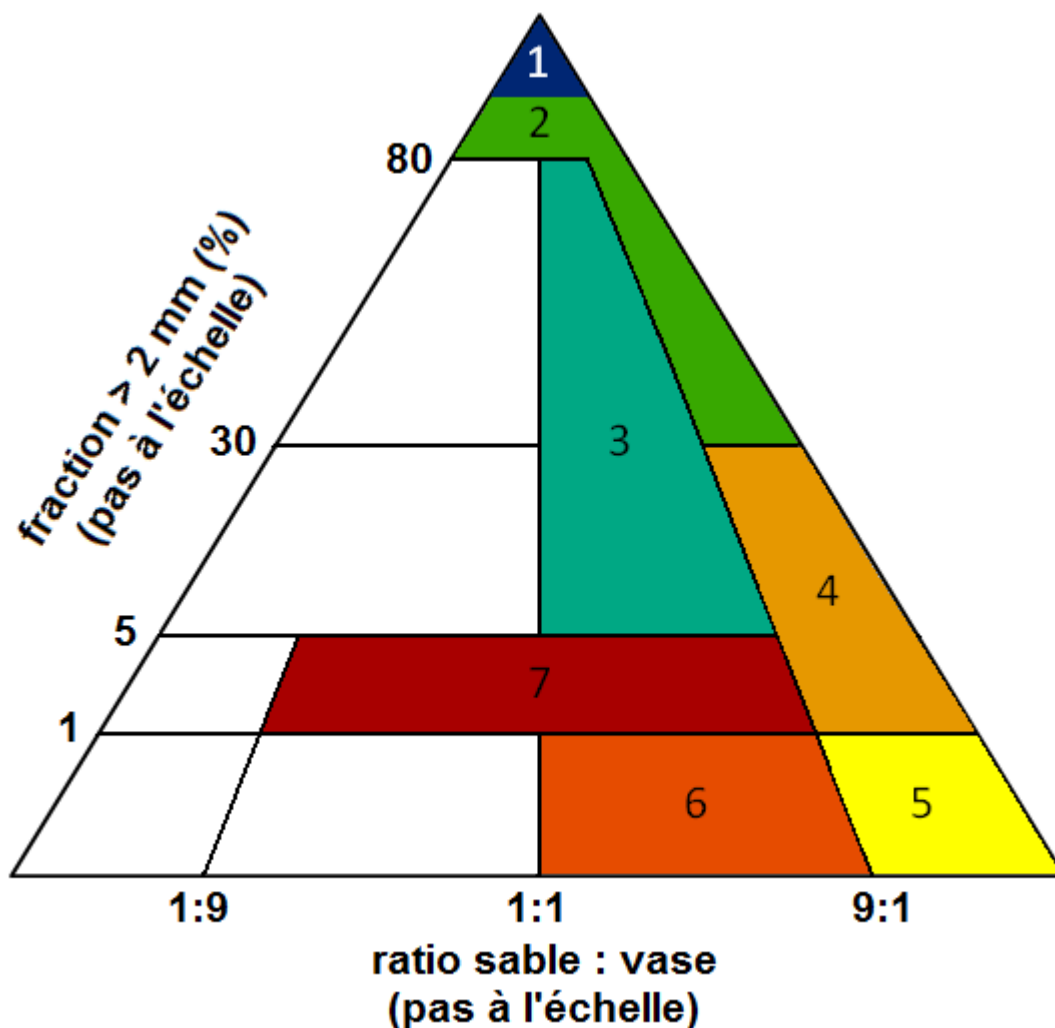


Figure 39 : Diagramme triangulaire de Folk adapté dans le cadre de cette étude.

III.3. Les données

Afin de réaliser la cartographie de la couverture sédimentaire du bassin oriental de la Manche, les données granulométriques des campagnes précédemment citées ont été utilisées. En effet, lors de ces six campagnes, une fraction de sédiment a été prélevée en vue de la détermination du type sédimentaire de la station échantillonnée. 1944 stations ont ainsi pu être exploitées (1444 stations pour les années 1971-1976 et 500 stations pour les années 2004-2007).

Afin d'établir la carte de la couverture sédimentaire, les données granulométriques issues de deux autres campagnes (Copale-Authie : 190 stations dans la zone côtière des trois milles, Benthoseine : 45 stations en Baie de Seine) ont été ajoutées pour disposer du maximum de données possibles (2179 stations).

III.3.1. Les campagnes Copale-Authie

La première mission (mission Authie) a eu lieu du 09/03/98 au 16/03/98 sur le N/O «Côtes de la Manche». Elle a été menée entre la pointe d'Ailly et le cap d'Alprech. Des radiales perpendiculaires à la côte et espacées tous les milles ont été réalisées (avec un maximum de quatre stations prospectées par radiales). Au cours de cette campagne, 122

stations ont ainsi été échantillonnées à la benne Hamon, avec un prélèvement pour l'analyse granulométrique et deux prélèvements pour l'analyse de la macrofaune benthique. Le tamisage a été effectué sur un tamis de vide de maille circulaire de 2 mm.

La seconde mission a eu lieu du 22/03/00 au 28/03/00 sur le N/O «Côtes de la Manche». 74 stations ont été échantillonnées sur la bande côtière entre Boulogne-sur-Mer et la frontière belge, suivant le même protocole.

La localisation de toutes les stations échantillonnées est présentée (Figure 40).

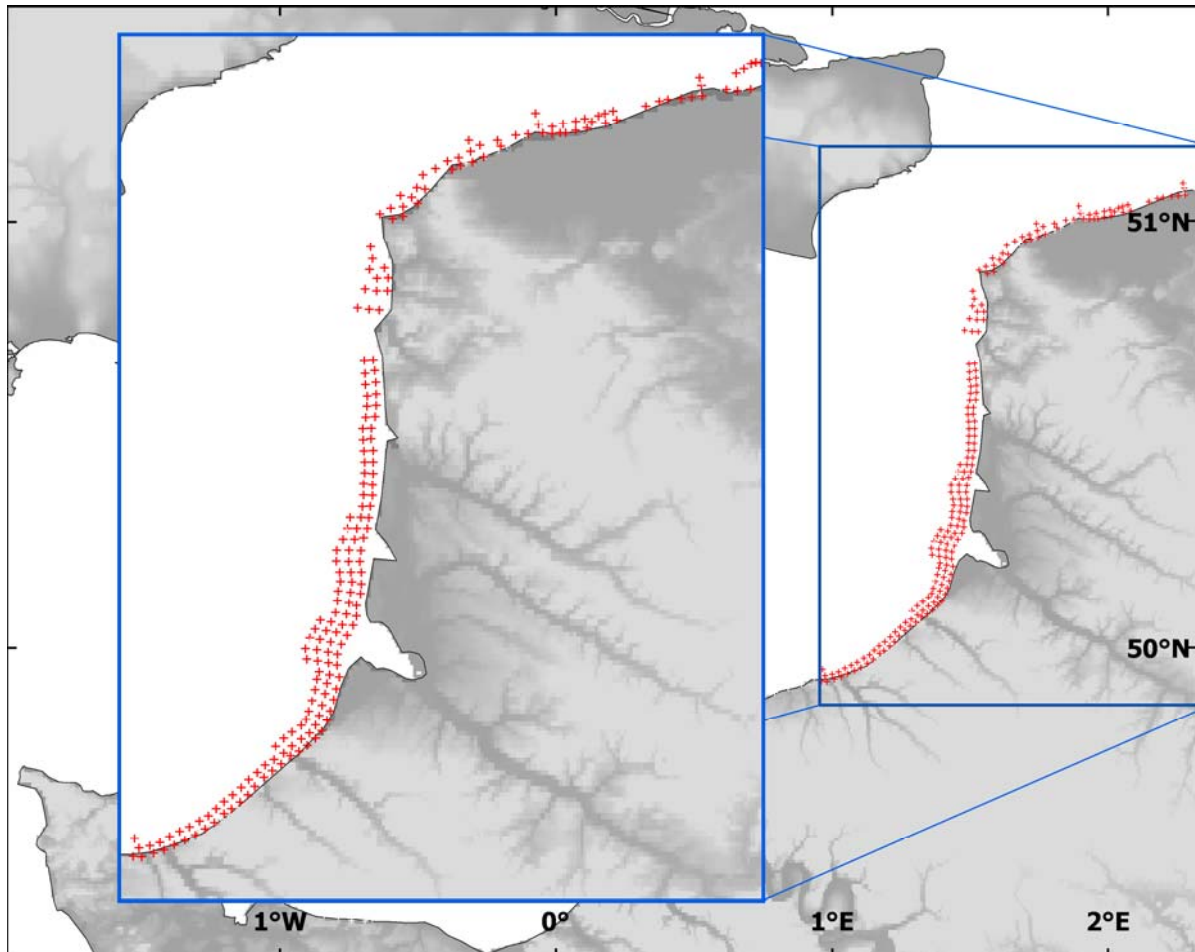


Figure 40 : Localisation géographique des stations Copale-Authie.

L'ensemble des résultats issus de cette campagne sont accessibles en consultant le mémoire de Diplôme Supérieur de Recherche de Warembourg (2001) pour la campagne Authie et la publication de Desroy *et al.* (2003).

III.3.2. La campagne Benthoseine

La campagne Benthoseine utilisée, Benthoseine99, a été réalisée en période post-hivernale (période de pré-recrutement pour la macrofaune benthique), en mai 1999 (Figure 41). Il s'agit de 45 stations échantillonnées à la benne Hamon (4 répliqués par station). Le tamisage a également été effectué sur un tamis à vide de maille circulaire de 2 mm.

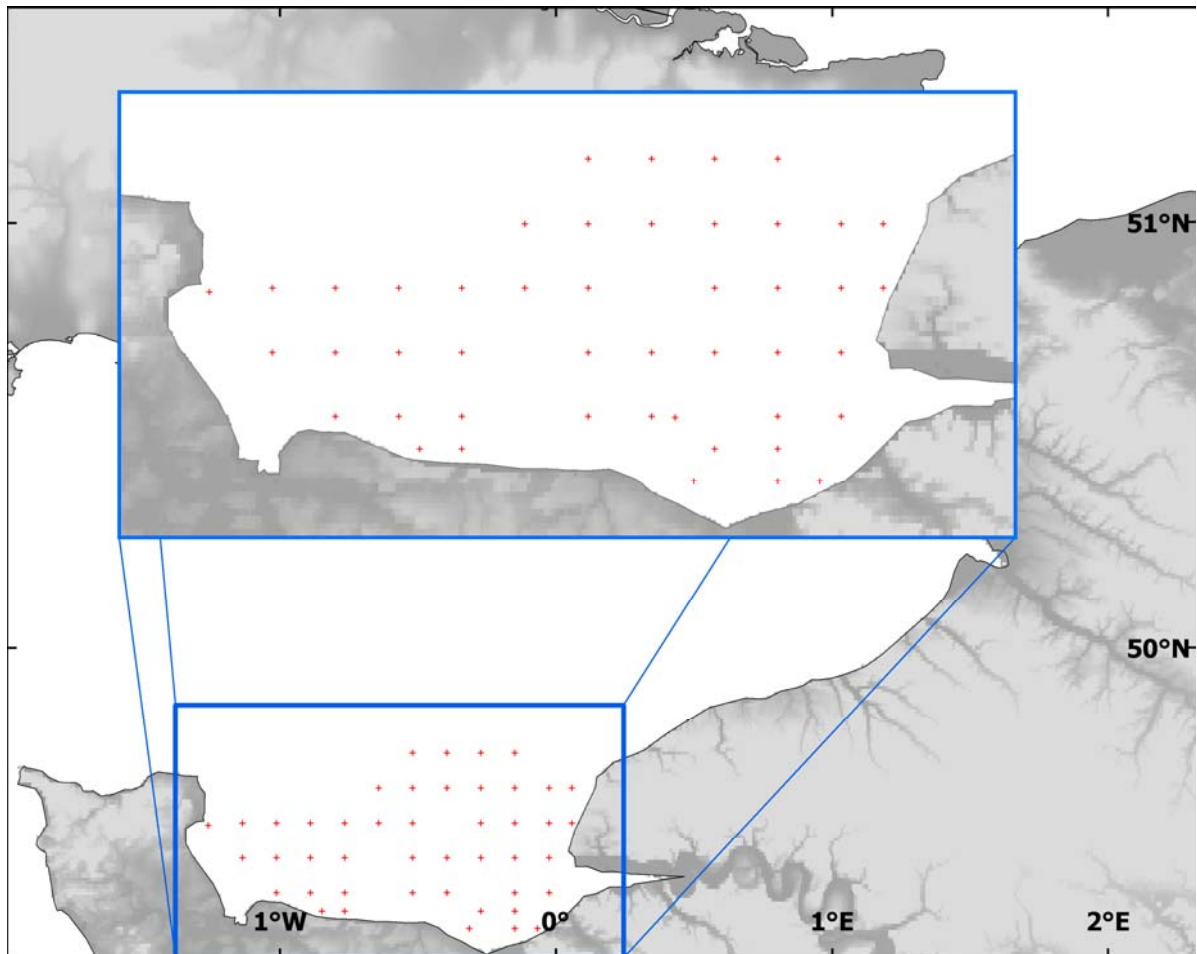


Figure 41 : Localisation des stations échantillonnées au cours de la campagne Benthoseine 99.

L'ensemble des résultats est présenté dans la thèse de K. Ghertsos (2000) et en partie dans une publication de Dauvin et Ruellet (2008).

III.4. Résultats

Les données brutes ne sont pas présentées dans le présent manuscrit car une partie d'entre elles est soumise à une clause de confidentialité dans le cadre de contrats avec des partenaires privés.

Classification de Folk

La classification de Folk est un type de classification de la couverture sédimentaire superficielle.

Il existe différents types de classification des sédiments superficiels. En effet, chaque sédiment est un mélange de grains de différentes tailles. Il y a différentes définitions dans les termes utilisés pour chaque taille de grains. Il existe également des définitions différentes pour les termes employés pour décrire les proportions relatives des différentes tailles de grain.

Une des classifications les plus utilisées dérive de celle proposée par Folk (1954). Dans cette classification, les sédiments sont groupés en trois types : vase, sable et gravier. Cette distinction est faite sur la base du diamètre de grains aux limites entre la vase et le sable (63 µm) et entre le sable et le gravier (2 mm). La proportion relative des grains dans chacune des catégories est utilisée pour décrire le sédiment et peut être reportée sur un diagramme appelé « triangle de Folk » (Figure 42). Les noms attribués à chaque catégorie correspondent aux croisements d'un tableau à double entrée : la première entrée correspond aux graviers et est divisée en 5 catégories, la seconde correspond au ratio sable sur vase et est divisé en 4 catégories. Au total, la classification de Folk décrit le sédiment à travers 15 catégories.

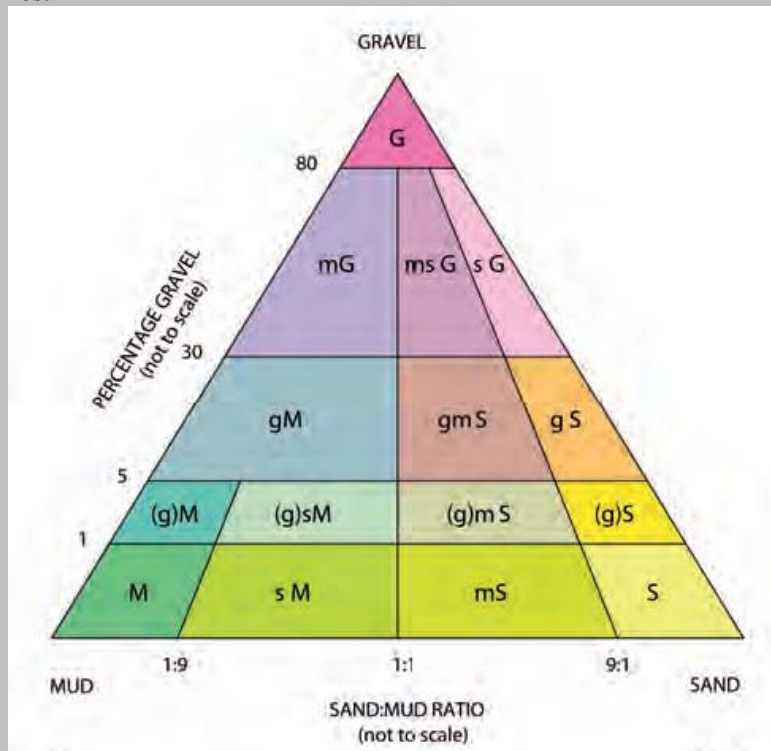


Figure 42 : Triangle de Folk in (James *et al.*, 2007). G : graviers ; sG : graviers ensablés ; gS : sables graveleux ; (g)S : sables légèrement graveleux ; S : sables ; msG : graviers vaso-sableux ; gmS : sables gravelo-vaseux ; (g)mS : sables vaseux légèrement graveleux ; mS : sables vaseux ; mG : graviers vaseux ; gM : vase graveleuse ; (g)sM : vase sableuse légèrement graveleuse ; sM : vase sableuse ; (g)M : vase légèrement graveleuse ; M : vase.

Cette classification, bien que simplifiant les données sédimentaires de façon non négligeable, permet une comparaison des données acquises à différentes périodes (Tableau 4).

Tableau 4 : Tableau de comparaison de différents systèmes de classification.

Classification de Larssonneur		Classifications MNCR, Wentworth and Folk									
Noms des classes	Diamètre des grains	Wentworth Noms des classes	Diamètre des grains	MNCR Noms des classes	Diamètre des grains	Folk Noms des classes	Diamètre des grains				
Galets et coquilles	20	Boulder	256	Boulder	256	Gravel	256				
		Cobble	64	Cobble	64		64				
Gros graviers	10	Pebble	16	Pebble	16		16				
Graviers moyens	5			Gravel							
Petits graviers et granules	2	Granule	2		2		2				
Sables grossiers	1	Sand	Very Coarse	Coarse	1,41	Sand	1,41				
								1	1	1	
Sables moyens	0,5			Coarse	0,71		Medium	0,5	Sand	0,5	
											0,5
Sables fins	0,2			Medium	0,35		Medium	0,35		Sand	0,35
Sablons	0,1	Fine	0,17	Fine	0,17		0,17				
								0,125		0,125	0,125
Sablons fins	0,05	Very Fine	0,088		0,088		0,088				
								0,063	0,063	0,063	
Particules fines, lutites, silts et argiles		Mud		Mud		Mud					

III.4.1. Couverture sédimentaire des années 1970

Pour les années 1971-1976, les données granulométriques sont complètes pour 1444 des 1495 stations prospectées par Cabioch et ses collaborateurs. Seules celles-ci ont été utilisées.

A partir de ces données, dix types sédimentaires différents ont été déterminés en utilisant la classification de Folk : les vases sableuses (sM), les sables (S), les sables vaseux (mS), les sables vaseux graveleux (gmS), les sables vaseux légèrement graveleux [(g)mS], les sables graveleux (gS), les sables légèrement graveleux [(g)S], les graviers (G), les graviers ensablés (sG) et les graviers vaso-sableux (msG). Une fois appliquée la modification effectuée sur la classification de Folk (Figure 39), la répartition des différents types sédimentaires est représentée dans la Figure 43.

D'une manière générale, les sédiments grossiers occupent la majorité de la surface étudiée. Les graviers plus ou moins ensablés occupent la plus grande surface de la zone étudiée, soit 63,23%, suivis par les sables grossiers (22,87 %) et les cailloutis (8,10 %).

L'étude du dendrogramme, réalisé sur la matrice des distances euclidiennes obtenues à partir des données granulométriques, met en évidence six assemblages de stations représentant des caractéristiques communes (Figure 44).

Les caractéristiques moyennes de chaque assemblage sont reportées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques sédimentaires des assemblages identifiés d'après le dendrogramme en pourcentage massique des différentes catégories.

Assemblage	Galets et cailloux	Graviers	Sables grossiers	Sables moyens	Sables fins	Pélites
1	92,16	5,51	1,68	0,60	0,04	0,00
2	50,29	20,04	15,97	11,21	1,99	0,50
3	3,27	8,12	17,85	55,56	14,14	1,06
4	2,52	4,32	7,30	21,88	57,82	6,15
5	9,78	27,89	28,09	26,73	6,68	0,83
6	0,76	1,91	5,69	84,17	7,28	0,18

L'assemblage 1 correspond aux cailloutis. Le pourcentage moyen de galets est de 92,16 %. Les 154 stations appartenant à cet assemblage sont situées au large de la pointe du Cotentin, au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais (Figure 45).

L'assemblage 2 correspond aux sédiments grossiers (galets et graviers) plus ou moins ensablés, avec un pourcentage moyen de graviers et fraction supérieure à 70,33 %. La somme des pourcentages moyens des différents sables est de 29,17 %. Il comprend 330 stations, situées pour la plus grande partie au centre de la Manche orientale (Figure 45).

L'assemblage 3 a un pourcentage moyen de sables moyens de 55,56 %, avec des pourcentages moyens de sables grossiers de 17,85 % et de sables fins de 14,14 %. Il comporte 267 stations réparties en Baie de Seine, dans les zones côtières au large de la Baie de Somme, le long des côtes anglaises et dans le sud de la mer du Nord (Figure 45).

L'assemblage 4 correspond aux sables fins, avec un pourcentage moyen des sables fins est de 57,82 %. Cet assemblage comporte 129 stations réparties essentiellement en zone côtière (Figure 45).

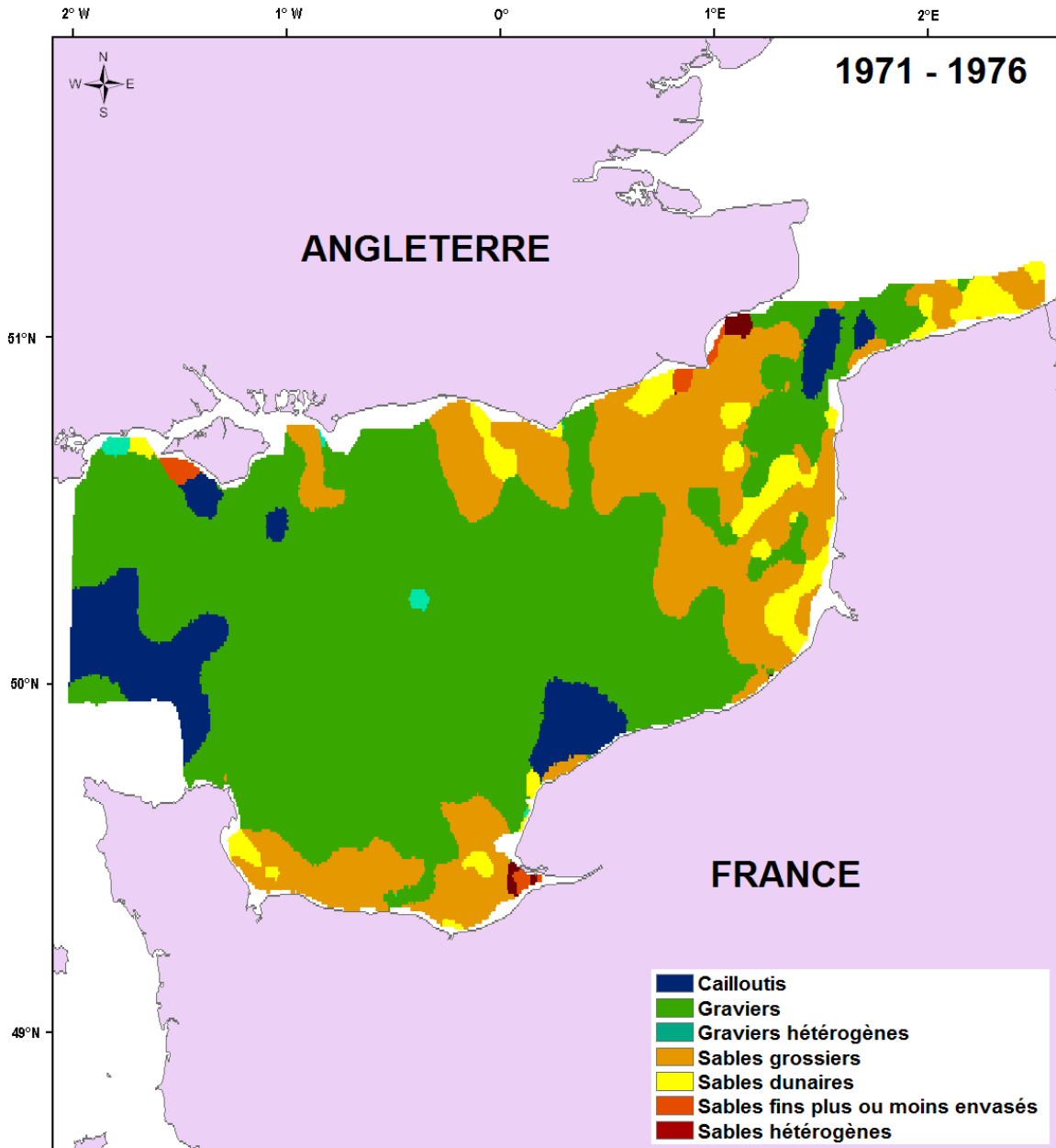


Figure 43 : Localisation des types sédimentaires issus de la classification de Folk modifiée pour la période 1971-1976.

L'assemblage 5 comporte dans des proportions quasiment identiques des graviers (27,89 %), des sables grossiers (28,09 %) et des sables moyens (26,73 %). Cet assemblage peut correspondre aux sédiments de transition entre les graviers ensablés et les sables moyens dunaires. Les 363 stations qui composent cet assemblage se situent aux abords directs des stations de l'assemblage 2 (Figure 45).

L'assemblage 6 correspond aux sables moyens, avec un pourcentage moyens de sables moyens de 84,17 %. Les 201 stations de cet assemblage se répartissent en zone côtière et au large de la Baie de Somme, au niveau de la pointe de Dungeness et dans le sud de la mer du Nord (Figure 45).

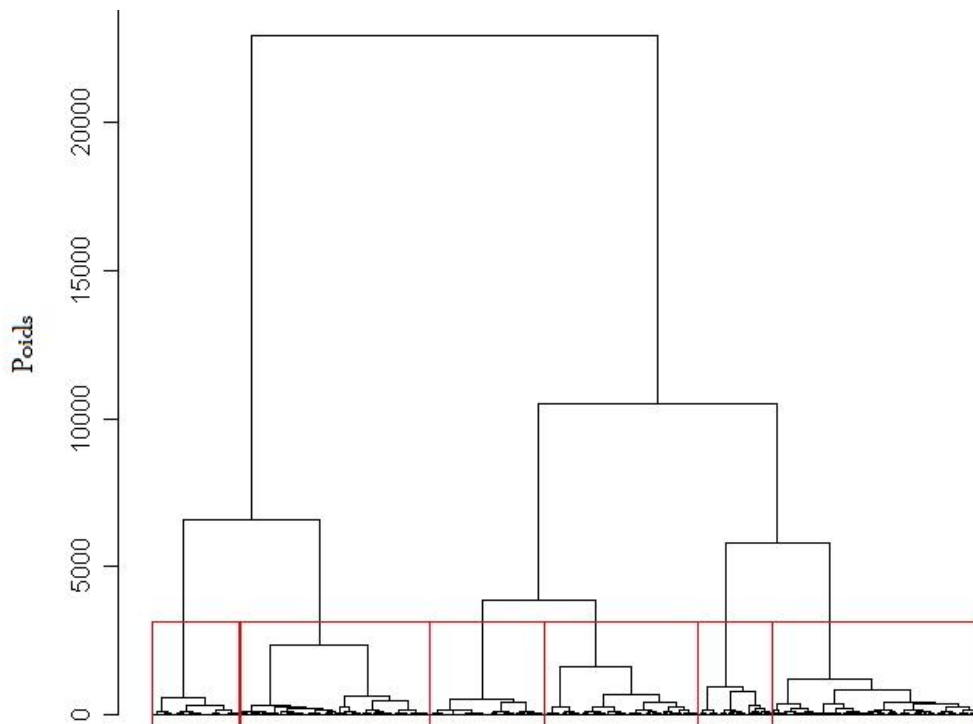


Figure 44 : Dendrogramme effectué à partir de la matrice des distances euclidiennes calculées d'après les données granulométriques 1971-1976.

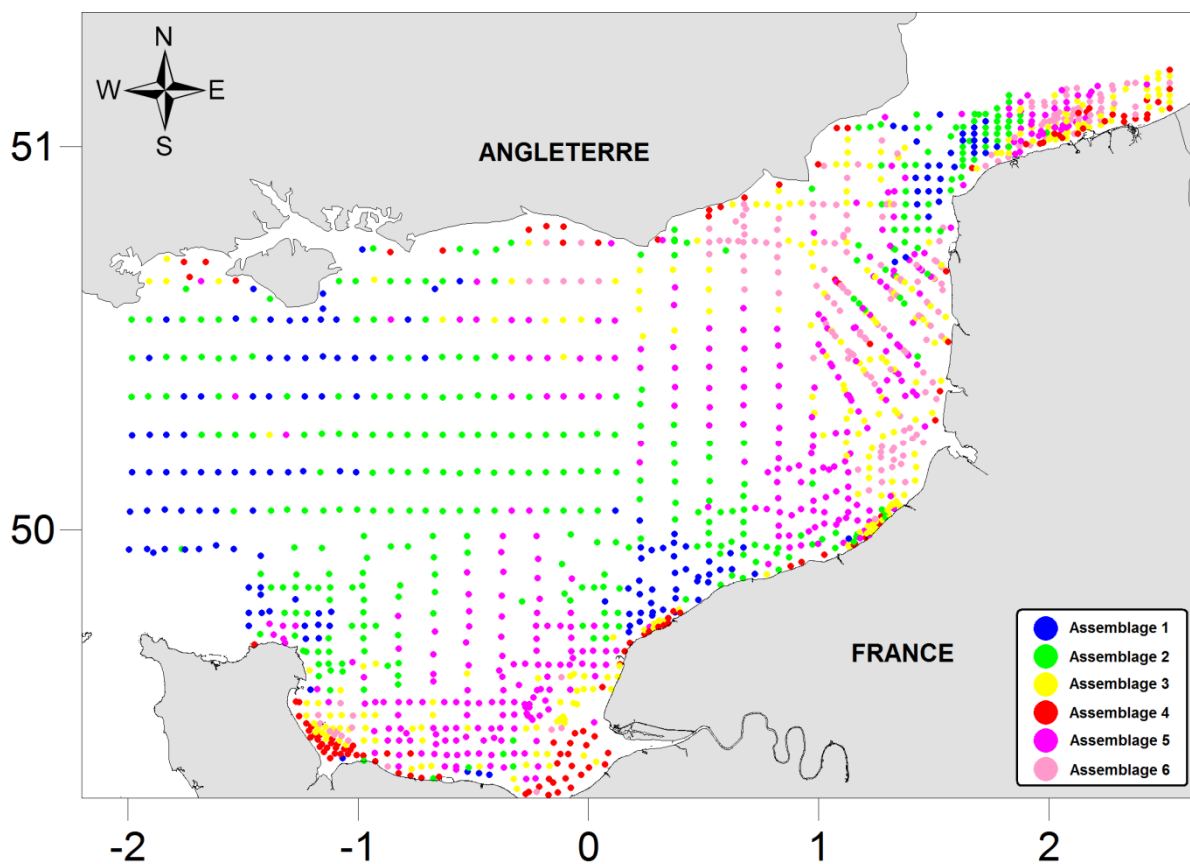


Figure 45 : Localisation géographique des six assemblages identifiés pour les années 1971-1976. Chaque assemblage est représenté par une couleur unique; coordonnées en degrés décimaux.

Les sédiments envasés, c'est-à-dire ceux pour lesquels le taux de pélites est supérieur à 10 % de la masse sédimentaire, représentent seulement 2,35 % du nombre de stations. Les sédiments « sales », dont le taux de pélites est compris entre 5 et 10 % (Glémarec, 1969) sont représentés à hauteur de 2,49 % du nombre de stations. 5 % de vase dans le sédiment est le pourcentage à partir duquel des espèces vasicoles peuvent apparaître.

III.4.2. Couverture sédimentaire actuelle

L'analyse granulométrique a été réalisée sur la totalité des stations, à l'exception de 34 des 735 stations prospectées au cours des différentes campagnes récentes (soit 7,4 % des stations). Deux raisons expliquent la non-considération de ces 34 stations :

- la non-identification des prélèvements, soit 31 des 34 stations non analysées (dont la plupart sont issues de la campagne MODIOLES), ce qui représente un pourcentage de 6,7 % par rapport au nombre total de stations ;
- un volume insuffisant récolté lors de l'échantillonnage ; soit 3 des 34 stations, ce qui renvoie à 0,7 % du nombre total de stations analysées.

Pour réaliser l'analyse granulométrique, un volume moyen de 1243 g a été utilisé, tous types sédimentaires confondus.

La validation des résultats des analyses granulométriques est présentée dans le Tableau 6. Le nombre d'échantillons, pour lesquels la masse collectée pour l'analyse granulométrique est satisfaisante au regard des critères définis par MESH (Coggan *et al.*, 2007), est relativement faible (39 échantillons sur les 659 pris en compte pour cette comparaison). Ces 39 échantillons appartiennent à la catégorie des sables. D'après les préconisations du protocole, tous les échantillons de sédiments grossiers ou contenant des particules grossières (coquilles ou graviers) utilisés pour cette étude n'ont pas été échantillonnés en quantité suffisante. Dans ce protocole, la masse à prendre en considération augmente rapidement lorsque la présence de grains de plus grande taille intervient. Ainsi, il faudrait ramener au laboratoire des échantillons granulométriques de 35 voire 50 kg lors de l'occurrence substantielle de cailloux de 6,3 cm dans un prélèvement. Il reste bien entendu à définir quantitativement ce que signifie « substantielle ». A défaut d'une définition objective de ce terme et pour plus de sécurité, la taille maximale des grains a été utilisée et non la taille maximale des grains dans une proportion dite « substantielle ».

Tableau 6 : Evaluation des échantillons granulométriques ramenés au laboratoire.

Taille maximale des grains présent dans l'échantillon (en mm)	Masse minimale à échantillonner pour le tamisage (en g)	Pourcentage d'échantillons Satisfaisants/total	Masse minimale (en g)	Médiane de la masse (en g)	Masse maximale (en g)
1,25	< 100	2/2	270,15	326,88	383,61
1,60	<100	1/1	1319,45	1319,45	1319,45
5,00	170	28/28	201,12	840,34	1429,79
20,00	2000	8/356	180,52	1082,97	2332,99
50,00	35000	0/188	212,74	1149,28	3912,34
63,00	50000	0/84	385,28	1275,76	4032,68

Suivant la classification de Folk d'origine, les données granulométriques actuelles se rangent aussi dans dix catégories sédimentaires : les graviers (G), les graviers ensablés (sG), les graviers vaso-sableux (msG), les sables (S), les sables gravelo-vaseux (mgS), les sables graveleux (gS), les sables vaseux (mS), les sables vaseux légèrement graveleux [(g)mS], les sables légèrement graveleux [(g)S] et les vases sableuses légèrement graveleuses [(g)sM]. Une fois appliquée la modification effectuée sur la classification de Folk (Figure 39), la répartition des différents types sédimentaires est représentée dans la Figure 46.

Les graviers plus ou moins ensablés occupent 45,63% de la superficie étudiée (soit 284 stations), les sables grossiers (36,50 % soit 195 stations) et les sables moyens (11,89 % soit 133 stations).

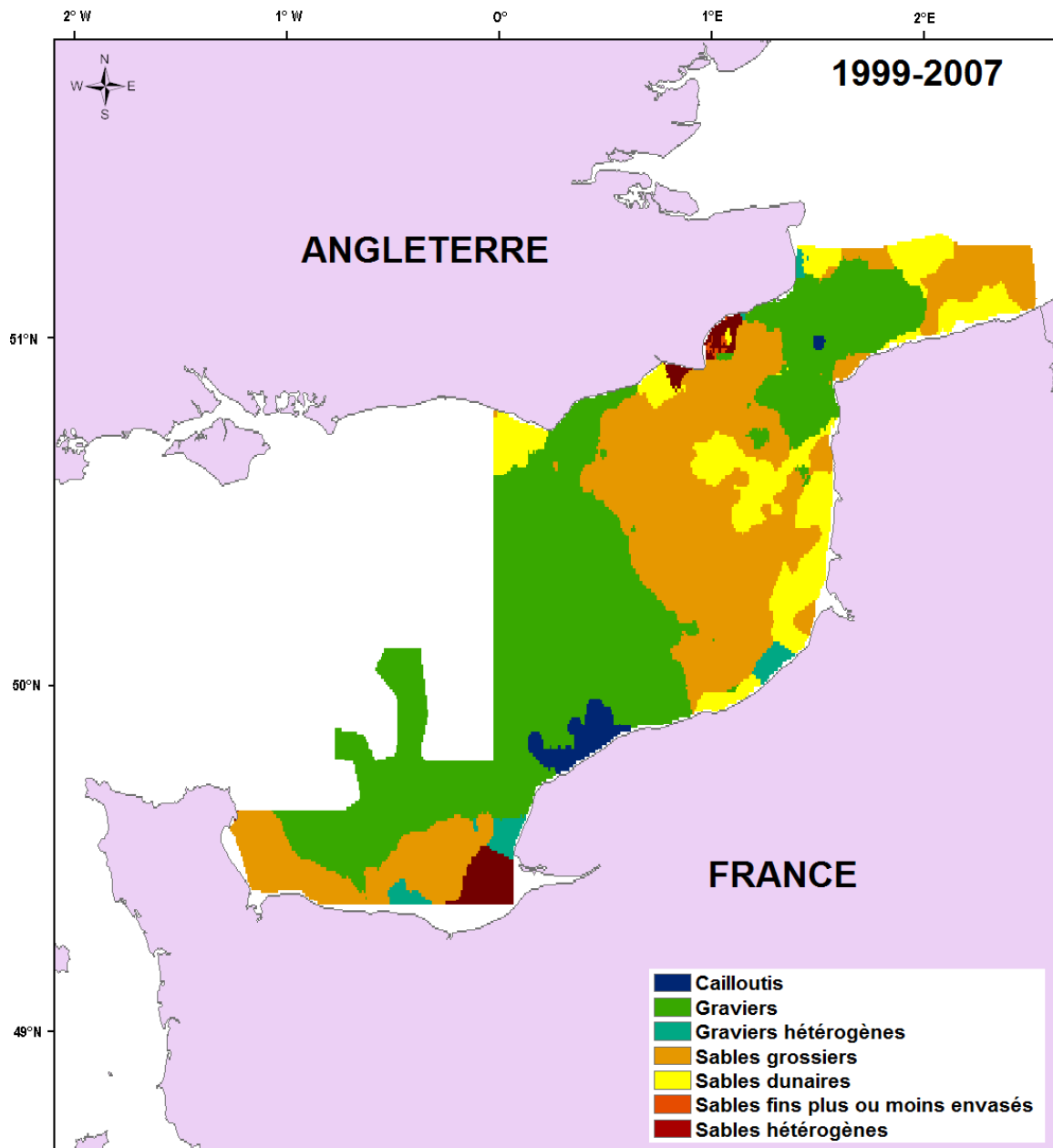


Figure 46 : Localisation des types sédimentaires issus de la classification de Folk modifiée pour la période 1999-2007.

L'étude du dendrogramme, réalisé sur la matrice des distances euclidiennes obtenues à partir des données granulométriques, met en évidence six assemblages de stations représentant des caractéristiques communes (Figure 47).

7. Les caractéristiques moyennes de chaque assemblage sont reportées dans le Tableau

Tableau 7 : Caractéristiques sédimentaires des assemblages identifiés d'après le dendrogramme : taille médiane des particules sédimentaires et pourcentages massiques des différentes catégories.

Assemblage	Médiane (mm)	Galets et cailloux	Graviers	Sables grossiers	Sables moyens	Sables fins	Pélites
1	1,82	10,40	47,40	20,11	20,61	2,45	0,61
2	0,56	4,57	20,24	28,32	40,32	7,16	0,78
3	0,18	0,00	2,03	3,19	68,02	26,33	0,43
4	0,24	0,36	2,73	8,19	79,17	9,36	0,34
5	0,14	0,00	1,31	1,68	24,70	69,77	2,54
6	9,69	55,68	18,07	11,95	10,14	3,10	2,83

L'assemblage 1 correspond aux graviers ensablés, avec une valeur de médiane des sédiments de 1,82 mm. Ceci est corroboré par un pourcentage moyen de graviers de 47,40 % et un pourcentage moyen de sables moyens de 20,61 %. Les 225 stations appartenant à cet assemblage sont situées au large de la baie de Seine, au centre du chenal du bassin oriental de la Manche et dans le détroit du Pas de Calais (Figure 48).

L'assemblage 2 correspond aux sables graveleux, avec une médiane de 0,56 mm. Le pourcentage de sable moyens est de 40,32 % et le pourcentage moyen de graviers est de 20,24 %. Il comprend 173 stations, situées en Baie de Seine et sur une bande entre Dieppe – Beachy Head et Baie de Somme – Dungeness (Figure 48).

L'assemblage 3 correspond aux sables moyens et fins, avec une médiane des sédiments de 0,18 mm. Il comporte 75 stations réparties le long des côtes françaises, au large des trois estuaires du bassin oriental de la Manche (Somme, Canche, Authie) et au sud de la mer du Nord (Figure 48).

L'assemblage 4 correspond aux sables moyens propres typiques, avec une médiane des sédiments de 0,24 mm. Le pourcentage moyen des sables moyens est de 79,17 %. Cet assemblage comporte 105 stations réparties au large des trois estuaires et dans le sud de la mer du Nord (Figure 48).

L'assemblage 5 correspond aux sables fins, avec une médiane des sédiments de 0,14 mm. Le pourcentage moyen des sables fins est de 69,34 %. Les 62 stations qui composent cet assemblage se situent essentiellement aux sorties des fleuves (Figure 48).

L'assemblage 6 correspond aux cailloutis, avec une valeur de médiane des sédiments de 9,69 mm. Les 95 stations de cet assemblage se répartissent au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais (Figure 48).

Les sédiments envasés, c'est-à-dire ceux pour lesquels le taux de pélites est supérieur à 10 %, représentent 2,72 % du nombre de stations. Les sédiments « sales » sont représentés à hauteur de 1,36 % du nombre de stations.

III.4.3. Comparaison des couvertures sédimentaires

Ces différents groupes ont été cartographiés et la carte de l'évolution des différences entre les deux périodes a été réalisée (Figure 49) :

- en vert figurent les zones pour lesquelles il y a peu ou pas de changements (69 % de la surface selon une analyse d'image réalisée sous SigmaScan Pro 5);
- en jaune, celles où les sédiments se sont affinés (21 % de la surface);
- et en gris, celles où les sédiments sont devenus plus grossiers (10 % de la surface).

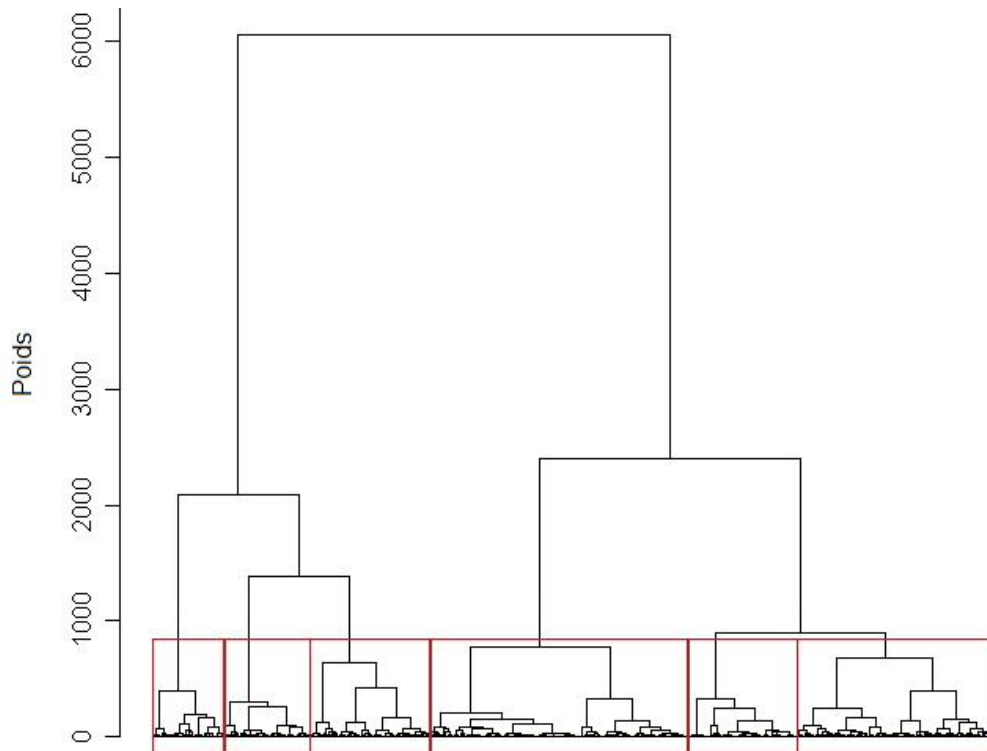


Figure 47 : Dendrogramme effectué à partir de la matrice des distances euclidiennes calculées d'après les données granulométriques 1999-2007.

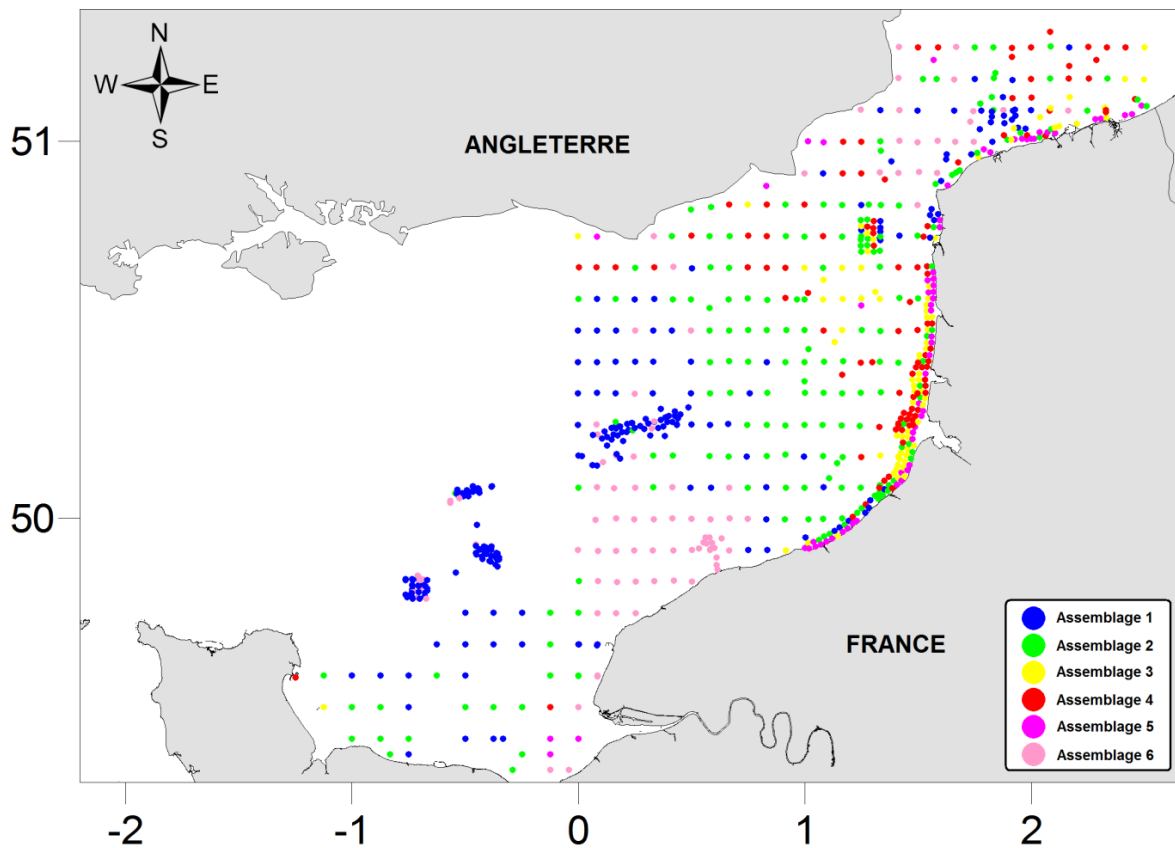


Figure 48 : Localisation des six assemblages géographiques identifiés pour les années 1999-2007. Chaque assemblage est représenté par une couleur unique; coordonnées en degrés décimaux.

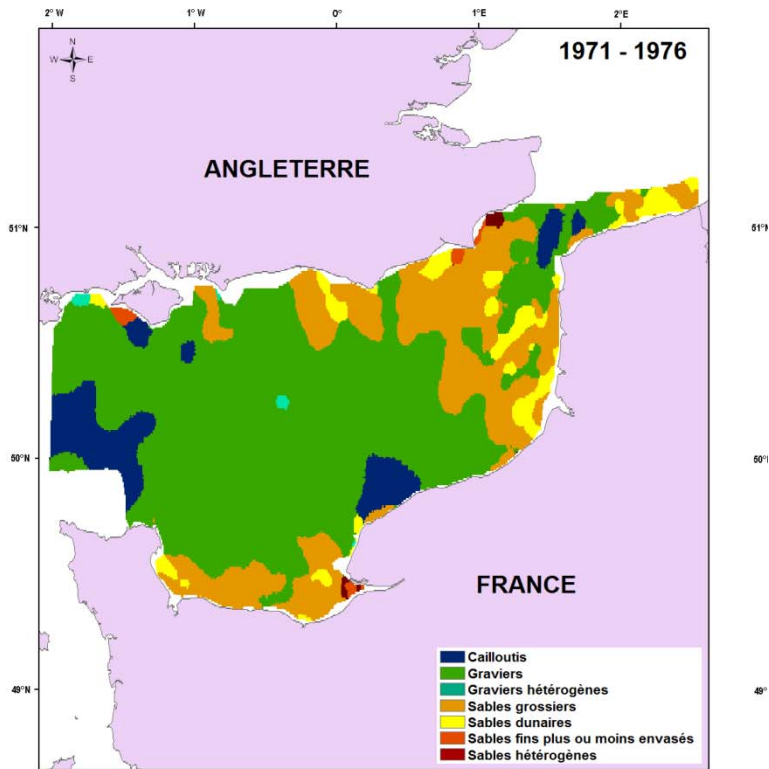
III.5. Discussion

Les représentations spatiales établies à partir des CAH sont plus difficiles à interpréter que celles établies à partir de la classification de Folk modifiée. En effet, les CAH établissent des assemblages à partir des données granulométriques elles-mêmes (et donc de référentiels différents selon les périodes, ne serait-ce qu'au niveau du nombre de stations et de la zone considérés) tandis que la classification de Folk modifiée utilisée pour les deux périodes comme référentiel est la même. Il y a toutefois des correspondances possibles pour certains assemblages entre les analyses effectuées par CAH pour la période 1971-1976 et celles effectuées pour la période 1999-2007. Par exemple, l'assemblage 1 pour la période 1971-1976 et l'assemblage 6 pour la période 1999-2007 correspondent tous deux à l'assemblage des cailloutis. Cette correspondance est certainement la plus satisfaisante. L'assemblage 4 pour la période 1971-1976 et l'assemblage 5 pour la période 1999-2007 correspondent tous deux à des assemblages de sables fins et ceux notés 6 pour la période 1971-1976 et 4 pour la période 1999-2007 à des assemblages de sables moyens. Mais ces correspondances sont plus approximatives et les limites de ces assemblages correspondent probablement à des limites granulométriques légèrement différentes aux deux périodes.

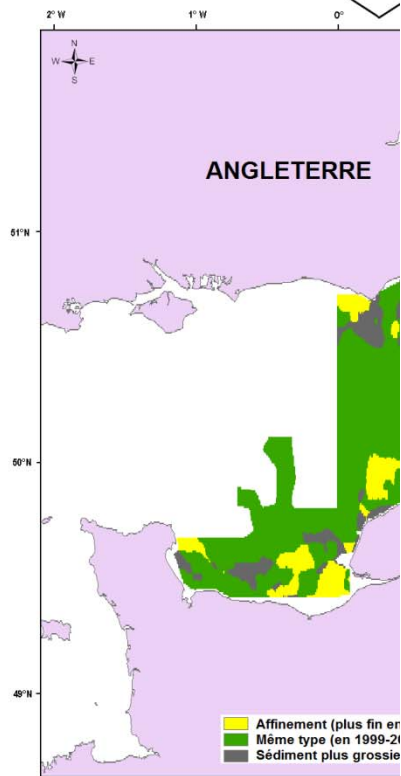
Les représentations spatiales effectuées à partir des groupes sédimentaires (à partir des CAH pour les assemblages qui le permettent, et à partir de la classification de Folk modifiée) mettent en évidence une relative stabilité de la couverture sédimentaire dans le bassin oriental de la Manche. Une analyse d'image effectuée à partir de la Figure 49 révèle en effet que 69 % de la zone étudiée présente peu voire pas de changements. Ces observations sont à mettre en relation avec l'hydrodynamisme qui, dans ce secteur de la Manche, est un facteur dominant et structurant de la couverture sédimentaire (Pingree et Griffiths, 1979, Beck *et al.*, 1991, Salomon et Breton, 1991, Grochowski *et al.*, 1993b, Grochowski et Collins, 1994, Le Bot *et al.*, 2000, Le Bot et Trentesaux, 2004, Guillou et Chapalain, 2006, Anthony et Héquette, 2007, Guillou et Chapalain, 2008) qui ne varie pas à l'échelle d'observation utilisée (30 ans). Les autres données récentes disponibles (James *et al.*, 2007, Bolam *et al.*, 2008) se focalisent sur des zones restreintes et n'apportent pas d'informations supplémentaires dans le cadre d'une comparaison à trente ans d'intervalle. Les zones où un changement est observable se situent dans les baies, à la sortie des estuaires et à proximité des zones de bancs de sable connues. Ces évolutions sont attribuables à diverses causes présentées ci-dessous.

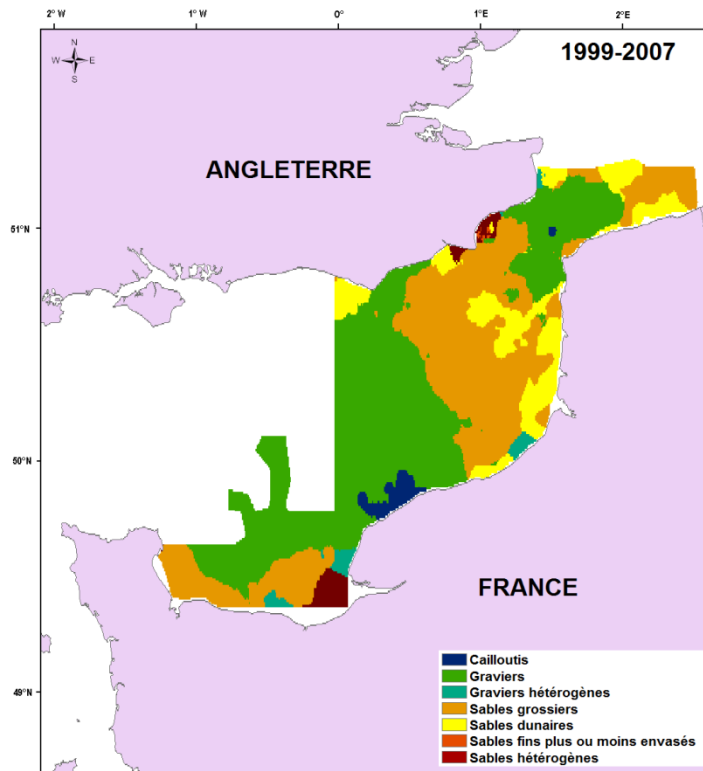
III.5.1. Biais méthodologiques

En ce qui concerne les sédiments plus grossiers, les variations observées peuvent venir d'un biais méthodologique : la technique granulométrique employée pour l'analyse sédimentaire, c'est-à-dire l'analyse massique. En effet, les éléments les plus grossiers (tels que les graviers ou les coquillages) prennent en terme de masse parfois autant, voire plus, d'importance que les sédiments fins alors qu'ils ne représentent que peu de chose en terme de volume. Ainsi, un sédiment a pu être considéré comme plus grossier dans la présente analyse par rapport à celle réalisée dans les années 71-76 simplement parce qu'il contient un peu plus de coquilles. Ce biais est commun à l'ensemble des campagnes d'échantillonnage et ne peut être raisonnablement contourné. En revanche, comme il a été indiqué précédemment dans ce chapitre, le protocole établi par MESH préconise l'analyse de masses importantes (35 à 50 kg !) qu'il est difficilement imaginables de collecter dans un travail comportant un grand nombre de stations mais qui, s'il était suivi, permettrait de mieux



DIFFERENCIATION





↓
EREN

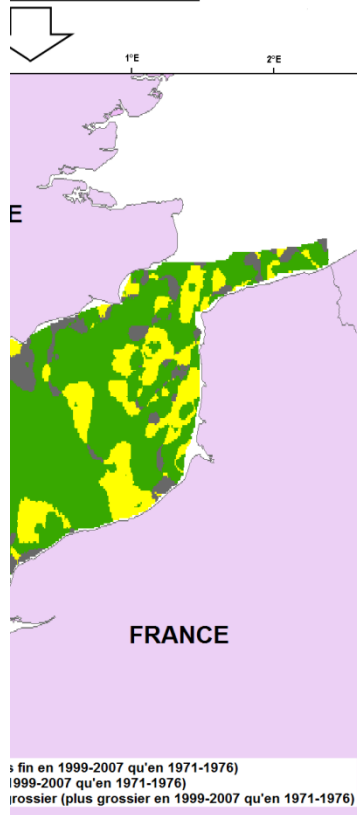


Figure 49 : Comparaison des couvertures sédimentaires entre les années 1971-1976 et les années 1999-2007.

caractériser les sédiments grossiers en accordant aussi une meilleure prise en compte des éléments les plus fins.

III.5.2. Variabilité naturelle

Au niveau des estuaires, les différences observées sont peut-être liées aux différences de saison d'observation. En effet, plusieurs études ont montré qu'il existait une dynamique des dépôts sédimentaires à l'embouchure des fleuves tels que la Seine pour ne citer que le plus grand en Manche orientale (Le Hir *et al.*, 2001, Lesourd *et al.*, 2001, Lesourd *et al.*, 2003, Deloffre *et al.*, 2005, Dubrulle *et al.*, 2007, Waeles *et al.*, 2007). A l'échelle saisonnière, la dynamique sédimentaire correspond à une succession de périodes de dépôts et d'érosion. En hiver, les dépôts vaseux sont liés aux crues du fleuve. En été, lors de l'étiage de la Seine, les dépôts hivernaux sont érodés par les vagues et les courants de marée : les particules fines sont alors exportées plus en amont dans le fleuve ou vers la baie de Seine. C'est au cours de cette période qu'ont lieu les remaniements sédimentaires les plus rapides puisqu'ils peuvent s'effectuer au cours d'une marée. Ces derniers ne sont d'ailleurs pas sans conséquence sur les communautés macrobenthiques en place, dont la structure peut être profondément modifiée (Desroy *et al.*, 2007). Plusieurs auteurs s'accordent aussi sur le fait que les effets des vagues et de la marée sont prédominants par rapport à la décharge sédimentaire de la Seine sur la couverture sédimentaire de l'estuaire (Le Hir *et al.*, 2001, Lesourd *et al.*, 2001, Lesourd *et al.*, 2003, Waeles *et al.*, 2007). Les différences de couverture sédimentaire observées à trente ans d'intervalle à proximité des estuaires peuvent donc s'expliquer par cette variabilité naturelle à « haute » (comparée à la période de trente ans) fréquence. Cette hypothèse ne peut être testée avec le jeu de données collecté durant la thèse car il ne comprend pas de suivi temporel au niveau ne serait-ce que d'une seule station. Toutes les stations d'un même secteur géographique ont en effet été échantillonnées quasiment en même temps (à quelques jours d'intervalle tout au plus).

Il ne faut toutefois pas exclure de réelles modifications de la couverture sédimentaire. L'estuaire de Seine, très anthropisé et fortement aménagé, pour reprendre l'exemple précédent, est depuis quelques années soumis à des phénomènes d'envasement de ses côtes et d'ensablement de son embouchure qui tendent à le colmater (Lesourd *et al.*, 2001, Lesourd *et al.*, 2003).

III.5.3. Évènements tempétueux

Au niveau des zones de bancs de sable et des baies, des modifications notables de la couverture sédimentaire peuvent avoir lieu lors des périodes de tempêtes, à l'instar de celles enregistrées par Le Bot *et al.* (2000). Ces auteurs ont montré que les dunes sous-marines (formations qui façonnent le sommet des bancs sableux et en donnent la structure ou qui se rencontrent isolément) sont susceptibles de se déplacer très rapidement (jusqu'à 40 m.an⁻¹), perturbant ainsi les voies de navigation mais aussi la structure des communautés benthiques. Lors d'études menées pendant les campagnes MODIOLES et RIDENS, des ensablements ont été observés (Alizier, 2005, Garcia, 2006, Foveau, 2008). L'hypothèse avancée pour ces modifications sédimentaires était un mouvement des dunes de sable proches qui, dans les deux cas, ont modifié le type sédimentaire (Figure 50, Figure 51).

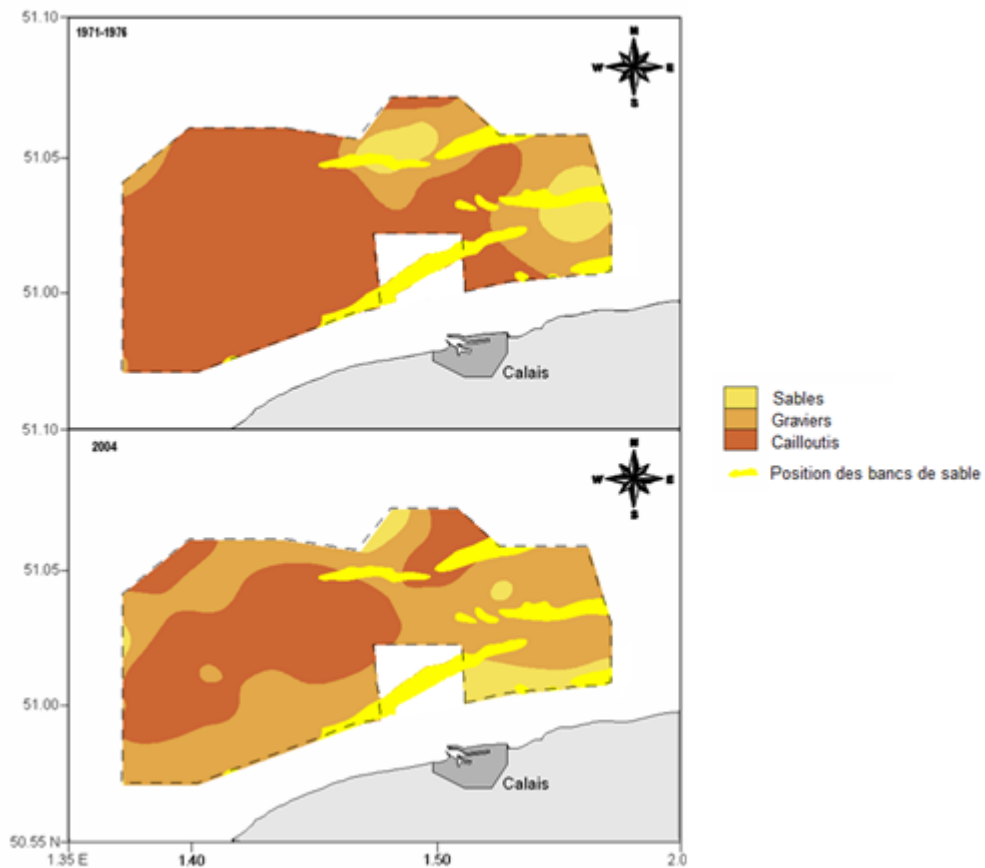


Figure 50 : Evolution de la couverture sédimentaire sur la zone de la campagne MODIOLES ; coordonnées en degrés décimaux.

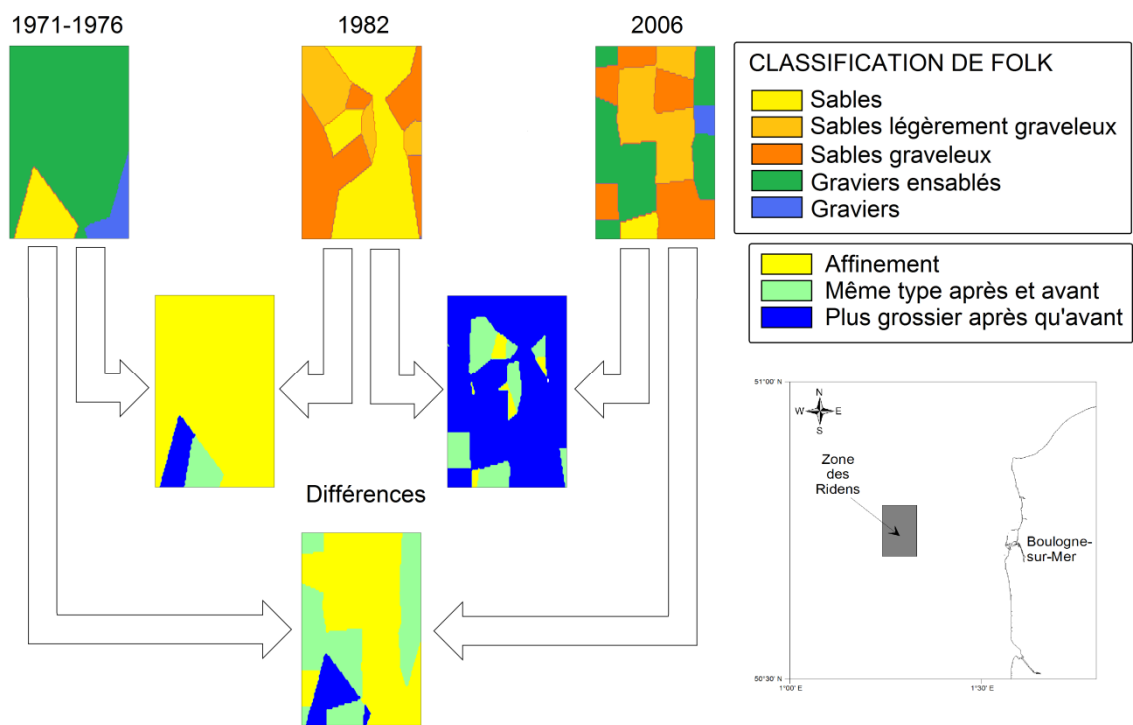


Figure 51 : Evolution de la couverture sédimentaire sur la zone des Ridenes.

De même, lors d'évènements tempétueux, les dunes, très mobiles (Le Bot *et al.*, 2000), peuvent en se déplaçant révéler les fonds plus grossiers, comme par exemple au large de la côte d'Opale (Figure 49). En effet, comme il a été expliqué dans l'introduction, le socle de la Manche a été creusé par le « fleuve Manche » (Bourillet *et al.*, 2003, Lericolais *et al.*, 2003) : les vallées ainsi créées ont ensuite été remplies lors des différentes périodes de transgression et de régression, notamment par des galets. Ces vallées ont ensuite été recouvertes en partie par des bancs sableux ou des dunes sableuses isolées (Figure 6).

III.5.4. Facteurs anthropiques

D'autres phénomènes peuvent aussi, à une toute autre échelle, induire une modification de la couverture sédimentaire. Les chalutages de fond par exemple ont tendance à faire remonter les blocs à la surface du sédiment et à remettre en suspension les éléments les plus fins qui iront se déposer plus loin, d'où une tendance à grossir la taille des éléments sédimentaires en surface sur le lieu de pêche et à l'affiner plus loin (Durrieu de Madron et Ferré, 2005, DFO, 2006, Gilkinson *et al.*, 2006, Rice, 2006).

Cette étude de l'évolution de la couverture sédimentaire dans le bassin oriental de la Manche amène à se poser la question de l'échelle d'observation. En effet, cette évolution a pu être mise en relation avec l'hydrodynamisme dont les caractéristiques sont connues en Manche orientale. Mais cet hydrodynamisme est-il vraiment stable dans le temps ? Cela dépend de l'échelle d'observation. En effet, les mouvements sédimentaires peuvent en partie être reliés à l'influence des tempêtes. Or, les travaux du GIEC stipulent que ces phénomènes extrêmes peuvent voir leur fréquence et/ou leur intensité augmenter dans le temps (Pachauri et Reisinger, 2007). Ces phénomènes extrêmes sont à prendre en considération à une plus grande échelle d'observation que celle de la Manche orientale et surtout des trente années d'observation et sont donc à mettre en relation avec le réchauffement climatique. Peu d'études prennent en compte les paramètres physiques dans le changement d'échelle d'observation (Thrush *et al.*, 1997); la plupart des études sur les échelles d'observation s'intéressent en effet uniquement aux aspects biologiques (Wiens, 1989, Levin, 1992, Underwood et Chapman, 1996, Thrush *et al.*, 1997, Whitlatch *et al.*, 1998).

CHAPITRE IV – LES COMMUNAUTÉS MACROBENTHIQUES
DU BASSIN ORIENTAL DE LA MANCHE

Les données faunistiques ont été étudiées séparément pour chacune des deux périodes puis comparées. Les analyses réalisées pour chacune des périodes ont d'abord été menées sur le plus grand jeu de données possible, c'est-à-dire bien au-delà de l'espace commun aux deux périodes, afin de mettre en évidence les associations faunistiques les plus structurantes. L'objectif de ces analyses était de déterminer pour les deux périodes quels sont les assemblages macrobenthiques rencontrés et de déterminer leur emprise spatiale.

Des focus ont ensuite été réalisés sur des assemblages particuliers en utilisant uniquement les données afférentes à ces assemblages dans les analyses : les assemblages des cailloutis puis les assemblages des graviers ensablés. Les résultats des analyses de similarité diffèrent en effet selon l'échelle d'observation. Cette deuxième série d'analyse a permis d'étudier les évolutions temporelles (étude menée uniquement pour la communauté des cailloutis du Pas de Calais) et surtout spatiales (étude menée pour toutes les communautés à caillouti et à graviers ensablés) de deux des assemblages les plus importants de part leur emprise spatiale dans le bassin oriental de la Manche.

IV.1. Images des assemblages macrobenthiques

Deux types d'analyses complémentaires ont été effectués pour distinguer les différents assemblages macrobenthiques subtidiaux du bassin oriental de la Manche et du sud de la mer du Nord à partir des matrices station x taxa : une analyse factorielle des correspondances permettant de représenter dans un même espace les stations et les taxa, et surtout des classifications ascendantes hiérarchiques permettant de construire des arbres de classification des stations.

IV.1.1. Par Analyse Factorielle des Correspondances

Une AFC a été réalisée sur la matrice station \times espèce pour les années 2004-2007 (Figure 52). La lecture de l'AFC s'avère complexe de part le grand nombre de stations et de taxa à représenter. Par conséquent, seules les stations ont été représentées sur la Figure 52, en distinguant par un jeu de couleurs les différentes catégories sédimentaires rencontrées. Les coordonnées des espèces sur les trois premiers axes sont fournies en Annexe 4. Un effet Gutman est observé avec la représentation des axes 1 et 2 de l'AFC, révélant l'existence d'un gradient environnemental. L'axe 1 de cette AFC explique 10,5 % de l'inertie totale des données. Il est la traduction du gradient sédimentaire : des cailloutis à l'extrémité gauche de l'axe aux sables dunaires à son extrémité droite. C'est donc le principal facteur pouvant expliquer la distribution des communautés benthiques mais 89,5 % de l'inertie totale des données reste donc à expliquer par des facteurs autres que la couverture sédimentaire. Le second axe explique quant à lui 5,5 % de l'inertie totale et le troisième 4,5 %. Ils ne sont pas la traduction (non représentés) de la bathymétrie, ni de la date d'échantillonnage. Les facteurs engin de prélèvement et déterminateur sont fortement liés au gradient sédimentaire. La drague Rallier du Baty n'a été utilisée que dans les sédiments grossiers et la benne Van Veen dans les sédiments fins. La benne Hamon a quant à elle travaillé sur la quasi-totalité du gradient sédimentaire. Au moins 60 % des stations de chaque type sédimentaire n'ont été traitées que par un seul déterminateur (jusqu'à 100 % par une même personne pour les sables dunaires).

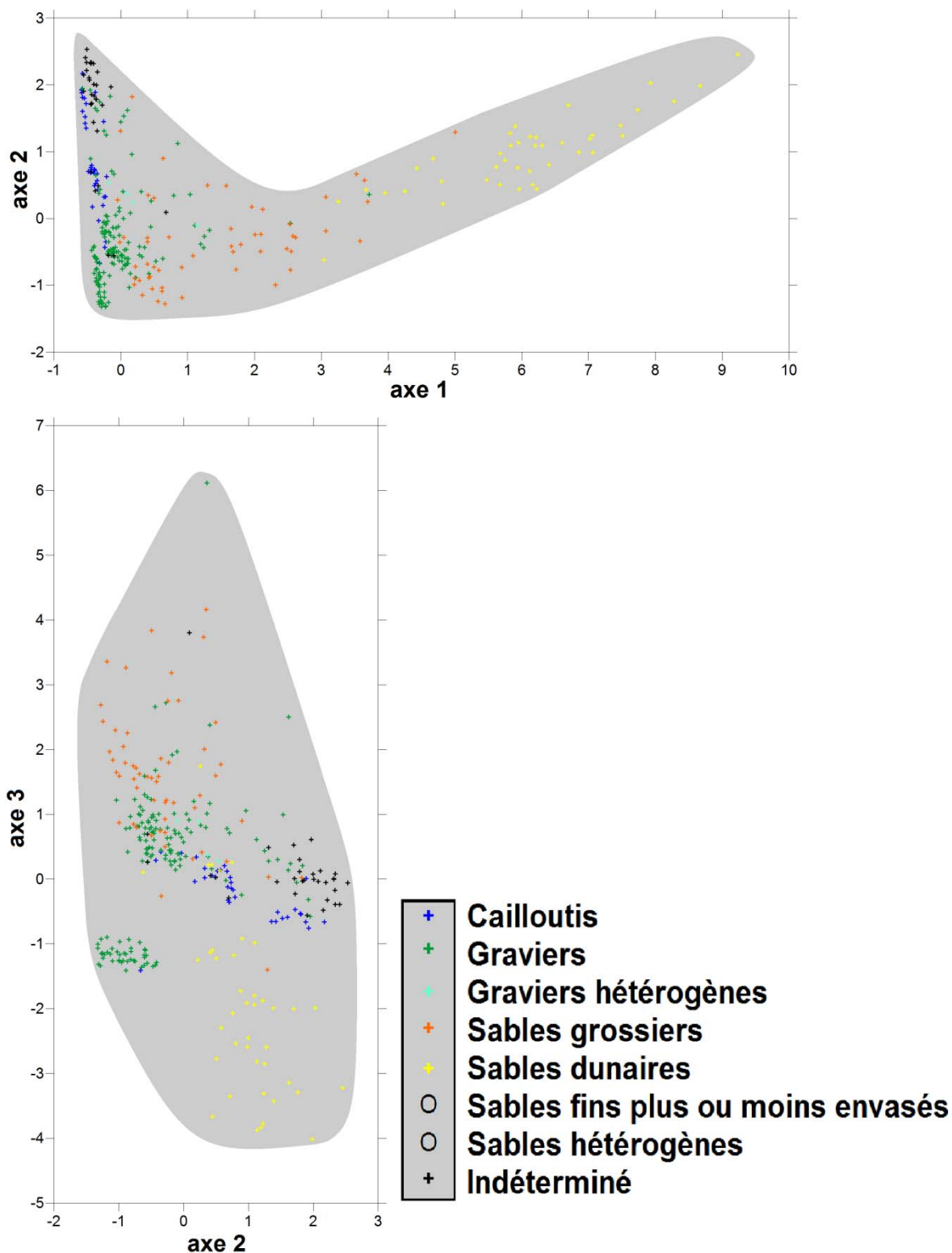


Figure 52 : AFC réalisée sur l'ensemble des données des années 2004-2007.

IV.1.2. Par Classification Ascendante Hiérarchique

Pour toutes les CAH effectuées (Figure 53) dans cette étude, les étapes communes aux différentes variantes de cette analyse sont listées ci-dessous :

- les espèces présentes dans moins de 5 % des stations, dites « rares » par conséquent, ont été systématiquement enlevées des matrices analysées car (i) elles peuvent plus que d'autres correspondre à des espèces difficiles à échantillonner correctement et car (ii), même si elles appartiennent au système et y jouent donc un rôle, leur rôle est quantitativement négligeable à l'échelle du bassin oriental de la Manche. Leur prise en compte risquerait de générer artificiellement des différences entre stations qui n'existent pas ;

- les stations azoïques, ou devenant azoïques une fois les espèces rares ôtées, ont également été supprimées des matrices initiales (les analyses étant impossibles sur des stations vides) ;

- pour les différents dendrogrammes obtenus, un niveau de coupure optimal a été recherché à l'aide de méthodes mathématiques. Deux techniques ont été testées. Le RST ou « Random Simulation Test » (Guidi *et al.*, 2008) a été testé sur les données acquises entre 1971 et 1976 et a donné un trop grand nombre d'assemblages (280), ce qui est difficilement interprétable écologiquement. Cette première technique n'a donc pas été retenue. Une seconde technique développée par Ratkowsky (1984) a été testée et retenue car elle fournit un nombre d'assemblage raisonnable et donc écologiquement interprétable. L'utilisation d'une méthode objective est préférable à l'utilisation seule de l'expérience de l'écologue car celle-ci introduit une vision préconçue du système qui ne peut être dans ce cas composé que d'associations d'espèces et d'espèces/sédiment prédéterminées. L'évolution de ces associations est donc beaucoup plus difficile à mettre en évidence en n'utilisant pas de méthode objective ;

- pour chaque assemblage, une recherche des espèces principales a été réalisée grâce aux DRFs ;

- une recherche des espèces caractéristiques a également été menée pour chaque assemblage par les calculs de constance et de fidélité.

Seuls les assemblages contenant dix stations ou plus sont décrits dans le corps du texte. Les numéros attribués aux assemblages n'ont pas de signification particulière.

Treize CAH ont été réalisées en utilisant le maximum de données :

- deux pour la période 1971-1976 dont avec une avec et une sans l'épifaune sessile,
- trois pour la période 2004-2007 dont une avec et une sans l'épifaune sessile et une autre avec uniquement cette épifaune sessile,
- huit pour comparer les deux périodes dont :
 - o cinq avec toutes les stations dont :
 - une avec tous les taxa des deux périodes,
 - une avec uniquement les taxa communs aux deux périodes afin de réduire le biais déterminateur,
 - deux avec les taxa regroupés à des niveaux taxonomiques permettant d'ôter de façon plus certaine (mais aussi plus subjective pour l'une des deux) le biais déterminateur,
 - une avec les taxa à plus forte probabilité de récolte permettant ainsi d'ôter les biais déterminateur (regroupements taxonomiques de taxa difficiles à distinguer et élimination des taxa difficiles à déterminer) et trieur (élimination des taxa de très petite taille ou facilement abîmés lors de leur manipulation),
 - o trois avec une grille de nœuds communs aux deux périodes (chaque nœud s'est vu affecter les caractéristiques de la station la plus proche) dont :
 - une avec tous les taxa des deux périodes,
 - une avec les taxa regroupés à un niveau taxonomique permettant d'ôter le biais déterminateur,
 - une avec les taxa à plus forte probabilité de récolte permettant ainsi d'ôter les biais déterminateur (regroupements taxonomiques de taxa difficiles à distinguer et élimination des taxa difficiles à déterminer) et trieur (élimination des taxa de très petite taille ou facilement abîmés lors de leur manipulation),

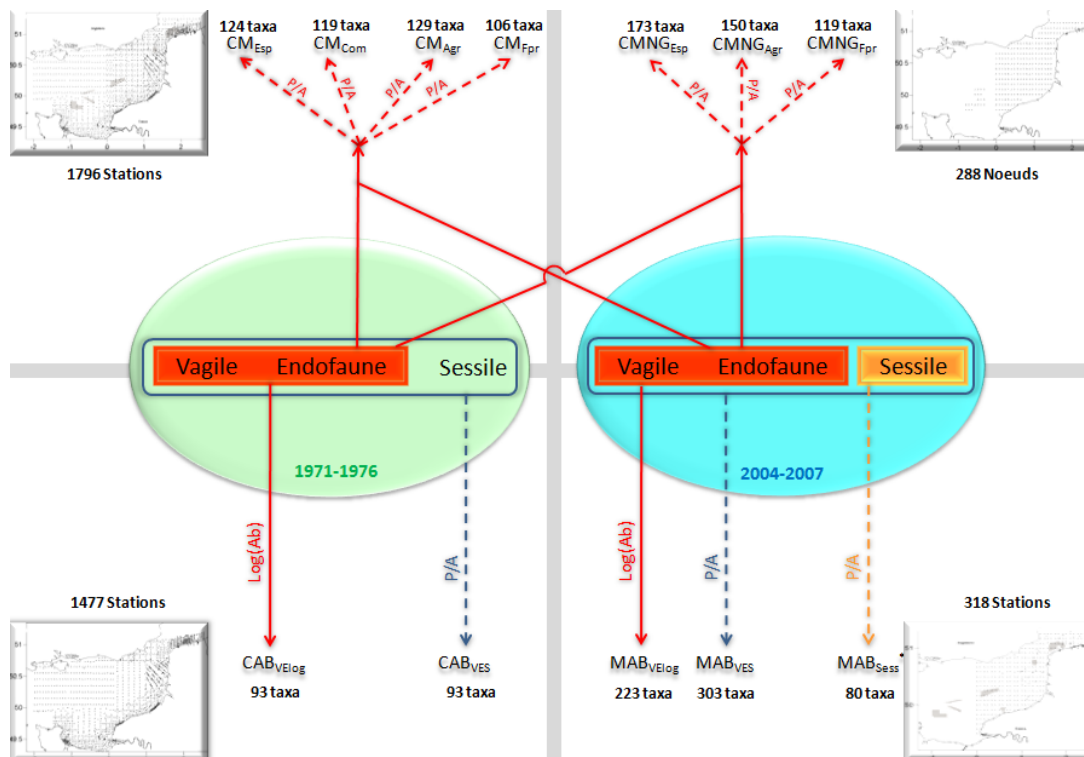


Figure 53 : Schéma récapitulatif des différentes CAH réalisées. Les différentes abréviations se définissent comme suit : C, pour les campagnes 1971-1976, en référence à L. Cabioch ; M, pour les campagnes 2004-2007, en référence à MABEMONO, la plus importante des campagnes réalisées durant cette période ; CM pour les analyses faites avec les données historiques et récentes ; VE pour épifaune Vagile + Endofaune ; S pour épibiose Sessile et VES pour épifaune Vagile + Endofaune + épibiose Sessile ; Esp quand toutes les espèces ont été considérées ; Com pour les espèces communes ; Agr pour les agrégations des suffisances taxonomiques ; Fpr pour les espèces à forte probabilité de récolte ; Ab pour abondances et P/A pour présence-absence ; log indique la transformation des données par la fonction $\log(x+1)$.

IV.1.2.1. Période 1971-1976

Pour la période 1971-1976, les CAH ont été réalisées sur deux regroupements possibles des espèces en fonction de leurs modes de vie (vagile, endofaune, sessile). Les deux regroupements sont les suivants :

- une matrice nommée CVE, de 1477 stations \times 93 taxa comprenant uniquement l'épifaune vagile et l'endofaune, avec des données en abondance transformées en $\log(X+1)$;
- une matrice nommée CVES, de 1477 stations \times 93 taxa comprenant en principe tous les modes de vie, c'est-à-dire l'épifaune vagile, l'endofaune et l'épifaune sessile et avec des données en présence/absence du fait de la prise en compte de l'épifaune sessile. Il est toutefois à noter que l'ensemble de l'épifaune sessile a de fait été écartée de cette matrice car aucun taxa n'était présent dans plus de 5 % des stations. La seule différence entre les matrices CVE et CVES est donc que la première contient des données d'abondance et la deuxième des données de présence-absence.

IV.1.2.1.a. Les assemblages obtenus avec la matrice CVE

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CVE est présenté à la Figure 54. Le calcul de la coupure optimale donne neuf assemblages pour ce regroupement (Figure 55). Parmi ces neuf assemblages, quatre assemblages (VI_{CVE} , VII_{CVE} , $VIII_{CVE}$ et

IX_{CVE}) ne sont pas détaillés ici car ils ne regroupent chacun que très peu de stations. Les autres sont ci-après détaillés par ordre décroissant d'importance en nombre de stations.



Figure 54 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Bray-Curtis calculées d'après les données faunistiques de la matrice CAB_{VElog} (années 1971-1976).

L'assemblage I_{CVE} correspond à un ensemble de 702 stations réparties principalement en Manche centrale, au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais. La profondeur moyenne des stations de cet assemblage est de 33,4 m. Les stations correspondent à sédiments grossiers (cailloutis, graviers et graviers ensablés). Concernant la macrofaune benthique, cet assemblage est caractérisé par une densité de $955,06 \pm 29,93$ ind.30L⁻¹ (moyenne \pm écart-type). Les espèces caractéristiques de cet assemblage (Tableau 8) sont les crustacés *Anapagurus hyndmanni*, *Galathea intermedia* et *Pilumnus hirtellus*, les mollusques *Buccinum undatum*, *Calliostoma zizyphinum*, *Gibbula tumida* et *Ocenebra erinacea* et l'annélide *Lepidonotus squamatus*. *Ophiothrix fragilis*, *Psammechinus miliaris* et *Pisidia longicornis* constituent les espèces principales de cet assemblage (Tableau 8).

L'assemblage III_{CVE} correspond aux 224 stations de sables (plus ou moins graveleux) situées en zone côtière, notamment au sortir des estuaires (baie des Veys, baie de Seine, baie de Somme...). La profondeur moyenne de cet assemblage est par conséquent relativement faible pour la zone d'étude (10,2 m). Les espèces principales (Tableau 8) sont les annélides *Owenia fusiformis* et *Pectinaria (Lagis) koreni* et le mollusque *Abra alba*. Les espèces caractéristiques (Tableau 8) se répartissent en quatre annélides (*Eumida sanguinea*, *Gattyana cirrhosa*, *Nephtys hombergii* et *Pectinaria (Lagis) koreni*), deux mollusques (*Mya truncata* et *Phaxas pellucidus*) et un échinoderme (*Ophiura ophiura*). L'ensemble de la macrofaune est représenté par une densité moyenne de $978,48 \pm 13,15$ ind.30L⁻¹.

L'assemblage IV_{CVE} est composé de 297 stations, correspondant majoritairement à des sables moyens dunaires. Ces dernières sont situées au sud du détroit du Pas de Calais, dans la zone connue de bancs sableux et au niveau des bancs sableux des Flandres dans le sud de la mer du Nord. La profondeur moyenne pour cet assemblage est de 13,9 m. *Bathyporeia elegans* et *Gastrosaccus spinifer* constituent les espèces caractéristiques de cet assemblage. *Nephtys cirrosa*, *Spiophanes bombyx* et *Gastrosaccus spinifer* constituent les espèces principales (Tableau 8). La densité moyenne de cet assemblage est de $337,08 \pm 12,28$ ind.30L⁻¹.

Situé en zone de transition entre les zones à sédiments grossiers et les zones de sables moyens dunaires, l'assemblage V_{CVE} est composé de 211 stations de graviers plus ou moins ensablés. La profondeur moyenne de cet assemblage est elle-même comprise entre celles des deux assemblages précédemment cités (24,9 m). La densité moyenne de cet assemblage est de $256,49 \pm 8,74$ ind.30L⁻¹. La seule espèce caractéristique de cet assemblage est le céphalochordé *Branchiostoma lanceolatum*, lui-même espèce principale avec les échinodermes *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus* (Tableau 8).

Le dernier assemblage est réparti de façon sporadique en Manche. L'assemblage II_{CVE} est composé de 27 stations, majoritairement de sables graveleux, pour une profondeur moyenne de 24,8 m. Aucune espèce ne caractérise cet assemblage qui est composé

d'espèces essentiellement ubiquistes (Tableau 8). Le mollusque *Nucula nitidosa*, l'échinoderme *Asterias rubens* et le crustacé *Pisidia longicornis* constituent les espèces principales (Tableau 8). La densité moyenne de cet assemblage est relativement faible comparée aux autres assemblages précédemment décrits ($39,29 \pm 1,12 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$).

Tableau 8 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la matrice CVE pour les années 1971-1976.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CVE}	<i>Anapagurus hyndmanni</i> <i>Galathea intermedia</i> <i>Pilumnus hirtellus</i> <i>Buccinum undatum</i> <i>Calliostoma zizyphinum</i> <i>Gibbula tumida</i> <i>Ocenebra erinacea</i> <i>Lepidonotus squamatus</i>	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Pisidia longicornis</i>	702
II _{CVE}		<i>Nucula nitidosa</i> <i>Asterias rubens</i> <i>Pisidia longicornis</i>	27
III _{CVE}	<i>Eumida sanguinea</i> <i>Gattyana cirrhosa</i> <i>Nephtys hombergii</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Mya truncata</i> <i>Phaxas pellucidus</i> <i>Ophiura ophiura</i>	<i>Owenia fusiformis</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Abra alba</i>	224
IV _{CVE}	<i>Bathyporeia elegans</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i>	<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i>	297
V _{CVE}	<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	<i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i>	211
VI _{CVE}		<i>Spatangus purpureus</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Ampelisca spinipes</i>	9
VIII _{CVE}		<i>Ampelisca brevicornis</i> <i>Ampelisca tenuicornis</i> <i>Nucula nitidosa</i>	5

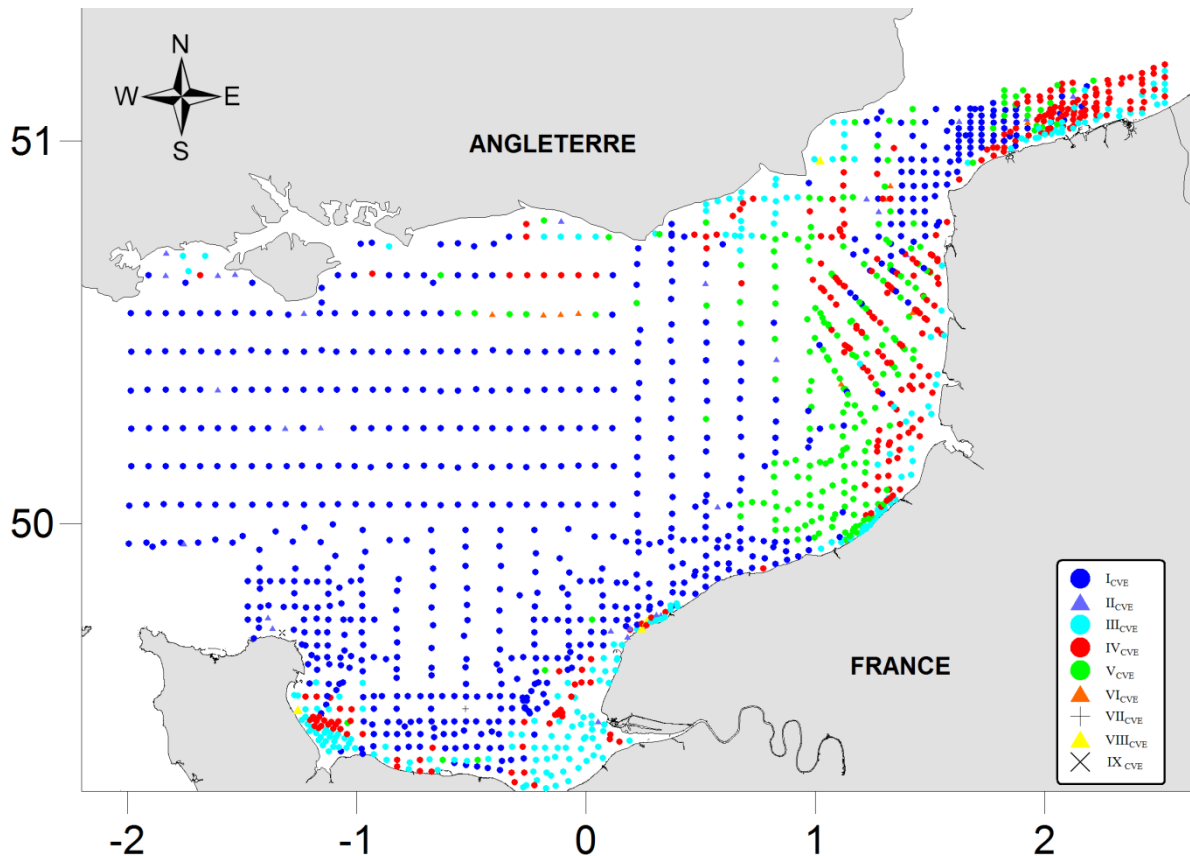


Figure 55 : Localisation géographique des neuf assemblages identifiés pour la matrice CVE pour les années 1971-1976. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.1.b. Les assemblages obtenus avec la matrice CVES

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CVES est présenté à la Figure 56. Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 17 assemblages pour ce regroupement (Figure 57). Parmi ces 17 assemblages, sept assemblages ($VIII_{CVES}$, XI_{CVES} , XII_{CVES} , XIV_{CVES} , XV_{CVES} , XVI_{CVES} et $XVII_{CVES}$) ne sont pas détaillés ici, pour les raisons exposées précédemment.

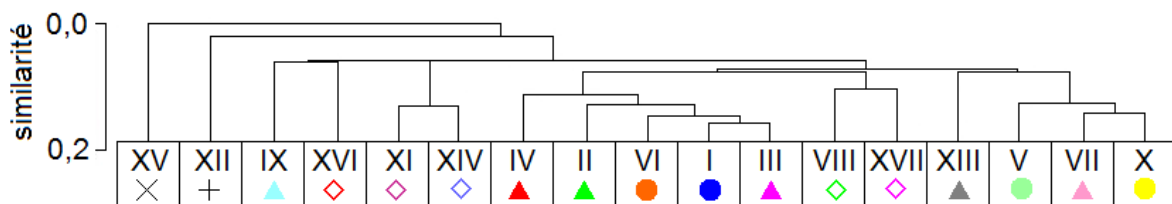


Figure 56 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques de la matrice CAB_{VES} (années 1971-1976).

L'assemblage I_{CVES} est composé de 640 stations de sédiments grossiers (cailloutis, graviers, graviers plus ou moins ensablés). Les stations de cet assemblage ont quasiment la même distribution géographique que celles de l'assemblage I_{CVE} décrit ci-dessus. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 32,9 m. *Ophiothrix fragilis*, *Psammechinus miliaris* et *Pisidia longicornis* sont les espèces principales de cet assemblage, les mêmes qu'en utilisant la matrice VE (Tableau 9). Le décapode *Anapagurus hyndmanni* constitue l'espèce caractéristique (Tableau 9). Ce décapode était aussi considéré comme caractéristique de cet assemblage avec la matrice VE. Les sept autres espèces qui étaient

considérées comme caractéristiques ne le sont en revanche plus avec la matrice VES. La densité moyenne de $927,46 \pm 27,59 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

L'assemblage V_{CVES} est composé de 192 stations de sables plus ou moins graveleux, situées comme pour l'assemblage III_{CVE} en zone côtière, au sortir des estuaires, d'où une profondeur moyenne relativement faible (9,6 m). La macrofaune globale présente une densité de $1012,82 \pm 13,42 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$. Les espèces principales de cet assemblage sont les mêmes que celles de l'assemblage III_{CVE} (*Owenia fusiformis*, *Pectinaria (Lagis) koreni* et *Abra alba*). Les espèces caractéristiques sont *Ampelisca brevicornis*, *Acrocnida brachiata*, *Phaxas pellucidus*, *Ampharete acutifrons*, *Eumida sanguinea*, *Pectinaria (Lagis) koreni* et *Phyllodoce (Anaitides) groenlandica* (Tableau 9).

L'assemblage X_{CVES} est composé de 307 stations de sables moyens dunaires, à une profondeur moyenne de 13,6 m, situées essentiellement au sud du détroit du Pas de Calais et au sud de la mer du Nord. *Bathyporeia elegans* est l'espèce caractéristique de cet assemblage (Tableau 9). *Nephtys cirrosa*, *Spiophanes bombyx* et *Echinocardium cordatum* constituent les espèces principales (Tableau 9). La densité moyenne de $360,10 \pm 12,70 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

L'assemblage VI_{CVES} est l'assemblage de transition entre l'assemblage des sédiments grossiers et celui des sables moyens dunaires (comme pour l'assemblage V_{CVE}). Il est composé de 185 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées à une profondeur moyenne de 26,3 m. Trois échinodermes (*Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus*) sont les espèces principales de cet assemblage mais il n'y a pas d'espèce caractéristique, car cet assemblage de transition contient des espèces de l'assemblage des sédiments grossiers et de celui des sables moyens dunaires (Tableau 9). La densité moyenne de $240,29 \pm 7,67 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

Les six assemblages restants (II_{CVES}, III_{CVES}, IV_{CVES}, VII_{CVES}, IX_{CVES} et XIII_{CVES}) sont constitués d'un nombre moins conséquent de stations (13 à 44), pour lesquelles la distribution est assez dispersée en Manche et localement en zone de transition entre deux autres grands assemblages. Ils sont tous constitués de graviers plus ou moins ensablés et leurs profondeurs moyennes s'étendent de 17,8 à 38,6 m. Aucun de ces assemblages n'est caractérisé par une espèce. Les espèces principales de ces assemblages sont présentées dans le Tableau 9. Les densités moyennes de ces assemblages se situent entre $30,08 \pm 0,66$ et $79,39 \pm 1,99 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

Tableau 9 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la matrice CVES pour les années 1971-1976.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CVES}	<i>Anapagurus hyndmanni</i>	<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Pisidia longicornis</i>	640
II _{CVES}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Glycymeris glycymeris</i>	19
III _{CVES}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Pagurus bernhardus</i>	44
IV _{CVES}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Nucula nitidosa</i>	23
V _{CVES}	<i>Ampelisca brevicornis</i> <i>Acrocrida brachiata</i> <i>Phaxas pellucidus</i> <i>Ampharete acutifrons</i> <i>Eumida sanguinea</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Phyllodoce (Anaitides) groenlandica</i>	<i>Owenia fusiformis</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Abra alba</i>	192
VI _{CVES}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	185
VII _{CVES}		<i>Ophelia borealis</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i> <i>Urothoe brevicornis</i>	18
VIII _{CVES}		<i>Nucula nitidosa</i> <i>Abra alba</i> <i>Arenicola marina</i>	8
IX _{CVES}		<i>Montacuta substriata</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Spatangus purpureus</i>	13
X _{CVES}	<i>Bathyporeia elegans</i>	<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Echinocardium cordatum</i>	307
XI _{CVES}	<i>Anseropoda placenta</i> <i>Erichthonius punctatus</i> <i>Pseudoprotella phasma</i> <i>Aphrodita aculeata</i> <i>Pholoe minuta</i>	<i>Lumbrineris gracilis</i> <i>Owenia fusiformis</i> <i>Ensis arcuatus</i>	2
XIII _{CVES}		<i>Spisula (Spisula) ovalis</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Ophelia borealis</i>	18
XIV _{CVES}	<i>Arcopagia crassa</i> <i>Golfingia (Golfingia) elongata</i> <i>Pinnotheres pisum</i> <i>Thia scutellata</i>	<i>Paphia rhomboides</i> <i>Arcopagia crassa</i> <i>Laevicardium crassum</i>	2
XVI _{CVES}		<i>Asterias rubens</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Nephtys longosetosa</i>	3
XVII _{CVES}		<i>Nephtys caeca</i> <i>Crangon crangon</i> <i>Abra alba</i>	2

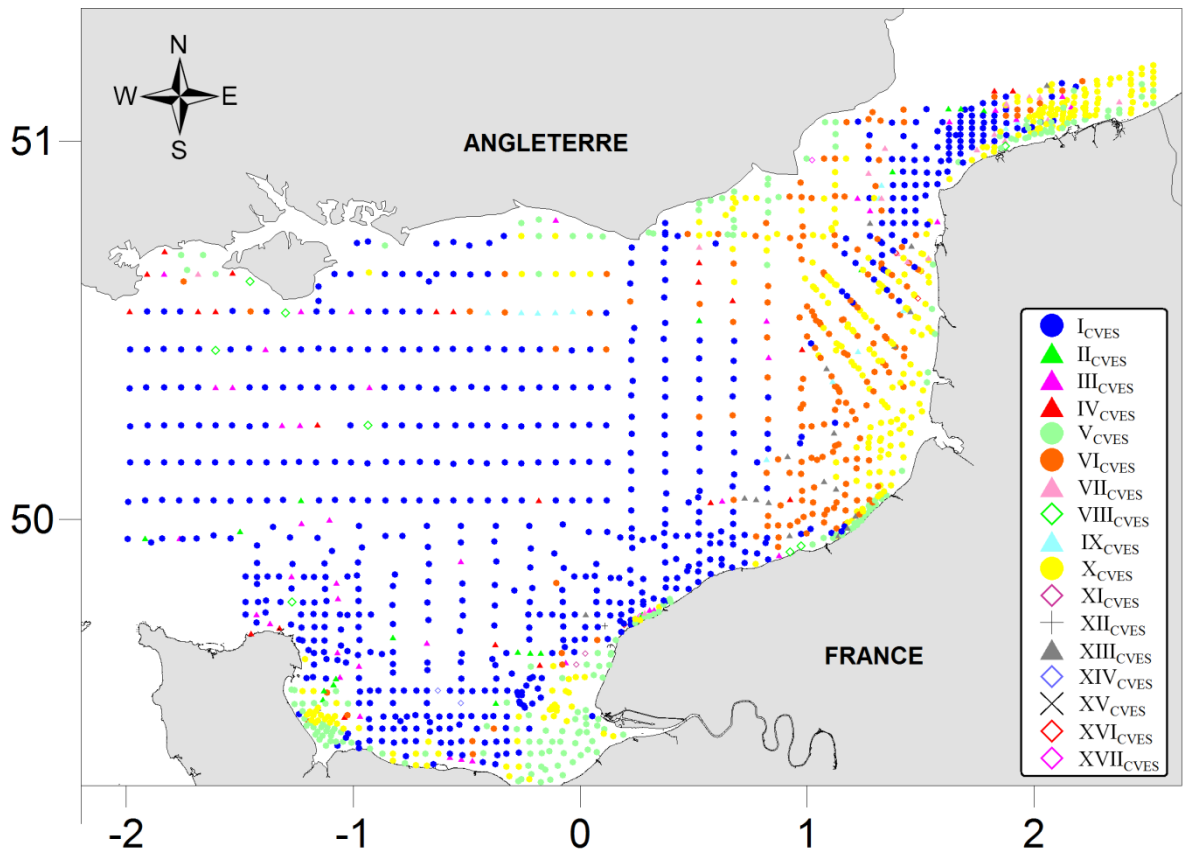


Figure 57 : Localisation géographique des 17 assemblages identifiés pour la matrice CVES pour les années 1971-1976. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.2. Période 2004-2007

Pour la période 2004-2007, les classifications ascendantes hiérarchiques ont été effectuées sur trois regroupements possibles des espèces en fonction de leur mode de vie (vagile, endofaune, sessile). Les trois regroupements sont les suivants :

- l'épifaune vagile et l'endofaune, soit une matrice de 318 stations \times 223 taxa. Pour cette matrice, les données ont été transformées en $\log(X+1)$;
- l'épifaune sessile seule, soit une matrice de 246 stations \times 80 taxa. 72 stations ont été enlevées de cette matrice car elles ne comportaient pas d'épifaune sessile. Les données sont en présence/absence ;
- tous les modes confondus, c'est-à-dire Vagile + Endofaune + Sessile, soit une matrice de 318 stations \times 303 taxa. Les données sont en présence/absence.

IV.1.2.2.a. Les assemblages obtenus avec la matrice MVE

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice MVE est présenté à la Figure 58. Pour cet ensemble, la coupure optimale donnée par la méthode de Ratkowsky est de 28 assemblages (Figure 59). Parmi ces 28 assemblages, 21 assemblages ne sont pas détaillés ici, ce qui peut paraître beaucoup mais ces derniers ne rassemblent que 59 des 318 stations étudiées, soit à peine une sur cinq.

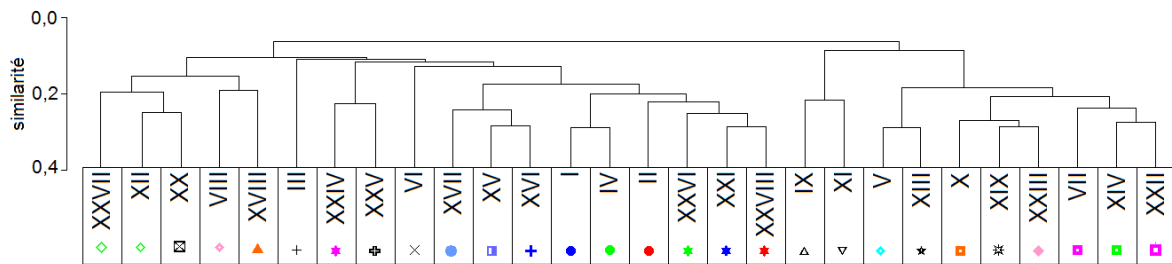


Figure 58 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Bray-Curtis calculées d'après les données faunistiques de la matrice MAB_{VEIlog} (années 2004-2007).

L'assemblage IV_{MVE} est composé de 92 stations, correspondant à des sédiments allant des sables graveleux aux graviers ensablés, situés dans le bassin oriental de la Manche et aux abords de détroit du Pas de Calais. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 36,4 m. Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $730,03 \pm 4,94$ ind.m⁻² et une biomasse de $96,68 \pm 2,98$ g.m⁻². Les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1415,61 \pm 10,57$ ind.30L⁻¹ et une biomasse de $54,92 \pm 0,86$ g.30L⁻¹. *Echinocyamus pusillus*, *Ophiothrix fragilis* et *Notomastus latericeus* sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 10). Une annélide, *Lumbrineriopsis paradoxa*⁵, représente l'espèce caractéristique (Tableau 10).

L'assemblage II_{MVE} est composé de 59 stations, correspondant à des cailloutis. Celles-ci sont situées au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 29,1 m. Les espèces principales de cet assemblage sont composées d'un amphipode (*Corophium sextonae*), d'un échinoderme (*Ophiothrix fragilis*) et d'un décapode (*Pisidia longicornis*) (Tableau 10). Les espèces caractéristiques sont représentées par *Galathea squamifera* et *Calliostoma granulatum* (Tableau 10). Des prélèvements à la benne Hamon et à la drague Rallier du Baty sont constitutifs de cet assemblage avec pour la benne une densité moyenne de $719,00 \pm 11,28$ ind.m⁻² et une biomasse moyenne de $11,23 \pm 0,20$ g.m⁻² et pour la drague une densité moyenne de $3198,42 \pm 10,26$ ind.30L⁻¹ et une biomasse moyenne de $89,71 \pm 2,19$ g.30L⁻¹.

Située en Manche centrale, les 44 stations qui composent l'assemblage I_{MVE} correspondent à des graviers ensablés. Elles sont situées à une profondeur moyenne de 41,0 m. *Galathea intermedia*, *Pisidia longicornis* et *Ampharete baltica* constituent les espèces principales de cet assemblage (Tableau 10). 24 espèces (*Anchialina agilis*, *Eualus pusiolus*, *Gnathia vorax*, *Siriella jaltensis*, *Arabella (Arabella) iricolor*, *Asclerocheilus intermedius*, *Dipolydora giardi*, *Glycera capitata*, *Glycera gigantea*, *Harmothoe impar*, *Laonice cirrata*, *Lumbrineris gracilis*, *Nereis pelagica*, *Orbinia (Orbinia) sertulata*, *Petaloproctus terricolus*, *Pista elongata*, *Sabella pavonina*, *Thelepus cincinnatus*, *Dosinia exoleta*, *Gari depressa*, *Goodallia triangularis*, *Jujubinus montagui*, *Leptochiton scabridus* et *Limatula subauriculata*) caractérisent cet assemblage (Tableau 10). La densité moyenne de $784,48 \pm 10,26$ ind.30L⁻¹ pour les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty et de $728,47 \pm 5,78$ ind.m⁻² pour ceux effectués à la benne Hamon. Les biomasses moyennes sont de $29,50 \pm 0,51$ g.30L⁻¹ pour les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty et de $56,76 \pm 1,33$ g.m⁻² pour ceux effectués à la benne Hamon.

⁵ Il est curieux de noter que *L.paradoxa* est une espèce réputée d'origine tropicale (ERMS, consulté le 04-10-2009), et qu'elle est pourtant ici considérée comme caractéristique d'un assemblage en Manche orientale.

Les 25 stations qui constituent l'assemblage VII_{MVE} sont composées de sables et représentent une profondeur moyenne de 16,7 m. Elles sont situées dans les zones de bancs sableux au sud du détroit du Pas de Calais et dans le sud de la mer du Nord. Seuls des prélèvements à la benne Hamon ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $114,72 \pm 1,42 \text{ ind.m}^{-2}$ et une biomasse moyenne de $32,88 \pm 0,99 \text{ g.m}^{-2}$. Il n'y a pas de taxa caractéristiques pour cet assemblage et trois annélides (*Nephtys cirrosa*, *Spiophanes bombyx* et *Ophelia borealis*) représentent les espèces principales (Tableau 10). L'assemblage XV_{MVE} est composé de 14 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées uniquement dans la zone des Ridens de Boulogne-sur-Mer et pour une profondeur moyenne de 30,0 m. Trois échinodermes (*Echinocyamus pusillus*, *Ophiothrix fragilis* et *Ophiura albida*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 10). *Clymenura clypeata*, *Eteone foliosa* et *Gnathia maxillaris* le caractérisent (Tableau 10). Les prélèvements à la benne Van Veen de cet assemblage ont en moyenne une densité de $416,31 \pm 4,59 \text{ ind.m}^{-2}$ et une biomasse de $24,86 \pm 0,62 \text{ g.m}^{-2}$. Les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1312,93 \pm 16,80 \text{ ind.30L}^{-1}$ et une biomasse de $37,57 \pm 0,77 \text{ g.30L}^{-1}$.

L'assemblage X_{MVE} représente une zone de transition entre les zones à graviers plus ou moins ensablés du bassin oriental de la Manche et les zones de sables. Il est composé de 13 stations, correspondant à des sédiments de type sable graveleux, situés à une profondeur moyenne de 27,7 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Notomastus latericeus*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 10). Deux annélides (*Magelona mirabilis* et *Phyllodoce (Anaitides) lineata*) et un bivalve (*Nucula sulcata*) le caractérisent (Tableau 10). Seuls des prélèvements à la benne Hamon ont été effectués sur cet assemblage avec une densité moyenne de $252,38 \pm 2,09 \text{ ind.m}^{-2}$ et une biomasse moyenne de $24,39 \pm 0,62 \text{ g.m}^{-2}$. L'emploi de ce seul type d'engin confirme le fait que cet assemblage est composé de sédiments meubles (zone de transition entre les graviers plus ou moins ensablés et sables).

L'assemblage XIV_{MVE} représente également une zone de transition entre les stations de l'assemblage précédent et les stations de sables. Il est composé de 12 stations de sables, parfois légèrement graveleux, situés à une profondeur moyenne de 20,8 m. Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $75,00 \pm 1,10 \text{ ind.m}^{-2}$ et une biomasse de $25,29 \pm 0,68 \text{ g.m}^{-2}$. Les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $32,00 \pm 0,62 \text{ ind.30L}^{-1}$ et une biomasse de $17,07 \pm 0,54 \text{ g.30L}^{-1}$. *Ophelia borealis*, *Glycera lapidum* et *Nephtys cirrosa* sont les espèces principales de cet assemblage alors qu'il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 10).

Tableau 10 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la matrice MVE pour les années 2004-2007.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations	Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{MVE}	<i>Anchialina agilis</i> <i>Eualus pusiolus</i> <i>Gnathia vorax</i> <i>Siriella jaltensis</i> <i>Arabella (Arabella) iricolor</i> <i>Asclerocheilus intermedius</i> <i>Dipolydora giardi</i> <i>Glycera capitata</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Harmothoe impar</i> <i>Laonice cirrata</i> <i>Lumbrineris gracilis</i> <i>Nereis pelagica</i> <i>Orbinia (Orbinia) sertulata</i> <i>Petaloproctus terricalus</i> <i>Pista elongata</i> <i>Sabella pavonina</i> <i>Thelepus cincinnatus</i> <i>Dosinia exoleta</i> <i>Gari depressa</i> <i>Goodallia triangularis</i> <i>Jujubinus montagui</i> <i>Leptochiton scabridus</i> <i>Limatula subauriculata</i>	<i>Galathea intermedia</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Ampharete baltica</i>	44	XII _{MVE}	<i>Protodorvillea kefersteini</i>	<i>Polygordius lacteus</i> <i>Pisione remota</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i>	3
				XIV _{MVE}		<i>Ophelia borealis</i> <i>Glycera lapidum</i> <i>Nephtys cirrosa</i>	12
				XV _{MVE}	<i>Clymenura clypeata</i> <i>Eteone foliosa</i> <i>Gnathia maxillaris</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i>	14
				XVI _{MVE}	<i>Archidoris pseudoargus</i> <i>Doto fragilis</i> <i>Gastrochaena dubia</i> <i>Onchidoris bilamellata</i> <i>Gammaropsis lobata</i> <i>Lysianassa ceratina</i> <i>Macropodia linaresi</i> <i>Tryphosella sarsi</i> <i>Phyllodoce (Anaitides) mucosa</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Pisidia longicornis</i>	3
				XVII _{MVE}		<i>Ophelia borealis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	6
				XX _{MVE}		<i>Socarnes erythrophthalmus</i> <i>Polygordius lacteus</i> <i>Glycera lapidum</i>	8
II _{MVE}	<i>Galathea squamifera</i> <i>Calliostoma granulatum</i>	<i>Corophium sextonae</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Ophiotrix fragilis</i>	59	XXI _{MVE}	<i>Jassa falcata</i> <i>Pandalus montagui</i>	<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Caprellidae</i>	8
IV _{MVE}	<i>Lumbrineriopsis paradoxa</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Notomastus latericeus</i>	92	XXII _{MVE}		<i>Urothoe brevicornis</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Glycera lapidum</i>	2
V _{MVE}	<i>Sthenelais limicola</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Magelona filiformis</i> <i>Eumida</i>	7	XXIV _{MVE}	<i>Bodotria arenosa</i> <i>Caprella linearis</i> <i>Urothoe poseidonis</i> <i>Trinia arctica</i>	<i>Corophium sextonae</i> <i>Caprella linearis</i> <i>Ophiura albida</i>	2
VII _{MVE}		<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Ophelia borealis</i>	25	XXV _{MVE}	<i>Ampelisca diadema</i> <i>Demonax branchyona</i> <i>Epitanium clathrus</i>	<i>Ophiura albida</i> <i>Paraonis fulgens</i> <i>Nassarius reticulatus</i>	2
VIII _{MVE}	<i>Macrochaeta helgolandica</i> <i>Schistomeringos caeca</i> <i>Trypanosyllis (Trypanosyllis) coelica</i> <i>Ampelisca pectenata</i>	<i>Hesionura elongata</i> <i>Pisione remota</i> <i>Glycera lapidum</i>	4	XXVI _{MVE}	<i>Proceraea aurantiaca</i> <i>Syllis prolifera</i>	<i>Psammecinus millaris</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Pisidia longicornis</i>	4
X _{MVE}	<i>Magelona mirabilis</i> <i>Phyllodoce (Anaitides) lineata</i> <i>Nucula sulcata</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Notomastus latericeus</i>	13				

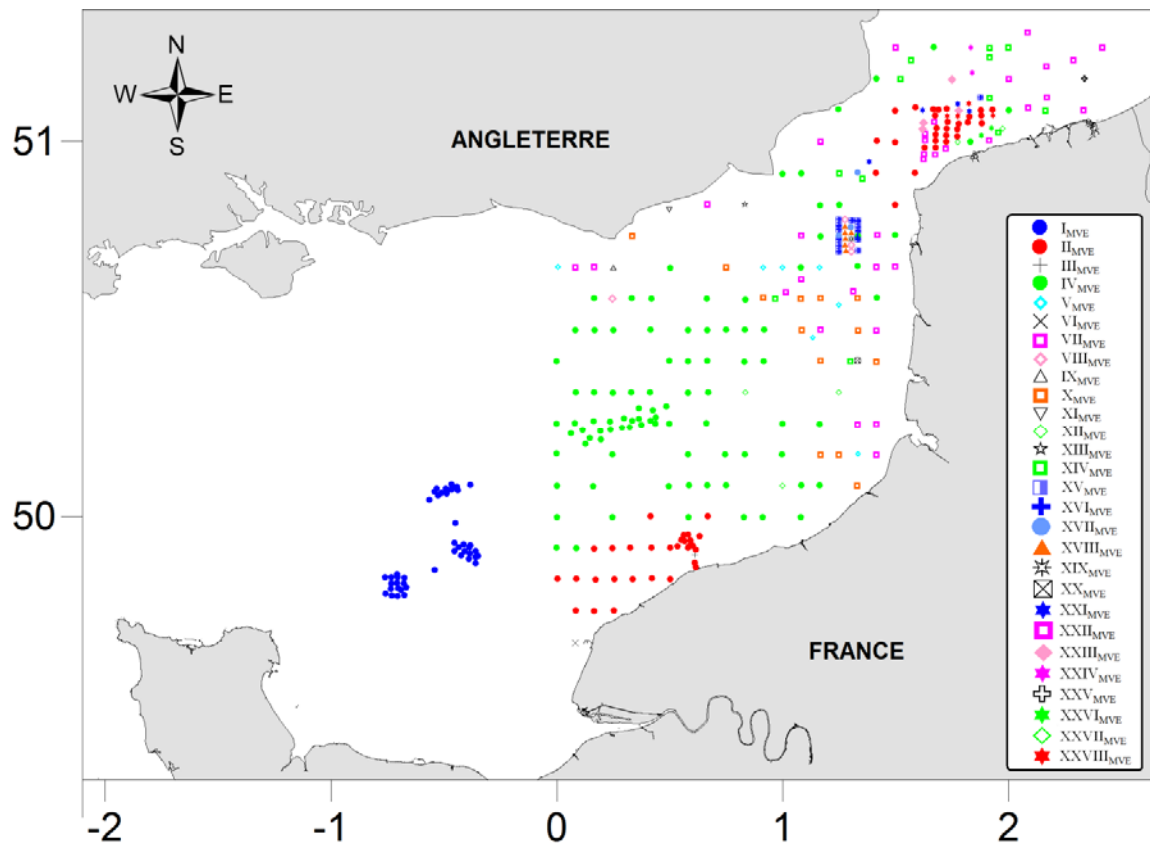


Figure 59 : Localisation géographique des 28 assemblages identifiés pour la matrice MVE pour les années 2004-2007. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.2.b. Les assemblages obtenus avec la matrice MS

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice MS est présenté à la Figure 60. Pour cet ensemble, la coupure optimale donnée par la méthode de Ratkowsky est de 29 groupes (Figure 61). Parmi ces 29 assemblages, 24 groupes ne sont pas détaillés ici. Seules les espèces caractéristiques ont ici pu être déterminées car le calcul ne nécessite pas de données d'abondances. Il n'est en revanche pas possible de définir des espèces principales puisque aucun rang ne peut être attribué aux taxa avec des données en présence absence pour la construction d'un DRF.

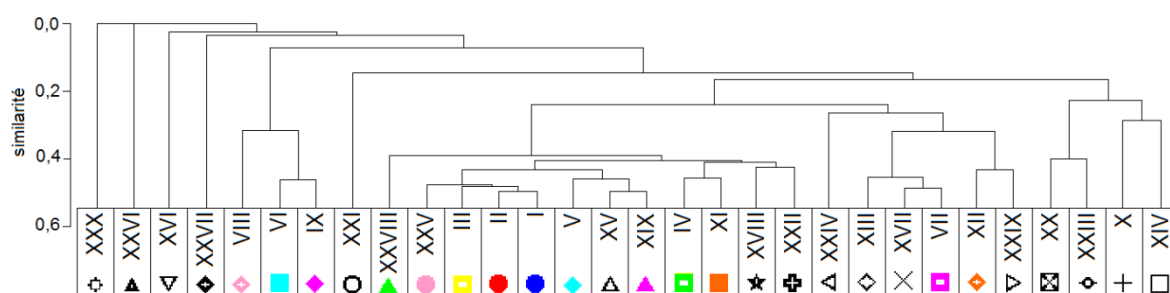


Figure 60 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques de la matrice M_s (années 2004-2007).

L'assemblage I_{MS} est composé de 130 stations, correspondant à des cailloutis et à des graviers ensablés, situés en Manche centrale, dans le bassin oriental de la Manche et quelques-unes dans le détroit du Pas de Calais. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 38,3 m. Il n'y a pas d'espèces caractéristiques de cet assemblage (Tableau 11).

L'assemblage XXV_{MS} est composé de 31 stations, correspondant à des cailloutis, situées uniquement dans le détroit du Pas de Calais, à une profondeur moyenne de 32,1 m. Les bryozoaires *Cellopora pumicosa*, *Omalosecosa ramulosa*, le cnidaire *Orthopyxis integra*, le mollusque *Pododesmus patelliformis* et les éponges en général caractérisent cet assemblage (Tableau 11).

Les 20 stations qui constituent l'assemblage VI_{MS} sont situées dans une zone de transition entre les assemblages à épifaune sessile et ceux sans épifaune sessile. Composé de graviers plus ou moins ensablés, cet assemblage a une profondeur moyenne de 29,8 m. Aucune espèce ne le caractérise (Tableau 11).

L'assemblage II_{MS} est composé de 17 stations, correspondant à des cailloutis, situées au large du pays de Caux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 23,8 m. Trois spongiaires (*Aplysilla rosea*, *Haliclona* et *Pachymatisma johnstonia*), deux cnidaires (*Campanularia hincksii* et *Laomedea angulata*), un bryozoaire (*Pentapora fascialis*), une annélide (*Filograna implexa*) et un tunicier (*Pyura microcosmus*) caractérisent cet assemblage (Tableau 11).

L'assemblage XXX_{MS} est signalé ici car il représente l'ensemble des 72 stations qui ne portent pas d'épifaune sessile.

Tableau 11 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la matrice MS pour les années 2004-2007.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Nombre de stations
I _{MS}		130
II _{MS}	<i>Aplysilla rosea</i> <i>Haliclona</i> <i>Pachymatisma johnstonia</i> <i>Campanularia hincksii</i> <i>Laomeda angulata</i> <i>Filograna implexa</i> <i>Pentapora fascialis</i> <i>Pyura microcosmus</i>	17
III _{MS}		3
IV _{MS}		2
V _{MS}		3
VI _{MS}		20
VII _{MS}	<i>Halisarca dujardini</i> <i>Hydractinia echinata</i>	3
VIII _{MS}		7
IX _{MS}		3
XI _{MS}		4
XII _{MS}	<i>Mytilus edulis</i> <i>Sagartiogeton undatus</i>	3
XIX _{MS}	<i>Bowerbankia</i> <i>Circeis spirillum</i>	3
XXV _{MS}	<i>Cellepora pumicosa</i> <i>Omalosecosa ramulosa</i> <i>Orthopyxis integra</i> <i>Pododesmus patelliformis</i> <i>Porifera</i>	31
XXVII _{MS}	<i>Alcyonidium diaphanum</i>	2

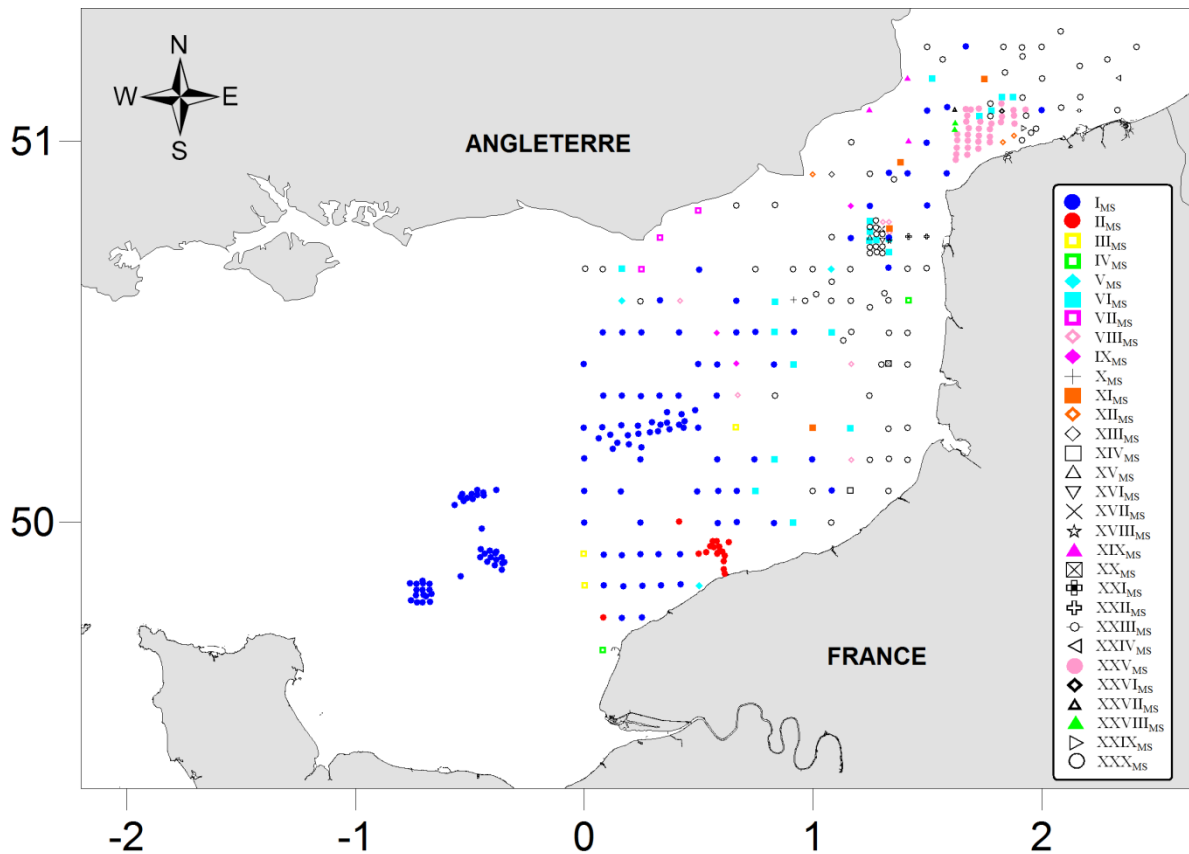


Figure 61 : Localisation géographique des 29 assemblages identifiés pour la matrice MS pour les années 2004-2007. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.2.c. Les assemblages obtenus avec la matrice MVES

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice MVES est présenté à la Figure 62.



Figure 62 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques de la matrice M_{VES} (années 2004-2007).

Pour cet ensemble, la coupure optimale donnée par la méthode de Ratkowsky est de 2 assemblages (Figure 63).

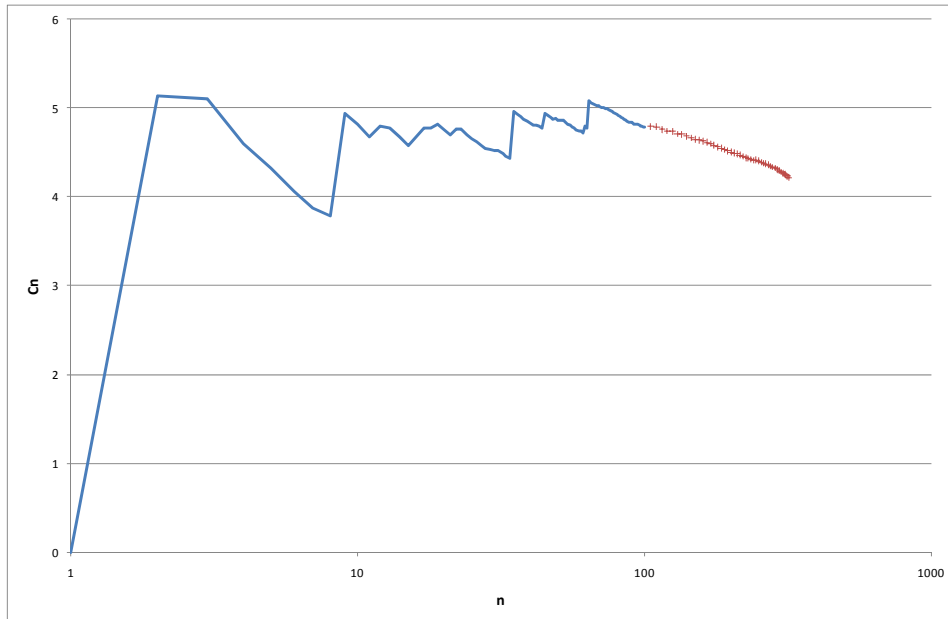


Figure 63 : Courbe de Ratkowsky, obtenue suite aux calculs des C_n pour les données du regroupement épifaune Vagile + Endofaune + épibiose Sessile.

Les deux groupe issus de ce niveau de coupure correspondent globalement à un assemblage de stations à sédiments plus ou moins grossiers (des sables grossiers aux cailloutis) sur lesquels de l'épifaune sessile a pu être récoltée et à un assemblage de stations (sableuses) sans épifaune sessile (Figure 64).

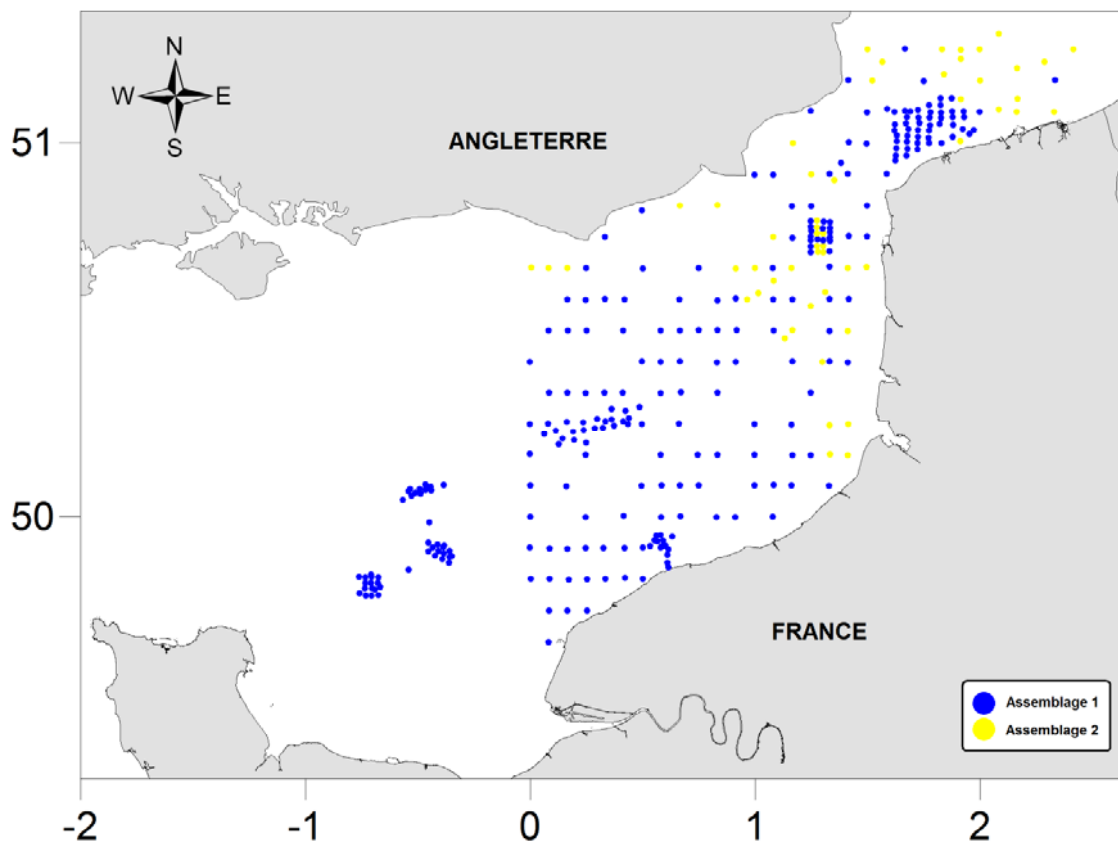


Figure 64 : Localisation géographique des deux assemblages identifiés pour la matrice MVES pour les années 2004-2007. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

Néanmoins, il était possible d'aller plus loin dans l'interprétation de ce dendrogramme et de choisir un second niveau de coupure, correspondant au deuxième maximum local sur le graphique des C_n en fonction de n , soit 64 assemblages (Figure 65). Parmi ces 64 assemblages, 57 ne sont pas détaillés ici. Ces petits assemblages correspondent à des stations où le substrat n'est pas homogène. Il peut s'agir de stations sableuses où la présence de coquilles permet la fixation de l'épibiose sessile. A l'inverse, il peut s'agir de stations de cailloutis dans lesquelles des petites poches de sédiments sablo-vaseux se sont déposés et permettent ainsi la colonisation du site par des espèces typiques des milieux sablo-vaseux. Les analyses granulométriques ont révélé l'existence de nombreuses distributions plurimodales.

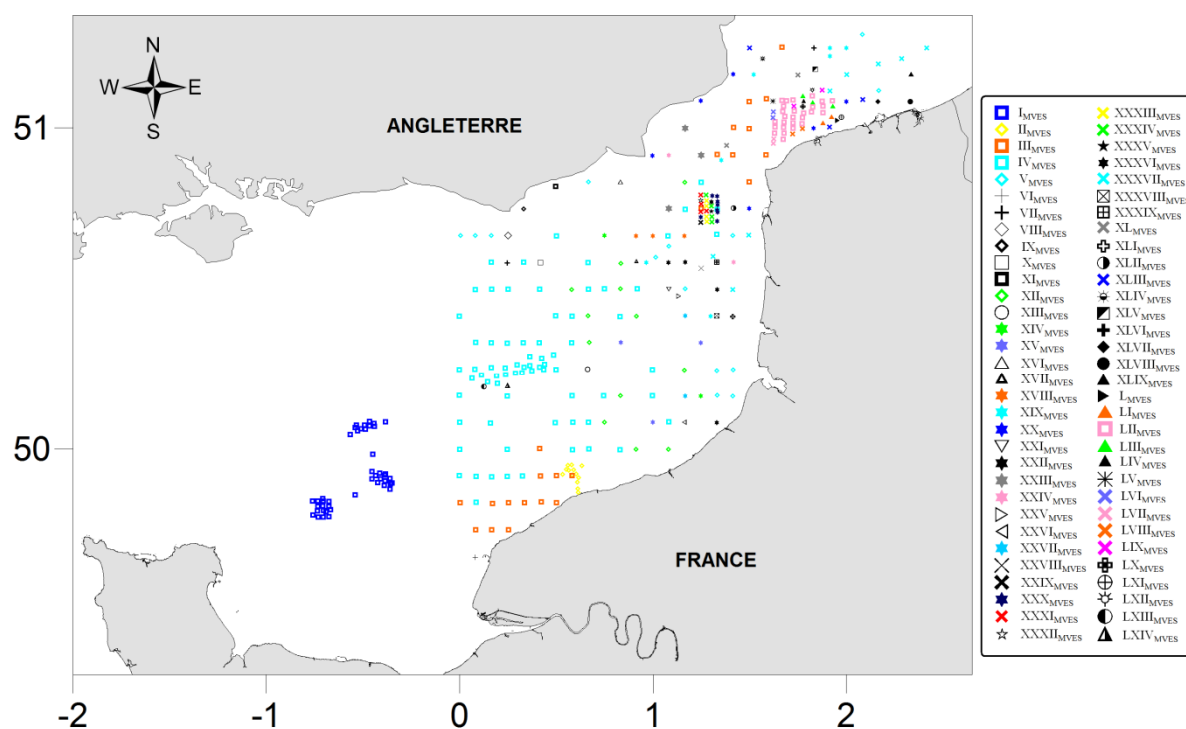


Figure 65 : Localisation géographique des 64 assemblages identifiés pour la matrice MVES pour les années 2004-2007. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

L'assemblage IV_{MVES} est composé de 72 stations, correspondant à des graviers plus ou moins ensablés, situées à une profondeur moyenne de 37,9 m. Aucune espèce ne caractérise cet assemblage (Tableau 12). Les espèces principales sont composées de l'annélide *Pomatoceros triqueter*, le cnidaire *Epizoanthus couchii* et l'échinoderme *Ophiothrix fragilis* (Tableau 12). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $672,24 \pm 4,76 \text{ ind.m}^{-2}$ et une biomasse de $77,42 \pm 2,23 \text{ g.m}^{-2}$. Les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1167,97 \pm 11,46 \text{ ind.30L}^{-1}$ et une biomasse de $55,16 \pm 0,87 \text{ g.30L}^{-1}$.

Située en Manche centrale, les 44 stations qui composent l'assemblage I_{MVES} correspondent à des graviers ensablés. Cet assemblage est similaire à l'assemblage I_{MVE} . La profondeur moyenne est de 41 m. Il est caractérisé par 20 espèces (*Anchialina agilis*, *Dynamene bidentata*, *Eualus pusiolus*, *Gnathia vorax*, *Siriella jaltensis*, *Arabella (Arabella) iricolor*, *Dipolydora giardi*, *Glycera capitata*, *Glycera gigantea*, *Harmothoe impar*, *Laonice cirrata*, *Lumbrineris gracilis*, *Nereis pelagica*, *Pista elongata*, *Thelepus cincinnatus*, *Goodallia triangularis*, *Jujubinus montagui*, *Leptochiton scabridus*, *Limatula subauriculata* et *Lithophyllum incrustans*; (Tableau 12). *Pomatoceros triqueter*, *Ampharete balthica* et *Galathea intermedia* sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 12). Les

valeurs de densité et de biomasse moyennes pour les deux engins utilisés pour échantillonner cet assemblage sont les mêmes que celles données pour l'assemblage I_{MVE}.

L'assemblage LII_{MVES} est composé de 27 stations, correspondant à des cailloutis, uniquement situées dans le détroit du Pas de Calais à une profondeur moyenne de 32,5 m. Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage (ce qui confirme les sédiments caillouteux) avec une densité moyenne de $4072,00 \pm 85,58$ ind.L⁻¹ et une biomasse moyenne de $168,33 \pm 3,37$ g.L⁻¹. Deux annélides (*Pomatoceros triqueter* et *Spirorbis*) et un échinoderme (*Ophiothrix fragilis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui est caractérisé par l'opisthobranchie *Tritonia plebeia* (Tableau 12). L'assemblage III_{MVES} est composé de 23 stations, correspondant à des cailloutis, situées au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais. Situé à une profondeur moyenne de 30,3 m, cet assemblage est caractérisé par *Leucothoe procera* et *Puncturella noachina* (Tableau 12). Les espèces principales de cet assemblage sont *Verruca stroemia*, *Balanus crenatus* et *Pomatoceros triqueter* (Tableau 12). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $630,00 \pm 8,41$ ind.m⁻² et une biomasse de $5,23 \pm 0,12$ g.m⁻². Les prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $3315,61 \pm 32,52$ ind.30L⁻¹ et une biomasse de $62,43 \pm 1,18$ g.30L⁻¹.

Les 14 stations qui constituent l'assemblage V_{MVES} correspondent à des sables. Elles sont situées dans les zones de bancs sableux (au sud du détroit du Pas de Calais et dans le sud de la mer du Nord) et le long des côtes anglaises. Cet assemblage a une profondeur moyenne de 20,4 m. Il n'y a pas d'espèces qui le caractérisent et trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) constituent les espèces principales de cet assemblage (Tableau 12). Seuls des prélèvements à la benne Hamon ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $158,85 \pm 1,57$ ind.m⁻² et une biomasse moyenne de $21,85 \pm 0,57$ g.m⁻². L'emploi de ce seul engin confirme le type sédimentaire (sables) de cet assemblage.

L'assemblage II_{MVES} est composé de 13 stations, correspondant à des cailloutis et situées au large du pays de Caux à une profondeur moyenne de 23,0 m. Un décapode (*Pisidia longicornis*) et deux annélides (*Pomatoceros triqueter* et *Thelepus setosus*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 12). 18 espèces (*Aplysilla rosea*, *Haliclona*, *Calliostoma granulatum*, *Chlamys varia*, *Ocenebra erinacea*, *Rhomboidella prideauxi*, *Filograna implexa*, *Marphysa fallax*, *Trypanosyllis zebra*, *Galathea squamifera*, *Liljeborgia pallida*, *Perrierella audouiniana*, *Thoralus cranchii*, *Laomedea angulata*, *Nemertesia ramosa*, *Pyura microcosmus*, *Styela clava* et *Schizoporella cornualis*) le caractérisent (Tableau 12). Échantillonné uniquement à la drague Rallier du Baty, la densité moyenne de cet assemblage est de $1556,55 \pm 14,29$ ind.30L⁻¹ et sa biomasse moyenne de $29,25 \pm 0,52$ g.30L⁻¹. L'emploi de la seule drague confirme que les sédiments échantillonnés sur cet assemblage sont durs (cailloutis).

L'assemblage XII_{MVES}, composé de 12 stations, constitue une zone de transition entre les graviers plus ou moins ensablés et les zones sableuses. Il est constitué de sables graveleux, situés à une profondeur moyenne de 31,3 m. *Echinocyamus pusillus*, *Eulalia mustela* et *Pomatoceros triqueter* constituent les espèces principales de cet assemblage et trois annélides (*Eumida minuta*, *Nereimyra punctata* et *Salvatoria clavata*) le caractérisent (Tableau 12). Seuls des prélèvements à la benne Hamon ont été effectués pour cet assemblage (ce qui confirme la présence de sédiments meubles pour cet assemblage) avec une densité moyenne de $524,33 \pm 3,65$ ind.m⁻² et une biomasse moyenne de $35,03 \pm 0,68$ g.m⁻².

Tableau 12 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la matrice VES pour les années 2004-2007.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations	Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{MVES}	<i>Anchialina agilis</i> <i>Dynamene bidentata</i> <i>Eualus pusiolus</i> <i>Gnathia vorax</i> <i>Siriella jaltensis</i> <i>Arabella (Arabella) iricolor</i> <i>Dipolydora giardi</i> <i>Glycera capitata</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Harmothoe impar</i> <i>Laonice cirrata</i> <i>Lumbrineris gracilis</i> <i>Nereis pelagica</i> <i>Pista elongata</i> <i>Thelepus cincinnatus</i> <i>Goodallia triangularis</i> <i>Jujubinus montagui</i> <i>Leptochiton scabrifidus</i> <i>Limatula subauriculata</i> <i>Lithophyllum incrustans</i>	<i>Pomatoceros triquetter</i> <i>Ampharete baltica</i> <i>Galathea intermedia</i>	44	XXII _{MVES}	<i>Ophiura robusta</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Nephtys cirrosa</i>	4
				XXIII _{MVES}	<i>Diastylis rathkei</i> <i>Philocheras trispinosus</i>	<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Ophiura albida</i>	3
				XXIV _{MVES}	<i>Processa novelli holtuisi</i>	<i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Epizoanthus couchii</i>	2
				XXVII _{MVES}	<i>Magelona mirabilis</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Magelona mirabilis</i>	2
				XXX _{MVES}	<i>Eurynome spinosa</i> <i>Goniada maculata</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i>	8
				XXXI _{MVES}	<i>Clymenra clypeata</i> <i>Nereis zonata</i> <i>Pholoe inornata</i> <i>Nucula hanleyi</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Syllis hyalina</i>	4
				XXXIII _{MVES}	<i>Bathyporeia tenuipes</i> <i>Nymphon gracile</i>	<i>Ophiura albida</i> <i>Urothoe brevicornis</i> <i>Ophelia borealis</i>	4
II _{MVES}	<i>Aplysilla rosea</i> <i>Haliclona</i> <i>Calliostoma granulatum</i> <i>Chlamys varia</i> <i>Ocenebra erinacea</i> <i>Rhomboidella prideauxi</i> <i>Filigrana implexa</i> <i>Marphysa fallax</i> <i>Trypanosyllis zebra</i> <i>Galathea squamifera</i> <i>Liljeborgia pallida</i> <i>Perrierella audouiniana</i> <i>Thoralus cranchii</i> <i>Laomeda angulata</i> <i>Nemertesia ramosa</i> <i>Pyura microcosmus</i> <i>Styela clava</i> <i>Schizoporella cornualis</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Pomatoceros triquetter</i> <i>Thelepus setosus</i>	13	XXXIV _{MVES}	<i>Doto cuspidata</i> <i>Macrochaeta helgolandica</i> <i>Schistomeringos coeca</i> <i>Trypanosyllis (Trypanosyllis) coelica</i>	<i>Hesionura elongata</i> <i>Pisione remota</i> <i>Ophiura albida</i>	4
				XXXVII _{MVES}		<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Magelona filiformis</i> <i>Spio decoratus</i>	8
				XI _{MVES}	<i>Coryphella</i>	<i>Polygordius lacteus</i> <i>Glycera lapidum</i> <i>Orchomenella nana</i>	2
				XLIII _{MVES}		<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Bathyporeia guillamsoniana</i> <i>Urothoe brevicornis</i>	3
				LI _{MVES}	<i>Bodotria renosa</i> <i>Caprella linearis</i> <i>Urothoe poseidonis</i> <i>Merona cornucopiae</i> <i>Sagartiogeton undatus</i> <i>Mytilus edulis</i>	<i>Modiolus modiolus</i> <i>Pomatoceros triquetter</i> <i>Balanus crenatus</i>	2
				IV _{MVES}	<i>Leucothoe procer</i> <i>Puncturella noachina</i>	<i>Verruca stroemia</i> <i>Balanus crenatus</i> <i>Pomatoceros triquetter</i>	23
				IV _{MVES}		<i>Pomatoceros triquetter</i> <i>Epizoanthus couchii</i> <i>Ophiothrix fragilis</i>	72
V _{MVES}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>	14				
VI _{MVES}		<i>Schistomeringos rudolphii</i>	3				
XII _{MVES}	<i>Eumida minuta</i> <i>Nereimyra punctata</i> <i>Salvatoria clavata</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Eulalia mustela</i> <i>Pomatoceros triquetter</i>	12				
XIII _{MVES}	<i>Alcyonidium diaphanum</i>	<i>Polygordius lacteus</i> <i>Glycera lapidum</i> <i>Ophiura albida</i>	2				
XIV _{MVES}	<i>Paragnathia formica</i> <i>Solenidae</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Paphia rhomboides</i>	2				
XV _{MVES}	<i>Aeolidia papillosa</i> <i>Phyllodoce laminosa</i>	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus millaris</i> <i>Pomatoceros triquetter</i>	2				
XVI _{MVES}	<i>Ampelisca diadema</i> <i>Necora puber</i> <i>Pandalus montagui</i> <i>Calycella syringa</i> <i>Clytia gracilis</i> <i>Eudendrium capillare</i> <i>Halecium</i> <i>Phialella quadrata</i> <i>Epitonium clathrus</i>	<i>Pomatoceros triquetter</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	2				
XVII _{MVES}	<i>Sthenelais limicola</i>	<i>Magelona filiformis</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i>	3				
XVIII _{MVES}		<i>Ophelia borealis</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i>	7				
XIX _{MVES}	<i>Leucia nivea</i> <i>Lutrarina</i> <i>Panomyia norvegica</i> <i>Siriella armata</i>	<i>Sabellaria spinulosa</i> <i>Pomatoceros lamarcki</i> <i>Ampelisca spinipes</i>	6				

IV.1.2.3. Comparaisons entre les deux périodes

Afin de comparer les assemblages des deux périodes étudiées, différentes étapes ont été réalisées (Figure 53). Les données ont été regroupées de différentes manières et les analyses ont été effectuées sur ces nouveaux jeux de données. Les taxa dits rares (présents sur moins de 5 % des stations), ainsi que les stations dépourvues de macrofaune, ont été supprimées pour effectuer les analyses. Les CAH ont été effectuées sur des données transformées en présence/absence. La distance employée est la distance de Sørensen et les dendrogrammes ont été faits à partir d'un regroupement par groupement moyen. Pour les différents dendrogrammes obtenus, le niveau de coupure a été choisi de façon optimale avec la méthode de Ratkowsky. Par la suite, la symbolique employée dans la cartographie fait correspondre à un même numéro d'assemblages pour chacune des deux périodes le même

figuré (1° comparaison avec toutes les stations et toutes les espèces ; 2° comparaison avec toutes les stations et les espèces communes aux deux périodes ; 3° toutes les stations et suffisance taxonomique, 4° toutes les stations et espèces à plus forte probabilité de récolte et 5° grille artificielle).

IV.1.2.3.a. Etape 1

La comparaison s'est faite sur l'ensemble des stations disponibles (soit 1796 stations) et l'ensemble des espèces contenues dans les deux jeux de données initiaux (soit 835 taxa). Une fois les taxa dits rares ôtés, une matrice de 1796 stations \times 124 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CM_{esp} est présenté à la Figure 66.

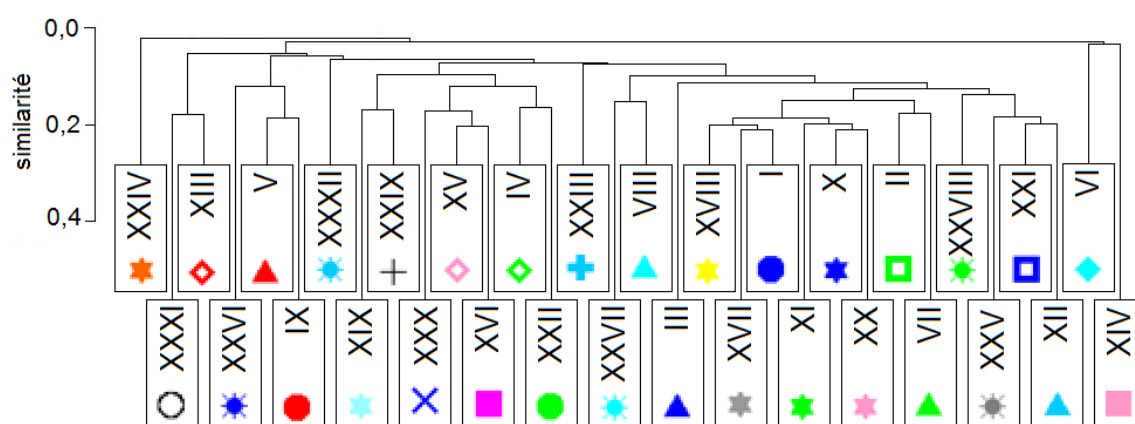


Figure 66 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur l'ensemble des stations et pour toutes les espèces disponibles pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 32 assemblages pour ce regroupement (Figure 67). Parmi ces 32 assemblages, seuls 12 assemblages ont été décrits ici, ceux-ci correspondant aux ensembles comportant le plus de stations. Le nombre de stations correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Récapitulatif du nombre de stations par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007
1	460	12
2	31	0
3	24	0
4	195	1
5	3	0
6	4	0
7	21	0
8	8	9
9	5	0
10	108	0
11	3	0
12	126	0
13	9	0
14	2	0
15	287	48
16	2	6
17	4	236
18	7	4
19	4	0
20	75	0
21	19	0
22	5	0
23	5	0
24	1	0
25	40	0
26	3	0
27	2	0
28	5	0
29	3	0
30	14	0
31	3	0
32	0	2

L'assemblage I_{CMesp} comprend au total 472 stations de sédiments grossiers (cailloutis, graviers plus ou moins ensablés). Il a une profondeur moyenne de 23,9 m. Aucune espèce ne caractérise cet assemblage (Tableau 14). Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Psammechinus miliaris*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) en sont les espèces principales (Tableau 14). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $250,00 \pm 1,93 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $802,94 \pm 18,10 \text{ ind.30L}^{-1}$. Cet assemblage comporte des stations communes aux deux périodes.

L'assemblage XV_{CMesp} comprend au total 335 stations de sables plus ou moins graveleux, situées au niveau des zones de bancs sableux du sud du détroit du Pas de Calais et du sud de la mer du Nord. Cet assemblage est le second à présenter des stations communes dans les deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 29,1 m. *Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Echinocardium cordatum* sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Les prélèvements à la benne Hamon sur cet assemblage ont en moyenne une densité de $512,33 \pm 1,78 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $151,56 \pm 1,47 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $341,27 \pm 9,94 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XVII_{CMesp} comprend au total 240 stations de sédiments grossiers. Il a une profondeur moyenne de 25,1 m. C'est le troisième assemblage décrit qui présente des stations communes aux deux périodes. *Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis* et *Corophium sextonae* sont les espèces principales de cet assemblage et 14 espèces (*Aonides paucibranchiata*, *Diplocirrus glaucus*, *Eunice vittata*, *Eupolymnia nebulosa*, *Laonice bahusiensis*, *Malmgreniella ljunmani*, *Poecilochaetus serpens*, *Scalibregma celticum*, *Syllis armillaris* et *Thelepus setosus*, *Emarginula rosea*, *Gari depressa*, *Thracia villosiuscula* et les plathyhelminthes) le caractérisent (Tableau 14). Les prélèvements à la

benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $655,84 \pm 4,97 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $350,13 \pm 3,33 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1666,80 \pm 14,94 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage IV_{CMesp} comprend au total 196 stations de sables plus ou moins graveleux, situées aux sortir des estuaires (baie des Veys, baie de Seine, baie de Somme) et dans le sud de la mer du Nord. La profondeur moyenne est de 29,0 m. Cet assemblage est caractérisé par *Ampelisca brevicornis* et a pour espèces principales deux annélides (*Owenia fusiformis* et *Pectinaria (Lagis) koreni*) et un bivalve (*Abra alba*) (Tableau 14). 195 prélèvements ont été effectués à la drague Rallier du Baty pour cet assemblage avec une densité moyenne de $1028,87 \pm 11,17 \text{ ind.L}^{-1}$ et une station a été prélevée à la benne Hamon pour une densité de $365,00 \pm 3,94 \text{ ind.m}^{-2}$.

L'assemblage XII_{CMesp} comprend au total 126 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées en zone de transition entre les cailloutis et graviers ensablés et les sédiments sableux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 22,9 m. Trois échinodermes (*Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus*) sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $190,21 \pm 4,41 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage X_{CMesp} comprend au total 108 stations de graviers ensablés, situées à une profondeur moyenne de 24,5 m. *Ophiothrix fragilis*, *Glycymeris glycymeris* et *Nucula nucleus* sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $211,69 \pm 4,22 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XX_{CMesp} comprend au total 75 stations de graviers plus ou moins ensablés, uniquement situées en Baie de Seine. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 23,1 m. Les espèces principales de cet assemblage sont un échinoderme (*Ophiothrix fragilis*), un bivalve (*Paphia rhomboides*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) et il n'y a pas d'espèce qui le caractérise (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $465,61 \pm 10,70 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XXV_{CMesp} comprend au total 40 stations de sables plus ou moins graveleux, situées en zone de transition entre les stations de l'assemblage XII_{CMesp} et les stations sableuses. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 28,1 m. *Spisula (Spisula) ovalis*⁶, *Branchiostoma lanceolatum* et *Echinocyamus pusillus* sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $86,93 \pm 1,67 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage II_{CMesp} comprend au total 31 stations de graviers plus ou moins ensablés, réparties de façon sporadique dans le bassin oriental de la Manche. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 24,9 m. Les espèces principales de cet assemblage sont constituées de l'échinoderme *Ophiothrix fragilis*, de l'arthropode *Pisidia longicornis* et du

⁶ *Spisula (Spisula) ovalis* est l'une des espèces principales de cet assemblage bien qu'elle n'ait été trouvée que lors des années 1971-1976. Elle peut être facilement confondue avec *Spisula (Spisula) solida*, cette dernière préférant les substrats plus riches en graviers que *S. (Spisula) ovalis* (Glémarec, 1968). La distinction entre les deux espèces n'est pas toujours admise.

cnidaire *Cerianthus lloydi* mais il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $149,97 \pm 3,84 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage III_{CMesp} comprend au total 24 stations de graviers ensablés, situées en zone de transition entre les zones à sédiments grossiers et les zones sableuses. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 21,7 m. Deux bivalves (*Nucula nitidosa* et *Nucula nucleus*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $42,96 \pm 0,86 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage VII_{CMesp} comprend au total 21 stations de sables graveleux, réparties de façon sporadique en Manche. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,5 m. *Abra alba*, *Ophiothrix fragilis* et *Nephtys hombergii* sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $109,67 \pm 1,41 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XXI_{CMesp} comprend au total 19 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées en zone côtière. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 29,5 m. Deux bivalves (*Spisula (Spisula) ovalis* et *Nucula hanleyi*) et un échinoderme (*Ophiothrix fragilis*) sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces qui le caractérisent (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $71,16 \pm 1,07 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XXX_{CMesp} comprend au total 14 stations de sables, parfois légèrement graveleux, situées en zone de transition entre les sédiments grossiers et les stations de l'assemblage XII_{CMesp}. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 29,3 m. Une mysidacé (*Gastrosaccus spinifer*) et deux annélides (*Ophelia borealis* et *Nephtys longosetosa*) sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 14). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $51,86 \pm 1,15 \text{ ind.L}^{-1}$.

Tableau 14 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur l'ensemble des stations et pour toutes les espèces disponibles.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Pisidia longicornis</i>	472
II _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Cerianthus lloydii</i>	31
III _{CMesp}		<i>Pisidia longicornis</i> <i>Nucula nitidosa</i> <i>Nucula nucleus</i>	24
IV _{CMesp}	<i>Ampelisca brevicornis</i>	<i>Owenia fusiformis</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Abra alba</i>	196
VII _{CMesp}		<i>Abra alba</i> <i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Nephtys hombergii</i>	21
X _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Nucula nucleus</i>	108
XII _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	126
XV _{CMesp}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Echinocardium cordatum</i>	335
XVII _{CMesp}	<i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Diplocirrus glaucus</i> <i>Eunice vittata</i> <i>Eupolymnia nebulosa</i> <i>Laonice bahusiensis</i> <i>Malmgreniella ljungmani</i> <i>Poecilochaetus serpens</i> <i>Scalibregma celticum</i> <i>Syllis armillaris</i> <i>Thelepus setosus</i> <i>Emarginula rosea</i> <i>Gari depressa</i> <i>Thracia villosiuscula</i> Platyhelminthes	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Corophium sextonae</i>	75
XX _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Paphia rhomboides</i> <i>Pisidia longicornis</i>	240
XXI _{CMesp}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Spisula (Spisula) ovalis</i> <i>Nucula hanleyi</i>	19
XXV _{CMesp}		<i>Spisula (Spisula) ovalis</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	40
XXX _{CMesp}		<i>Gastrosaccus spinifer</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Nephtys longosetosa</i>	14

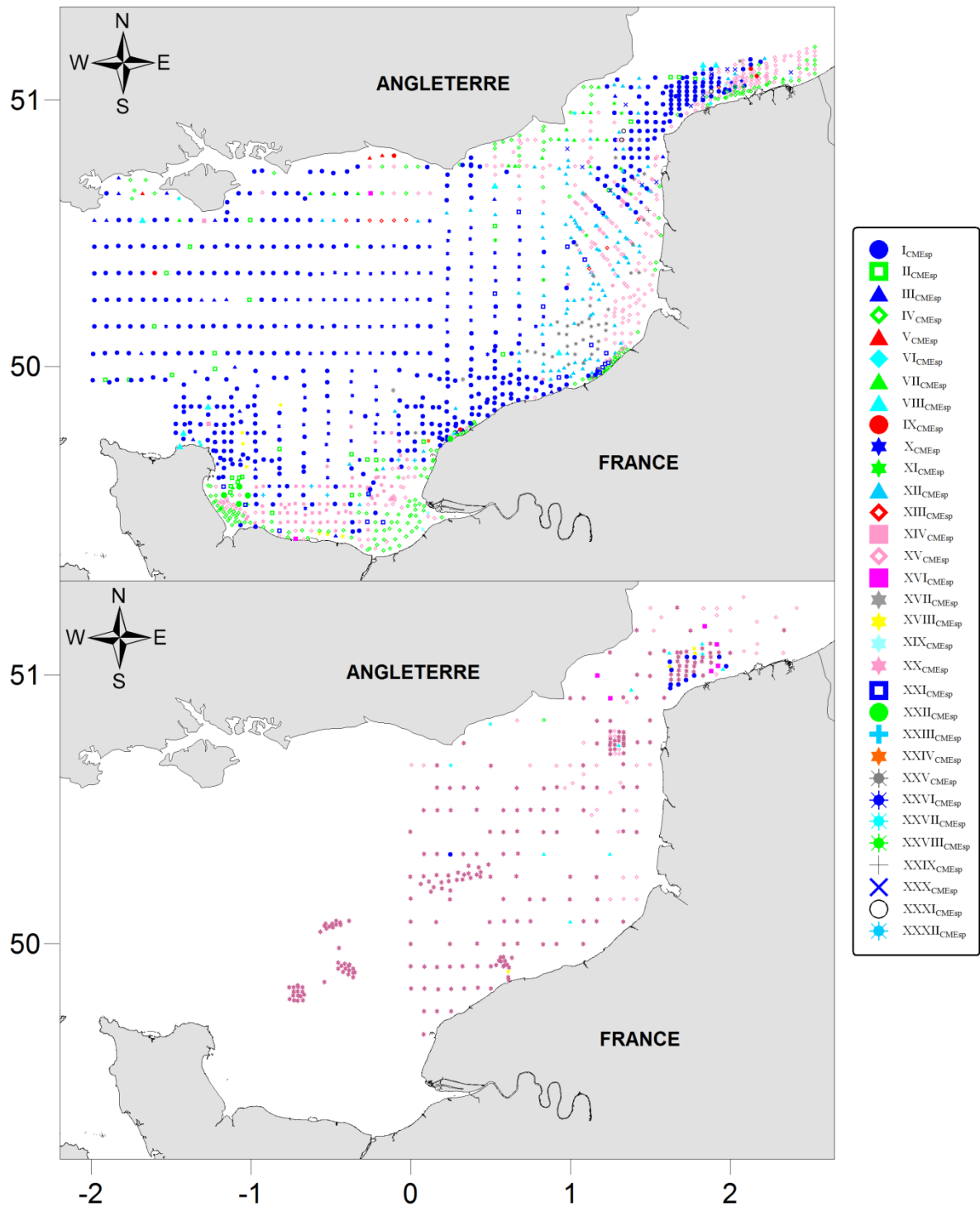


Figure 67 : Localisation géographique des 32 assemblages identifiés pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) pour l'ensemble des stations et l'ensemble des espèces. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.3.b. Etape 2

La comparaison s'est faite sur l'ensemble des stations disponibles (soit 1796 stations) et sur les espèces communes aux deux périodes (soit 399 espèces). Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 1796 stations \times 116 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu est présenté Figure 68.

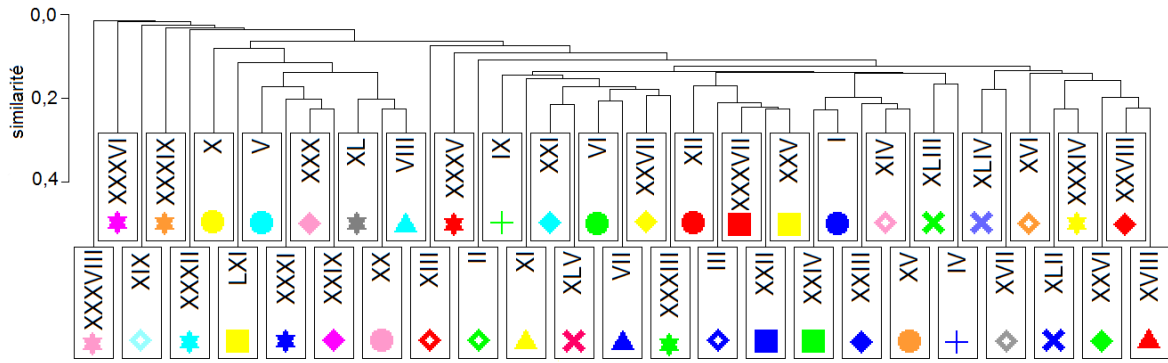


Figure 68 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur l'ensemble des stations et pour les espèces communes pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 45 assemblages pour ce regroupement (Figure 69). Parmi ces 45 assemblages, seuls 20 assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de stations (entre 12 et 423 stations). Le nombre de stations correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Récapitulatif du nombre de stations par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007
IC _{Mcom}	420	3
II _{Mcom}	25	0
III _{Mcom}	19	0
IV _{Mcom}	1	0
V _{Mcom}	11	1
VI _{Mcom}	191	1
VII _{Mcom}	24	0
VIII _{Mcom}	34	0
IX _{Mcom}	2	0
X _{Mcom}	3	1
XI _{Mcom}	11	0
XII _{Mcom}	10	6
XIII _{Mcom}	8	0
XIV _{Mcom}	96	0
XV _{Mcom}	90	2
XVI _{Mcom}	9	0
XVII _{Mcom}	8	0
XVIII _{Mcom}	12	0
XIX _{Mcom}	2	0
XX _{Mcom}	250	48
XXI _{Mcom}	9	0
XXII _{Mcom}	2	3
XXIII _{Mcom}	3	0
XXIV _{Mcom}	1	239
XXV _{Mcom}	2	3
XXVI _{Mcom}	11	0
XXVII _{Mcom}	3	0
XXVIII _{Mcom}	129	0
XXIX _{Mcom}	7	0
XXX _{Mcom}	17	0
XXXI _{Mcom}	2	0
XXXII _{Mcom}	4	0
XXXIII _{Mcom}	3	0
XXXIV _{Mcom}	9	0
XXXV _{Mcom}	3	0
XXXVI _{Mcom}	1	0
XXXVII _{Mcom}	5	5
XXXVIII _{Mcom}	2	0
XXXIX _{Mcom}	3	0
XL _{Mcom}	14	0
XLI _{Mcom}	11	1
XLII _{Mcom}	10	0
XLIII _{Mcom}	1	0
XLIV _{Mcom}	0	1
XLV _{Mcom}	0	4

L'assemblage IC_{Mcom} comprend au total 423 stations de graviers plus ou moins ensablés. Cet assemblage a une profondeur moyenne de 24,4 m. Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Psammechinus miliaris*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui ne possède pas d'espèces caractéristiques (Tableau 16). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $689,87 \pm 22,70 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XX_{Mcom} comprend au total 298 stations de sables plus ou moins graveleux. Cet assemblage comporte un nombre important de stations pour chaque des deux périodes. Il se situe dans les zones de bancs sableux au sud du détroit du Pas de Calais et au sud de la mer du Nord. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 28,6 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 16). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $147,19 \pm 2,63 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $107,67 \pm 1,94 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $303,56 \pm 12,56 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XXIV_{Mcom} comprend au total 240 stations de graviers plus ou moins ensablés. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,1 m. *Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis* et *Corophium sextonae* sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 16). Cinq annélides (*Aonides paucibranchiata*, *Cerebratulus*, *Eulalia mustela*, *Poecilochaetus serpens* et *Syllis armillaris*) et un bivalve (*Gari depressa*) constitue les

espèces caractéristiques (Tableau 16). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $553,06 \pm 7,21 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $309,53 \pm 4,50 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1539,39 \pm 21,58 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage VI_{CMcom} comprend au total 192 stations de sables plus ou moins graveleux, situées en zone côtière au sortir des estuaires, avec une profondeur moyenne de 27,4 m. Aucune espèce ne caractérise cet assemblage, qui comprend deux annélides (*Owenia fusiformis* et *Pectinaria (Lagis) koreni*) et un bivalve (*Abra alba*) en espèces principales (Tableau 16). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $339,00 \pm 5,63 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1020,36 \pm 16,00 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XIV_{CMcom} comprend au total 96 stations de graviers plus ou moins ensablés, avec une profondeur moyenne de 24,5 m. Cet assemblage est en grande partie situé dans la partie médiane de la Manche. *Ophiothrix fragilis*, *Glycymeris glycymeris* et *Nucula nucleus* sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 16). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $200,74 \pm 5,54 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XV_{CMcom} comprend au total 92 stations de graviers plus ou moins ensablés, situés quasiment uniquement en Baie de Seine, pour une profondeur moyenne de 23,2 m. Les espèces principales de cet assemblage sont l'échinoderme *Ophiothrix fragilis*, l'arthropode *Pisidia longicornis* et le mollusque *Paphia rhomboides* (Tableau 16). Il n'y a pas d'espèces caractéristiques pour cet assemblage (Tableau 16). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $754,89 \pm 29,15 \text{ ind.L}^{-1}$.

Les 12 assemblages restants (II_{CMcom}, III_{CMcom}, V_{CMcom}, VII_{CMcom}, VIII_{CMcom}, XI_{CMcom}, XII_{CMcom}, XVIII_{CMcom}, XXVI_{CMcom}, XXX_{CMcom}, XLI_{CMcom} et XLII_{CMcom}) sont constitués d'un nombre plus faible de stations (10 à 34), pour lesquelles la distribution est assez aléatoire en Manche et localement en zone de transition entre deux autres grands assemblages. Ils sont tous constitués de sables plus ou moins graveleux ou de graviers plus ou moins ensablés et leurs profondeurs moyennes s'étendent de 19,1 à 40,1 m. Aucun de ces assemblages n'est caractérisé par une espèce. Les espèces principales de ces assemblages sont présentées dans le Tableau 16. Les densités moyennes de ces assemblages se situent entre $41,18 \pm 0,74$ et $156,73 \pm 3,23 \text{ ind.30L}^{-1}$ pour la drague Rallier du Baty et sont de $26,00 \pm 0,40 \text{ ind.m}^{-2}$ pour la benne Hamon.

Tableau 16 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur l'ensemble des stations et pour toutes les espèces communes.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Pisidia longicornis</i>	423
II _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Glycymeris glycymeris</i>	25
III _{CMcom}		<i>Pisidia longicornis</i> <i>Nucula nitidosa</i> <i>Gibbula tumida</i>	19
V _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Spisula elliptica</i> <i>Notomastus latericeus</i>	12
VI _{CMcom}		<i>Owenia fusiformis</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Abra alba</i>	192
VII _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Abra alba</i>	24
VIII _{CMcom}		<i>Nucula nitidosa</i> <i>Abra alba</i> <i>Nephtys hombergii</i>	34
XI _{CMcom}		<i>Owenia fusiformis</i> <i>Ampelisca brevicornis</i> <i>Echinocardium cordatum</i>	11
XII _{CMcom}		<i>Glycera lapidum</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Pisidia longicornis</i>	16
XIV _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Nucula nucleus</i>	96
XV _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Paphia rhomboides</i>	92
XVIII _{CMcom}		<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Nucula hanleyi</i>	12
XX _{CMcom}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>	298
XXIV _{CMcom}	<i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Cerebratulus</i> <i>Eulalia mustela</i> <i>Poecilochaetus serpens</i> <i>Syllis armillaris</i> <i>Gari depressa</i>	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Corophium sextonae</i>	240
XXVI _{CMcom}		<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ensis arcuatus</i> <i>Spisula elliptica</i>	11
XXVIII _{CMcom}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	129
XXX _{CMcom}		<i>Ensis arcuatus</i> <i>Nucula hanleyi</i> <i>Ophiothrix fragilis</i>	17
XL _{CMcom}		<i>Gastrosaccus spinifer</i> <i>Bathyporeia elegans</i> <i>Ophelia borealis</i>	14
XLI _{CMcom}		<i>Ophelia borealis</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Glycera lapidum</i>	12
XLII _{CMcom}		<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Spatangus purpureus</i> <i>Lumbrineris latreilli</i>	10

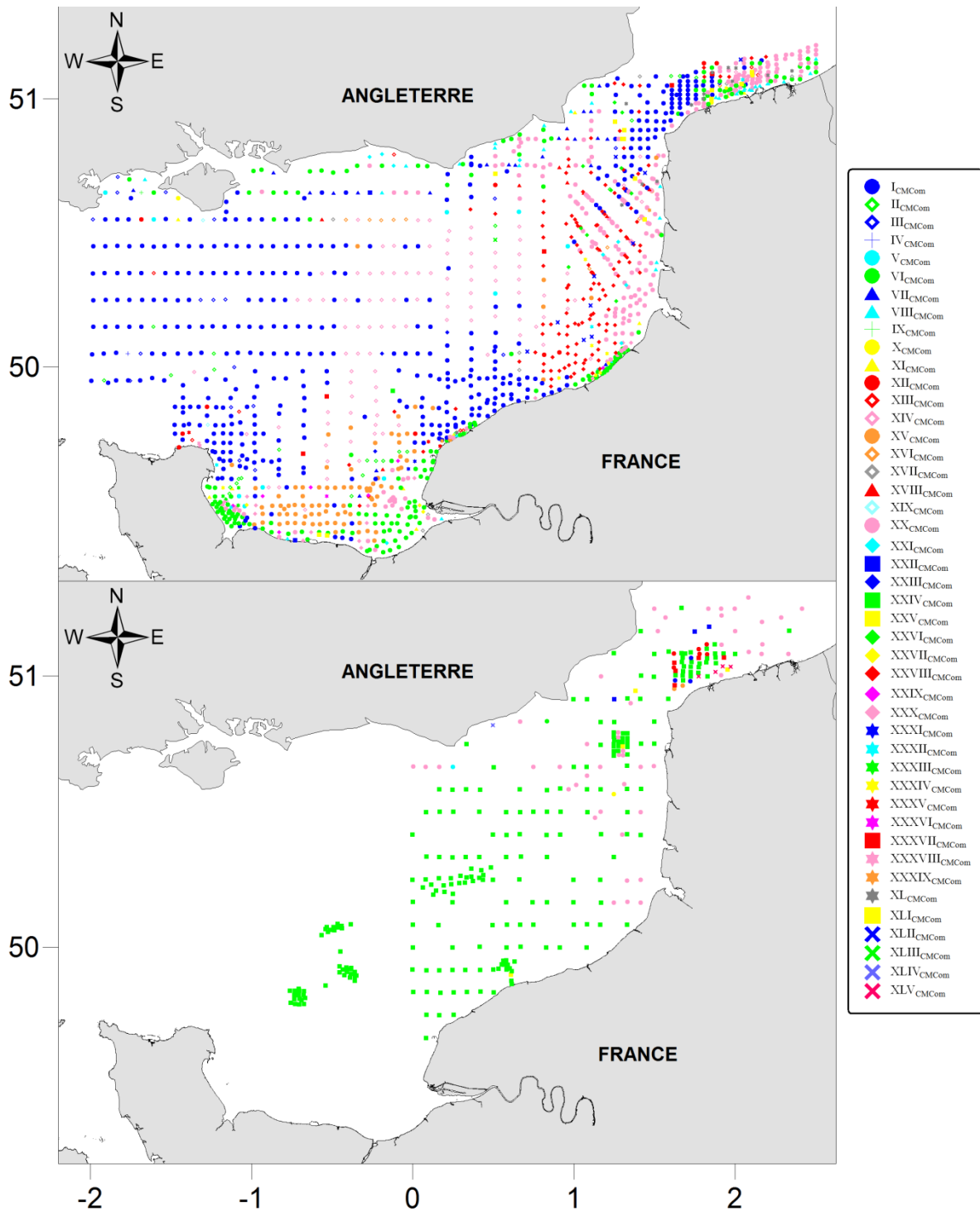


Figure 69 : Localisation géographique des 45 assemblages identifiés pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) pour toutes les stations et les espèces communes. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.3.c. Etape 3

L'utilisation du plus grand nombre de taxa disponibles ne donnant pas de résultats suffisamment satisfaisants dans la comparaison des deux périodes, les analyses ont été refaites en utilisant les principes de la suffisance taxonomique (Ellis, 1985, Dauvin *et al.*, 2003b) pour exploiter les jeux de données.

Dans un premier temps, l'agrégation des taxa a été faite en tenant compte des différents problèmes de taxonomie qui ont pu exister entre les deux périodes. A titre d'exemple et parmi les plus fréquents problèmes rencontrés :

- les changements d'épithètes spécifiques mais aussi des noms de genres, comme par exemple avec les espèces des genres *Harmothoe* et *Malmgreniella*, regroupées ici dans un ensemble *Harmothoe-Malmgreniella* ;

- les complexes d'espèces, comme par exemple *Capitella capitata*, regroupées au niveau du genre.

Ainsi, la comparaison s'est faite sur l'ensemble des stations disponibles (soit 1796 stations) et sur un ensemble de 472 taxa ou regroupements de taxa. Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 1796 stations \times 129 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CM_{agr} est présenté à la Figure 70.

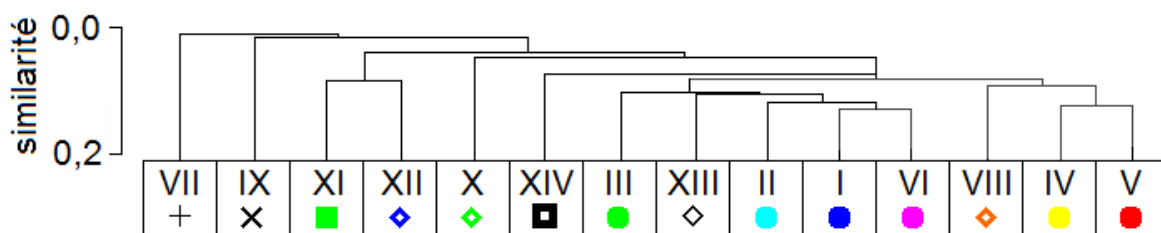


Figure 70 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur l'ensemble des stations et pour les taxa agrégés pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 14 assemblages pour ce regroupement (Figure 71). Parmi ces 14 assemblages, seuls six assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de stations (entre 24 et 682 stations). Le nombre de stations correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 17. Seuls deux assemblages ($I_{CM_{agr}}$ et $V_{CM_{agr}}$) sont véritablement communs aux deux périodes avec plusieurs dizaines de stations. Les autres ne sont caractéristiques quasiment que de la période 1971-1976.

Tableau 17 : Récapitulatif du nombre de stations par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007
I _{CMagr}	682	236
II _{CMagr}	24	0
III _{CMagr}	44	1
IV _{CMagr}	235	1
V _{CMagr}	303	77
VI _{CMagr}	165	1
VII _{CMagr}	1	0
VIII _{CMagr}	7	0
IX _{CMagr}	1	0
X _{CMagr}	3	1
XI _{CMagr}	7	0
XII _{CMagr}	5	0
XIII _{CMagr}	1	0
XIV _{CMagr}	0	1

L'assemblage I_{CMagr} comprend au total 918 stations de sédiments grossiers (cailloutis, graviers plus ou moins ensablés). Cet assemblage présente de nombreuses stations dans les deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 24,4 m. Les taxa principaux de cet assemblage sont l'échinoderme *Ophiothrix fragilis* et les arthropodes *Pisidia longicornis* et du genre *Corophium* (Tableau 18). *Galathea* et *Lepidonotus squamatus* caractérisent cet assemblage (Tableau 18). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $644,78 \pm 6,31 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $373,92 \pm 5,34 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1241,94 \pm 37,83 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage V_{CMagr} comprend au total 380 stations de sables plus ou moins graveleux, situées à une profondeur moyenne de 28,6 m. Cet assemblage présente de nombreuses stations dans les deux périodes. *Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis* sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 18). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $217,56 \pm 3,26 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $165,67 \pm 1,89 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $346,69 \pm 14,06 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage IV_{CMagr} comprend au total 236 stations de sables plus ou moins graveleux, situées en zone côtière au sortir des estuaires et le long des côtes anglaises. Cet assemblage est à une profondeur moyenne de 28,7 m. Sans espèce caractéristique, cet assemblage a pour espèces principales *Owenia fusiformis*, *Abra alba* et *Pariambus typicus* (Tableau 18). 235 prélèvements ont été effectués à la drague Rallier du Baty pour cet assemblage avec une densité moyenne de $936,09 \pm 14,50 \text{ ind.L}^{-1}$ et une station a été prélevée à la benne Hamon pour une densité de $355,00 \pm 5,19 \text{ ind.m}^{-2}$.

L'assemblage VI_{CMagr} comprend au total 166 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées en zone de transition entre l'assemblage I_{CMagr} et l'assemblage V_{CMagr}. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 22,1 m. Trois échinodermes (*Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus*) sont les espèces principales de cet assemblage non caractérisé (Tableau 18). 165 prélèvements ont été effectués à la drague Rallier du Baty pour cet assemblage avec une densité moyenne de $228,94 \pm 7,66 \text{ ind.L}^{-1}$ et une station a été prélevée à la benne Hamon pour une densité de $83,00 \pm 1,02 \text{ ind.m}^{-2}$.

L'assemblage III_{CMagr} comprend au total 45 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées plutôt en zone de transition entre les zones de sédiments grossiers et les zones de sédiments sableux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,1 m.

Ophiothrix fragilis, *Spisula* et *Paphia rhomboides* sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'est pas caractérisé (Tableau 18). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $73,98 \pm 2,15 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage II_{CMagr} comprend au total 24 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées de façon sporadique en Manche. Cet assemblage a une profondeur moyenne de 25,2 m. Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Psammechinus miliaris*) et une annélide (*Notomastus latericeus*) sont les espèces principales de cet assemblage et il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 18). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $88,17 \pm 2,78 \text{ ind.L}^{-1}$.

Tableau 18 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur l'ensemble des stations et pour les espèces agrégées.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CMagr}	<i>Galathea</i> <i>Lepidonotus squamatus</i>	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Corophium</i>	918
II _{CMagr}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Psammechinus miliaris</i> <i>Notomastus latericeus</i>	24
III _{CMagr}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Spisula</i> <i>Paphia rhomboides</i>	45
IV _{CMagr}		<i>Owenia fusiformis</i> <i>Abra alba</i> <i>Pariambus typicus</i>	236
V _{CMagr}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>	380
VI _{CMagr}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	166

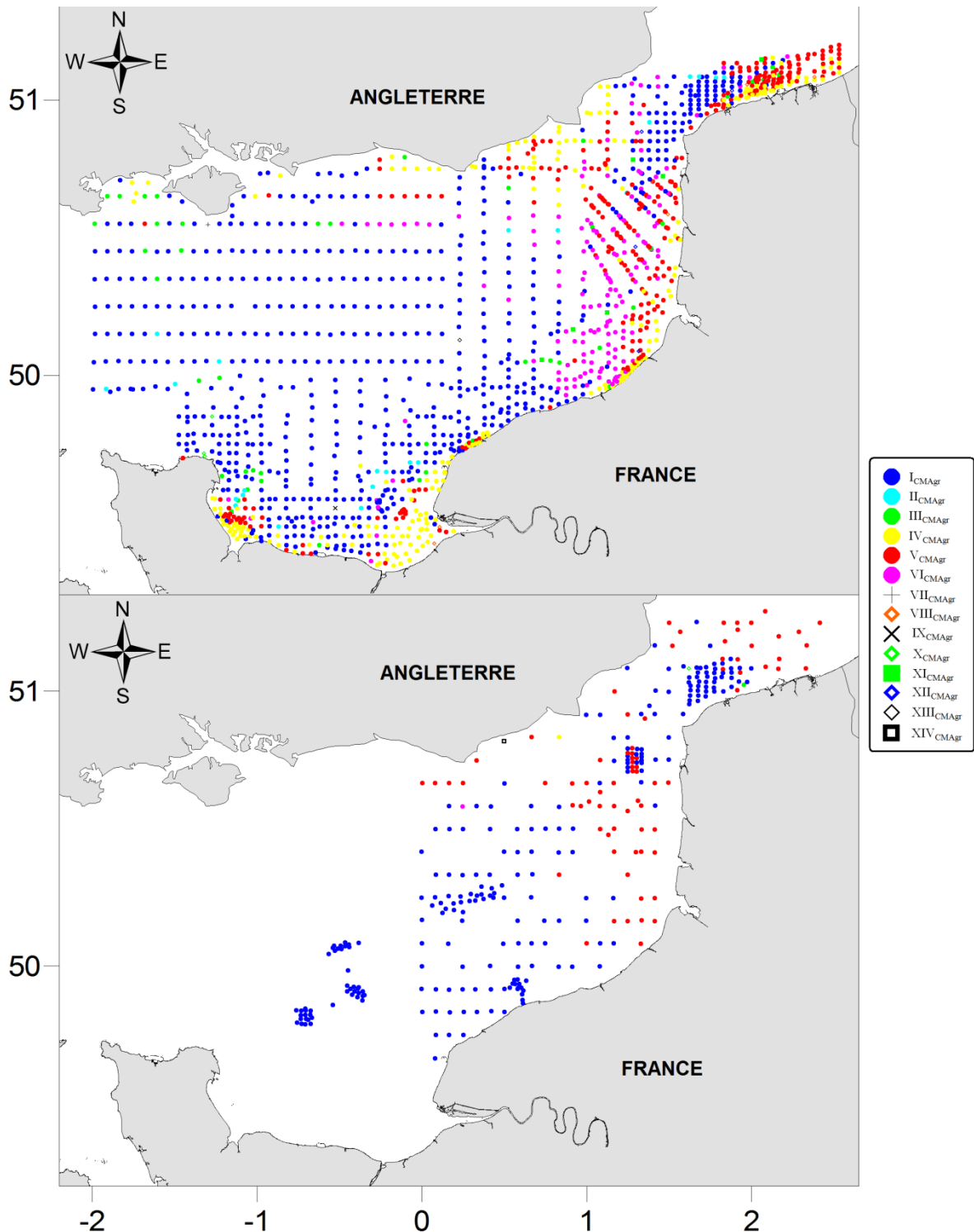


Figure 71 : Localisation géographique des 14 assemblages identifiés pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) pour toutes les stations et les espèces agrégées. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

Dans un second temps, l'agrégation des taxa a été faite jusqu'au niveau taxonomique de la famille. En effet, de nombreuses études (Maurer, 2000, Dauvin *et al.*, 2003b, De Biasi *et al.*, 2003, Gomez Gesteira *et al.*, 2003, Terlizzi *et al.*, 2003, Dethier et Schoch, 2006, Chainho *et al.*, 2007, Mendes *et al.*, 2007, Terlizzi *et al.*, 2009) ont montré que les analyses effectuées à ce niveau taxonomique donne les mêmes résultats que pour les niveaux spécifique ou générique.

La comparaison s'est faite sur l'ensemble des stations disponibles (soit 1796 stations) et sur un ensemble de 227 familles. Une fois les familles rares ôtées, une matrice de 1796 stations \times 93 familles a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CM_{fam} est présenté Figure 72.



Figure 72 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur l'ensemble des stations et pour les familles pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 53 assemblages pour ce regroupement (Figure 73). Les assemblages ne sont pas décrits pour cette agrégation mais le nombre de stations correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 19. Là encore, seuls deux assemblages (XXX_{CMfam} et $XXVIII_{CMfam}$) sont véritablement communs aux deux périodes avec plusieurs dizaines de stations. Les autres ne sont en général caractéristiques quasiment que de la période 1971-1976.

Tableau 19 : Récapitulatif du nombre de stations par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007
ICMfam	461	4
IICMfam	12	1
IIICMfam	11	0
IVCMfam	2	0
VCMfam	11	0
VICMfam	7	0
VIIICMfam	36	0
VIIICMfam	69	1
IXCMfam	9	0
XCMfam	8	0
XICMfam	26	1
XIICMfam	4	0
XIIICMfam	6	0
XIVCMfam	6	0
XVCMfam	3	0
XVICMfam	35	1
XVIIICMfam	2	0
XVIIICMfam	5	0
XIXCMfam	5	0
XXCMfam	2	0
XXICMfam	115	1
XXIICMfam	16	0
XXIIICMfam	1	0
XXIVCMfam	22	2
XXVCMfam	2	0
XXVICMfam	3	0
XXVIIICMfam	13	0
XXVIIICMfam	134	51
XXIXCMfam	22	0
XXXCMfam	132	241
XXXICMfam	79	0
XXXIICMfam	8	0
XXXIIICMfam	115	0
XXXIVCMfam	5	0
XXXVCMfam	2	1
XXXVICMfam	29	2
XXXVIIICMfam	5	0
XXXVIIICMfam	5	1
XXXIXCMfam	1	0
XL-CMfam	7	0
XLI-CMfam	6	0
XLII-CMfam	6	0
XLIII-CMfam	1	0
XLIV-CMfam	3	0
XLV-CMfam	2	0
XLVI-CMfam	2	0
XLVII-CMfam	7	0
XLVIII-CMfam	7	0
XLIX-CMfam	2	0
LCMfam	1	1
LICMfam	2	0
LII-CMfam	3	3
LIII-CMfam	0	7

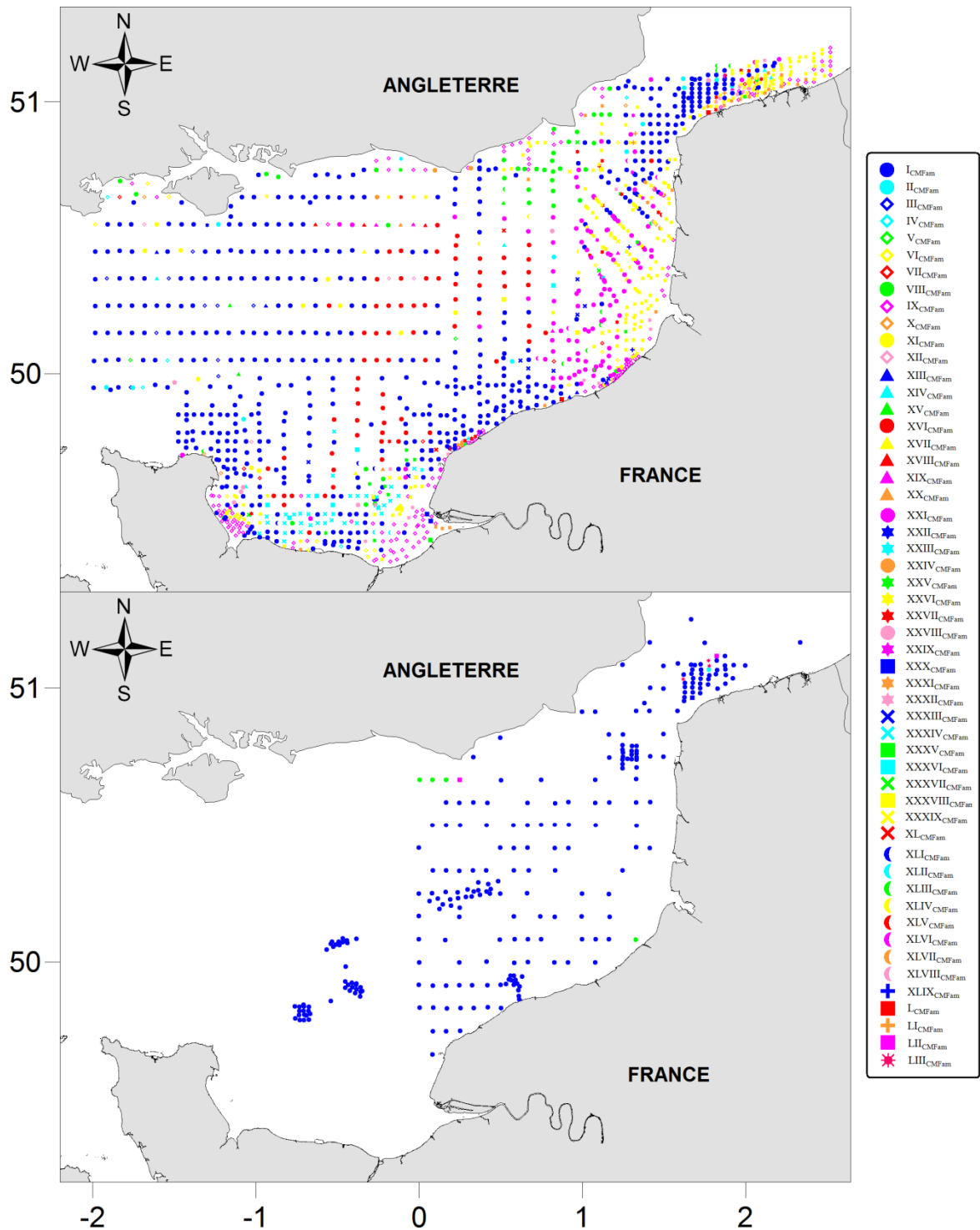


Figure 73 : Localisation géographique des 53 assemblages identifiés pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) pour toutes les stations et le regroupement au niveau famille. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.3.d. Etape 4

Suite à l'analyse des protocoles employés au cours de deux périodes, une quatrième comparaison a été effectuée en ne conservant pour l'analyse que les taxa ayant la plus grande probabilité de récolte pour les deux périodes étudiées. Ainsi, la comparaison s'est faite sur l'ensemble des stations disponibles (soit 1796 stations) et sur un ensemble de 344 taxa (Annexe 2). Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 1796 stations \times 106 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CM_{fpr} est présenté Figure 74.

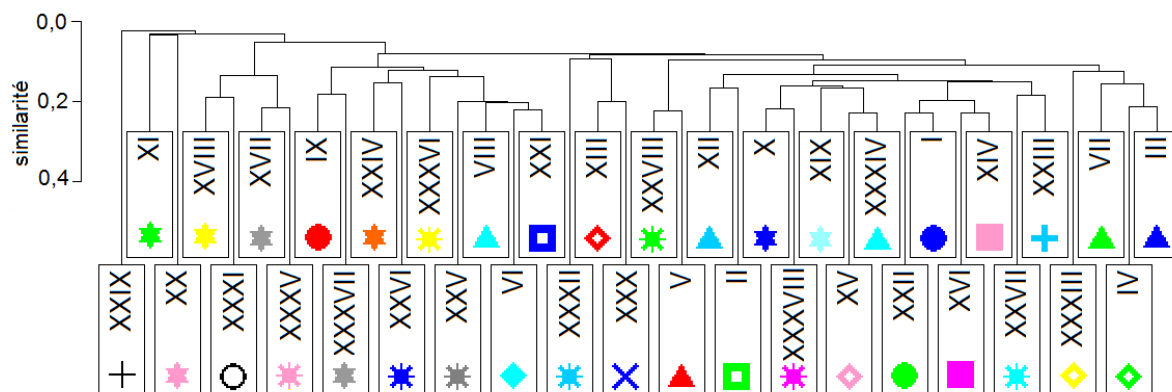


Figure 74 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur l'ensemble des stations et pour les taxa ayant la plus forte probabilité de récolte pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 38 assemblages pour ce regroupement (Figure 75). Parmi ces 38 assemblages, seuls 16 assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de stations (entre 56 et 505 stations). Le nombre de stations correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 20.

L'assemblage $I_{CM_{fpr}}$ comprend au total 505 stations de sédiments grossiers (cailloutis et graviers plus ou moins ensablés). Cet assemblage comporte un nombre important de stations pour chacune des deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 23,8 m. Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Echinocyamus pusillus*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 21). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $865,59 \pm 29,39 \text{ ind.L}^{-1}$.

Tableau 20 : Récapitulatif du nombre de stations par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007
I _{CMfpr}	448	57
II _{CMfpr}	24	0
III _{CMfpr}	2	0
IV _{CMfpr}	16	2
V _{CMfpr}	11	1
VI _{CMfpr}	165	2
VII _{CMfpr}	16	0
VIII _{CMfpr}	7	0
IX _{CMfpr}	274	61
X _{CMfpr}	3	0
XI _{CMfpr}	4	0
XII _{CMfpr}	12	1
XIII _{CMfpr}	6	6
XIV _{CMfpr}	89	1
XV _{CMfpr}	153	4
XVI _{CMfpr}	92	0
XVII _{CMfpr}	4	0
XVIII _{CMfpr}	2	0
XIX _{CMfpr}	7	0
XX _{CMfpr}	2	0
XXI _{CMfpr}	55	1
XXII _{CMfpr}	9	177
XXIII _{CMfpr}	6	2
XXIV _{CMfpr}	5	0
XXV _{CMfpr}	4	0
XXVI _{CMfpr}	2	0
XXVII _{CMfpr}	2	0
XXVIII _{CMfpr}	4	0
XXIX _{CMfpr}	1	0
XXX _{CMfpr}	12	0
XXXI _{CMfpr}	1	0
XXXII _{CMfpr}	2	0
XXXIII _{CMfpr}	1	2
XXXIV _{CMfpr}	10	0
XXXV _{CMfpr}	5	0
XXXVI _{CMfpr}	2	1
XXXVII _{CMfpr}	15	0
XXXVIII _{CMfpr}	5	0

L'assemblage IX_{CMfpr} comprend au total 335 stations de sables plus ou moins graveleux. Cet assemblage comporte un nombre important de stations pour chaque des deux périodes. Il se situe dans les zones de bancs sableux au sud du détroit du Pas de Calais et au sud de la mer du Nord. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 28,2 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 21). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $129,23 \pm 2,83 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $182,88 \pm 3,31 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $320,10 \pm 14,96 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XXII_{CMfpr} comprend au total 186 stations de graviers plus ou moins ensablés. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 26,5 m. *Pisidia longicornis*, *Galathea intermedia* et *Echinocyamus pusillus* sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 21). *Diplocirrus glaucus*, *Eupolymnia nebulosa*, *Pterocirrus macroceros* et *Thracia villosiuscula* constituent les espèces caractéristiques (Tableau 21).

Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $504,70 \pm 7,55 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $326,67 \pm 6,65 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $816,19 \pm 10,49 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage VI_{CMfpr} comprend au total 167 stations de graviers plus ou moins ensablés, situées en zone côtière, avec une profondeur moyenne de 28,1 m. Aucune espèce ne caractérise cet assemblage, qui comprend deux annélides (*Owenia fusiformis* et *Lanice conchilega*) et un bivalve (*Abra alba*) en espèces principales (Tableau 21). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $321,00 \pm 5,96 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $953,16 \pm 17,81 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XV_{CMfpr} comprend au total 157 stations de graviers plus ou moins ensablés, situés en zone de transition entre les zones à sédiments grossiers et les zones de sédiments sableux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 22,2 m. *Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus* sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 21). Les prélèvements à la benne Van Veen de cet assemblage ont en moyenne une densité de $186,00 \pm 4,14 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $258,59 \pm 8,84 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage XVI_{CMfpr} comprend au total 92 stations de graviers plus ou moins ensablés, situés uniquement en Baie de Seine, pour une profondeur moyenne de 24,4 m. Les espèces principales de cet assemblage sont *Ophiothrix fragilis*, *Amphipholis squamata* et *Paphia rhomboides* (Tableau 21). Il n'y a pas d'espèces caractéristiques pour cet assemblage (Tableau 21). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $652,26 \pm 27,15 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XIV_{CMfpr} comprend au total 90 stations de graviers plus ou moins ensablés, avec une profondeur moyenne de 24,6 m. Cet assemblage est en grande partie situé dans la partie médiane de la Manche. Un échinoderme (*Ophiothrix fragilis*) et deux bivalves (*Glycymeris glycymeris* et *Paphia rhomboides*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 21). Les 89 prélèvements effectués à la drague Rallier du Baty ont une densité moyenne de $249,19 \pm 7,68 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage XXI_{CMfpr} comprend au total 56 stations de sables plus ou moins graveleux, situées en zone côtière, avec une profondeur moyenne de 29,7 m. Deux bivalves (*Abra alba* et *Nucula nitidosa*) et une annélide (*Nephtys hombergii*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'est pas caractérisé (Tableau 21). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $342,00 \pm 11,09 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $155,02 \pm 3,45 \text{ ind.30L}^{-1}$.

Les neuf assemblages restants (II_{CMfpr}, IV_{CMfpr}, V_{CMfpr}, VII_{CMfpr}, XII_{CMfpr}, XXX_{CMfpr}, XXXIV_{CMfpr} et XXXVII_{CMfpr}) sont constitués d'un nombre moins important de stations (10 à 24), pour lesquelles la distribution est assez aléatoire en Manche et localement en zone de transition entre deux autres grands assemblages. Ils sont tous constitués de sables plus ou moins graveleux ou de graviers plus ou moins ensablés et leurs profondeurs moyennes s'étendent de 12,5 à 37,1 m. Aucun de ces assemblages ne possède de taxa caractéristiques. Les espèces principales de ces assemblages sont présentées dans le Tableau 21. Les densités moyennes de ces assemblages se situent entre $35,06 \pm 0,95$ et $108,00 \pm 4,26 \text{ ind.30L}^{-1}$ pour la drague Rallier du Baty, de $30,00 \pm 0,84$ à $51,00 \pm 1,08 \text{ ind.m}^{-2}$ pour la benne Van Veen et sont de $28,00 \pm 0,47$ à $109,00 \pm 3,20 \text{ ind.m}^{-2}$ pour la benne Hamon.

Tableau 21 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur l'ensemble des stations et pour les taxa ayant la plus forte probabilité de récolte.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Pisidia longicornis</i>	505
II _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Psammechinus milaris</i> <i>Notomastus latericeus</i>	24
IV _{CMfpr}		<i>Pisidia longicornis</i> <i>Polygordius lacteus</i> <i>Glycera lapidum</i>	18
V _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Spisula elliptica</i> <i>Chaetozone</i>	12
VI _{CMfpr}		<i>Owenia fusiformis</i> <i>Lanice conchilega</i> <i>Abra alba</i>	167
VII _{CMfpr}		<i>Nucula nitidosa</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Nephtys hombergii</i>	16
IX _{CMfpr}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>	335
XII _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Abra alba</i>	13
XIV _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Paphia rhomboides</i>	90
XV _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	157
XVI _{CMfpr}		<i>Ophiotrix fragilis</i> <i>Amphipholis squamata</i> <i>Paphia rhomboides</i>	92
XXI _{CMfpr}		<i>Abra alba</i> <i>Nucula nitidosa</i> <i>Nephtys hombergii</i>	56
XXII _{CMfpr}	<i>Diplocirrus glaucus</i> <i>Eupolymnia nebulosa</i> <i>Pterocirrus macroceros</i> <i>Thracia villosiuscula</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Galathea intermedia</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	186
XXX _{CMfpr}		<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Spisula (Spisula) ovalis</i>	12
XXXIV _{CMfpr}		<i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Nucula hanleyi</i>	10
XXXVII _{CMfpr}		<i>Gastrosaccus spinifer</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Nephtys longosetosa</i>	15

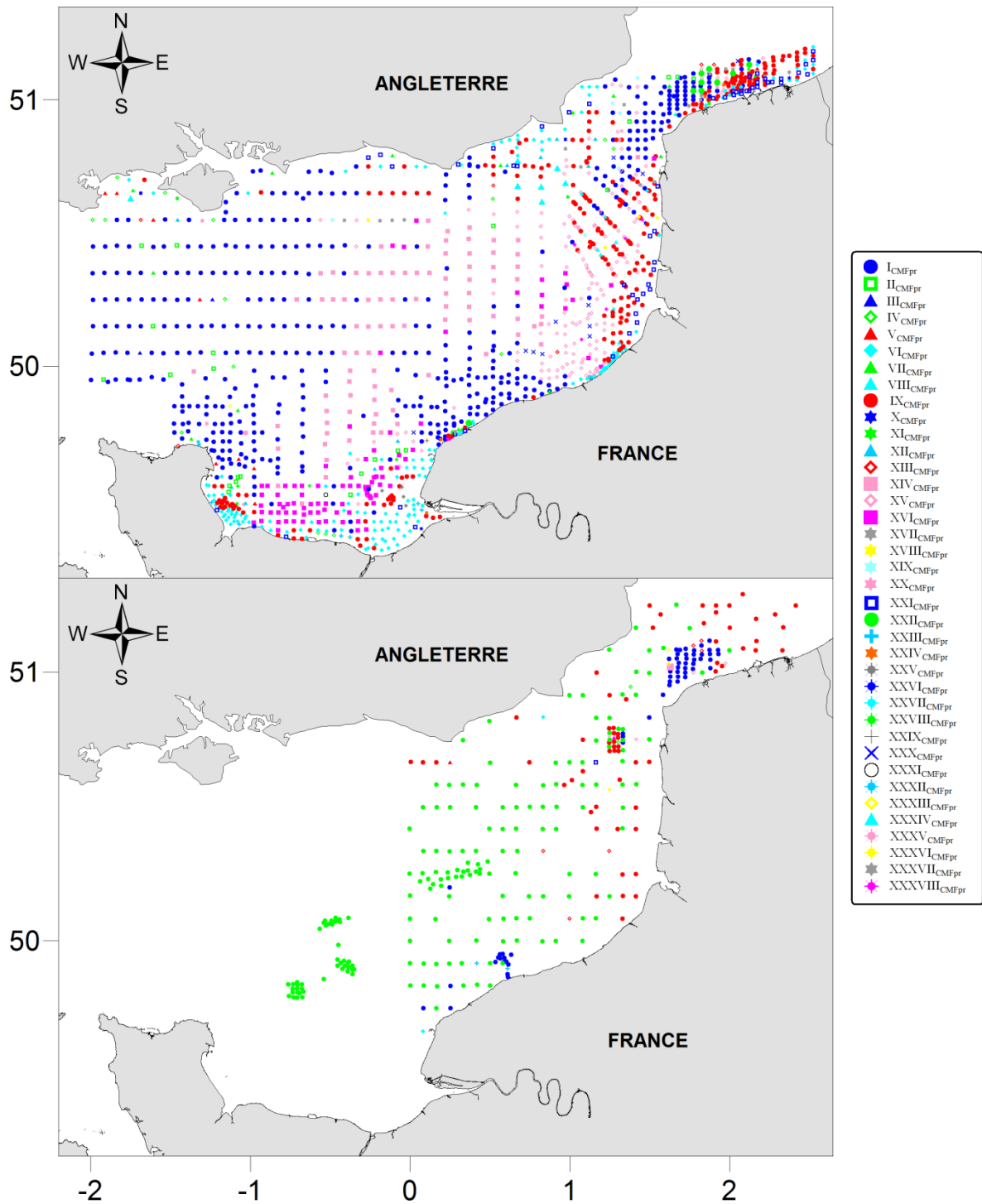


Figure 75 : Localisation géographique des 38 assemblages identifiés pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) pour l'ensemble des stations et pour les taxa à plus forte probabilité de récolte. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1.2.3.e. Etape 5

Enfin, une analyse a été menée en se basant sur une grille artificielle de 288 nœuds espacés de 5°. A chaque nœud de cette grille ont été affectées les données issues des stations correspondant au plus proche voisin pour chacune des deux périodes. La couverture sédimentaire correspondante est fournie à la Figure 76.

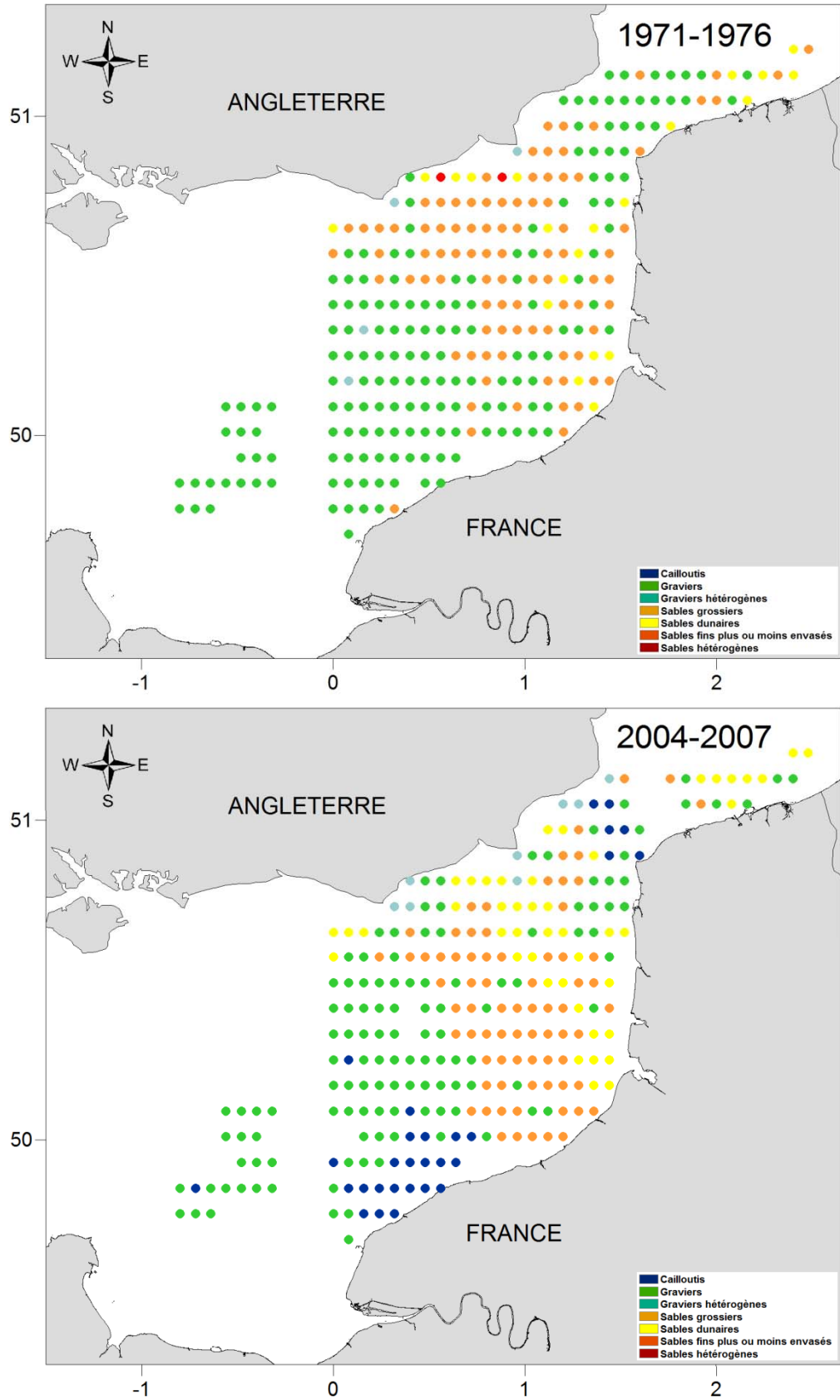


Figure 76 : Types sédimentaires correspondant aux nœuds de la grille développée au cours de l'étape 5. Les nœuds pour lesquels l'information n'était pas disponible n'ont pas été représentés. Coordonnées en degrés décimaux.

Sur cette nouvelle grille, trois regroupements de taxa ont été utilisés :

- Etape 5-1 : Avec toutes les espèces ;

Pour toutes les espèces, la comparaison s'est faite sur l'ensemble des nœuds (soit 288 nœuds) et sur un ensemble de 653 taxa. Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 288 nœuds \times 173 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice $CMNG_{\text{esp}}$ est présenté Figure 77.

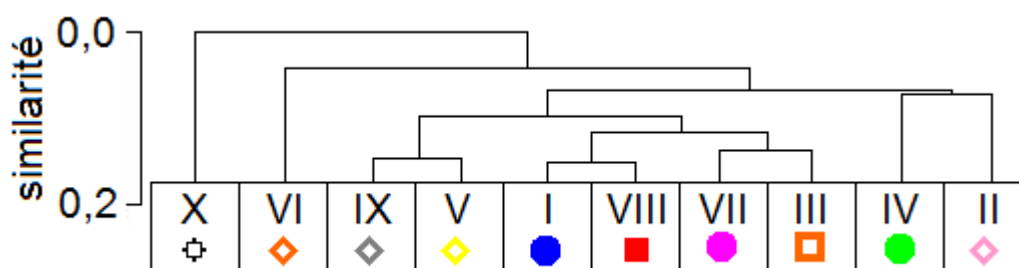


Figure 77 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur la nouvelle grille et pour tous les taxa pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne neuf assemblages pour ce regroupement (un dixième groupe représente les deux nœuds azoïques existant dans la grille pour 1971-1976, Figure 78). Parmi ces neuf assemblages, seuls quatre assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de stations (entre 49 et 229 nœuds). Le nombre de nœuds correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 22.

L'assemblage $VIII_{CMNG_{\text{esp}}}$ comprend au total 229 nœuds de graviers plus ou moins ensablés. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,5 m. *Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis* et *Corophium sextonae* sont les espèces principales de cet assemblage, qui est caractérisé par 38 espèces (*Ampharete balthica*, *Aonides oxycephala*, *A. paucibranchiata*, *Caulleriella alata*, *Cerebratulus*, *Chaetozone gibber*, *Diplocirrus glaucus*, *Eteone longa*, *Eulalia mustela*, *Eunice vittata*, *Eupolymnia nebulosa*, *Hesionura elongata*, *Kefersteinia cirrata*, *Laonice bahusiensis*, *Lumbrineris fragilis*, *Pholoe baltica*, *Pista cristata*, *Poecilochaetus serpens*, *Polydora ciliata*, *Pterocirrus macroceros*, *Scalibregma celticum*, *Syllis gracilis*, *S. krohni*, *Websterinereis glauca*, *Amphipholis squamata*, *Amphiura (Ophiopeltis) securigera*, *Anthura gracilis*, *Atylus vedlomensis*, *Eurydice pulchra*, *Gammaropsis maculata*, *Gnathia*, *Janira maculosa*, *Maera othonis*, *Pandalina brevirostris*, *Upogebia deltaura*, *Emarginula rosea*, *Thracia villosiuscula* et *Nephasoma minutum*, Tableau 23). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $618,27 \pm 6,94 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $2042,99 \pm 20,04 \text{ ind.30L}^{-1}$.

Tableau 22 : Récapitulatif du nombre de nœuds par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007	Noeuds communs
I _{CMNGesp}	172	1	1
II _{CMNGesp}	5	0	0
III _{CMNGesp}	49	0	0
IV _{CMNGesp}	54	50	28
V _{CMNGesp}	1	0	0
VI _{CMNGesp}	2	0	0
VII _{CMNGesp}	3	5	1
VIII _{CMNGesp}	0	229	0
IX _{CMNGesp}	0	3	0
X _{CMNGesp}	2	0	0

L'assemblage I_{CMNGesp} comprend au total 172 nœuds de graviers plus ou moins ensablés. Un seul nœud est commun aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 26,1 m. Deux échinodermes et un décapode sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 23). Celui-ci est caractérisé par deux décapodes (*Anapagurus hyndmanni* et *Hyas coarctatus*), un gastéropode (*Calliostoma zizyphinum*) et un polyplacophore (*Leptochiton asellus*, Tableau 23). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $326,34 \pm 7,54 \text{ ind.L}^{-1}$.

L'assemblage IV_{CMNGesp} comprend au total 76 nœuds de sables plus ou moins graveleux. 28 nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 26,8 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 23). Celui-ci est caractérisé par les arthropodes *Bathyporeia elegans*, *B. guilliamsoniana* et *Urothoe brevicornis*, l'échinoderme *Echinocardium cordatum* et les annélides *Scoloplos (Scoloplos) armiger* et *Spiophanes bombyx*. Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $171,00 \pm 2,20 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $163,00 \pm 1,86 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $113,91 \pm 2,18 \text{ ind.30L}^{-1}$.

L'assemblage III_{CMNGesp} comprend au total 49 nœuds de graviers plus ou moins ensablés. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 47,0 m. Deux échinodermes (*Echinocyamus pusillus* et *Psammechinus miliaris*) et un céphalochordé (*Branchiostoma lanceolatum*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'est pas caractérisé (Tableau 23). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $10,60 \pm 0,22 \text{ ind.L}^{-1}$.

Tableau 23 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur une grille artificielle et pour tous les taxa.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales
I _{CMN} 200	<i>Anapagurus hyndmanni</i> <i>Hyas coarctatus</i> <i>Callistoma zizyphinum</i> <i>Leptochiton asellus</i>	<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Psammechinus milliaris</i> <i>Pisidia longicornis</i>
III _{CMN} 200		<i>Branchiastoma lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Psammechinus milliaris</i>
IV _{CMN} 200	<i>Bathyporeia elegans</i> <i>Bathyporeia guillamsoniana</i> <i>Urothoe brevicornis</i> <i>Echinocardium cordatum</i> <i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i> <i>Spiophanes bambyx</i>	<i>Spiophanes bambyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>
VIII _{CMN} 200	<i>Ampharete baltica</i> <i>Aonides oxycephala</i> <i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Cauterella alata</i> <i>Cerebratulus</i> <i>Chaetozoa gibber</i> <i>Diplacirus glaucus</i> <i>Eteone longa</i> <i>Eulalia mustela</i> <i>Eunice vittata</i> <i>Eupolyornia nebulosa</i> <i>Hesionura elongata</i> <i>Kefersteinia cirrata</i> <i>Laonice bahusiensis</i> <i>Lumbrineris fragilis</i> <i>Pholoe baltica</i> <i>Pista cristata</i> <i>Poecilochaetus serpens</i> <i>Polydora allata</i> <i>Pterocirrus macroceras</i> <i>Scalibregma celticum</i> <i>Syllis gracilis</i> <i>Syllis kraehni</i> <i>Websterinereis glauca</i>	<i>Amphipholis squamata</i> <i>Amphiura (Ophiopeltis) securigera</i> <i>Anthura gracilis</i> <i>Atylus vedlomensis</i> <i>Eurydice pulchra</i> <i>Gammaropsis maculata</i> <i>Gnathia</i> <i>Janira maculosa</i> <i>Maera othonis</i> <i>Pandalina brevirastris</i> <i>Upogebia deltaura</i> <i>Emarginula rosea</i> <i>Thracia villosiuscula</i> <i>Nephasoma minutum</i>
		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Carophium sextonae</i>

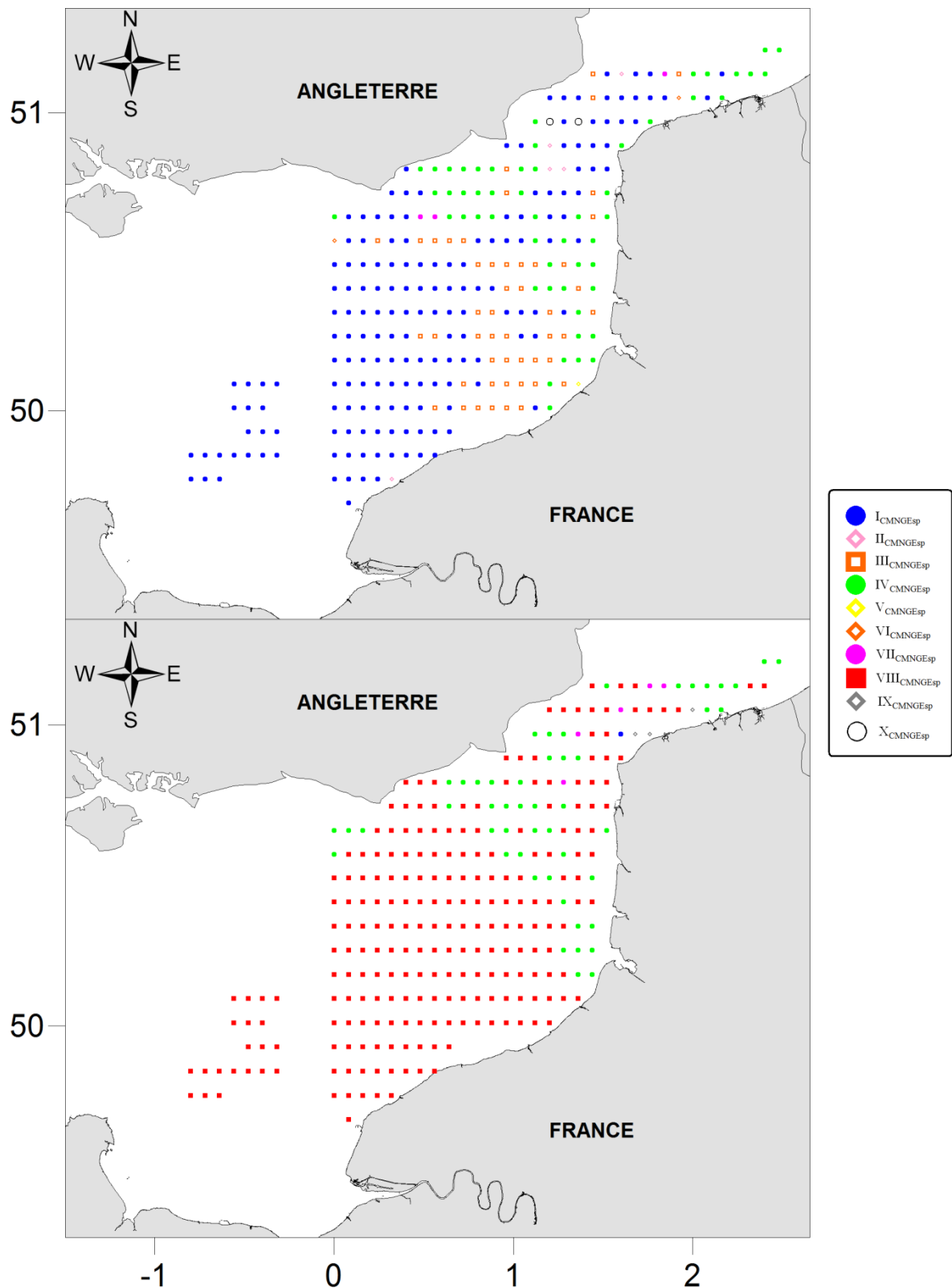


Figure 78 : Localisation géographique des neuf assemblages identifiés sur la grille artificielle pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) et pour tous les taxa. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

- Etape 5-2 : avec les taxa agrégés comme pour l'étape 3 ci-dessus décrite, c'est-à-dire en tenant compte des problèmes de taxonomie entre les deux périodes;

La comparaison s'est faite sur l'ensemble des nœuds (soit 288 nœuds) et sur un ensemble de 403 taxa. Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 288 nœuds \times 150 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice $CMNG_{agr}$ est présenté Figure 79.

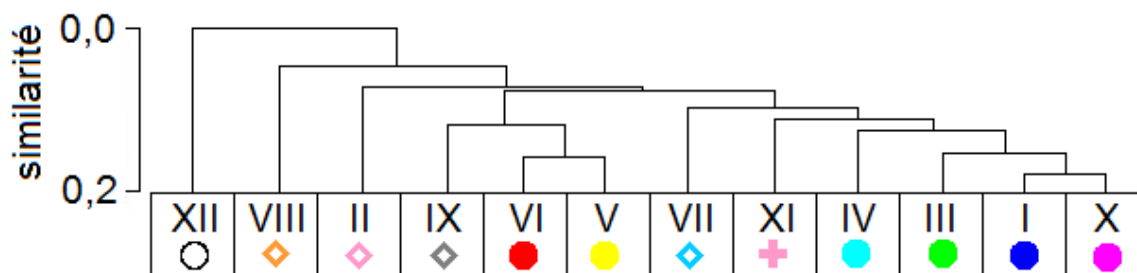


Figure 79 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur la grille artificielle et pour les taxa agrégés pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 11 assemblages pour ce regroupement (un douzième groupe représente les deux nœuds azoïques existant dans la grille pour 1971-1976, Figure 80). Parmi ces 11 assemblages, seuls cinq assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de nœuds (entre 19 et 218 nœuds). Le nombre de nœuds correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 24.

L'assemblage $X_{CMNG_{agr}}$ comprend au total 215 nœuds de graviers plus ou moins ensablés. Trois nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 24,8 m. *Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis* et *Corophium* sont les espèces principales de cet assemblage, qui est caractérisé par 28 taxa (*Amphipholis squamata*, *Anthura gracilis*, Aoridae, *Eurydice pulchra*, Gnathiidae, *Janira maculosa*, *Pandalina brevirostris*, Photidae, *Aonides paucibranchiata*, *Caulleriella*, *Cerebratulus*, *Diplocirrus glaucus*, Dorvilleidae, *Eteone longa*, *Eulalia mustela*, *Eumida sanguinea*, *Eunice vittata*, *Eupolymnia nebulosa*, *Hesionura elongata*, *Jasmineira elegans*, *Laonice bahusiensis*, *Lumbrineris fragilis*, *Pista*, *Poecilochaetus serpens*, Polydore, *Scalibregma*, *Nephasoma minutum* et *Thracia*, Tableau 25). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $624,63 \pm 8,34 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $1909,11 \pm 24,20 \text{ ind.30L}^{-1}$.

Tableau 24 : Récapitulatif du nombre de nœuds par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007	Nœuds communs
I _{CMNGagr}	166	1	1
II _{CMNGagr}	5	0	0
III _{CMNGagr}	1	6	0
IV _{CMNGagr}	46	1	0
V _{CMNGagr}	17	2	2
VI _{CMNGagr}	42	62	29
VII _{CMNGagr}	2	0	0
VIII _{CMNGagr}	2	0	0
IX _{CMNGagr}	1	0	0
X _{CMNGagr}	4	214	3
XI _{CMNGagr}	0	2	0
XII _{CMNGagr}	2	0	0

L'assemblage I_{CMNGagr} comprend au total 166 nœuds de graviers plus ou moins ensablés. Un seul nœud est commun aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,3 m. Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Psammechinus miliaris*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 25). Celui-ci est caractérisé par *Calliostoma zizyphinum* (Tableau 25). Les prélèvements à la benne Van Veen de cet assemblage ont en moyenne une densité de $160,00 \pm 2,34$ ind.m⁻² et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $314,22 \pm 9,16$ ind.30L⁻¹.

L'assemblage VI_{CMNGagr} comprend au total 75 nœuds de sables plus ou moins graveleux. 29 nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 27,9 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 25). Celui-ci est caractérisé par *Bathyporeia elegans*, *Urothoe brevicornis* et *Scoloplos (Scoloplos) armiger* (Tableau 25). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $176,18 \pm 3,35$ ind.m⁻², ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $81,00 \pm 1,96$ ind.m⁻² et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $86,95 \pm 2,16$ ind.30L⁻¹.

L'assemblage IV_{CMNGagr} comprend au total 47 nœuds de graviers plus ou moins ensablés, situés en zone de transition entre l'assemblage des sédiments grossiers et celui des sédiments sableux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,9 m. *Branchiostoma lanceolatum*, *Echinocyamus pusillus* et *Lumbrineris latreilli* sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'est pas caractérisé (Tableau 25). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $71,64 \pm 2,36$ ind.30L⁻¹.

L'assemblage V_{CMNGagr} comprend au total 17 nœuds de sables graveleux. Deux nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 33,8 m. Deux échinodermes et un bivalve sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 25). Celui-ci est caractérisé par un décapode (*Corystes cassivelaunus*), deux annélides (*Glycera convoluta* et *Nephtys hombergii*) et un bivalve (*Phaxas pellucidus*, Tableau 25). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $357,00 \pm 5,61$ ind.m⁻² et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $110,82 \pm 1,86$ ind.30L⁻¹.

Tableau 25 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur la grille artificielle et pour les taxa agrégés.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales
ICMNDagr	<i>Calliostoma zizyphinum</i>	<i>Ophiolithrix fragilis</i> <i>Psammochinus millaris</i> <i>Pisidia longicostis</i>
IVCMNDagr		<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Lumbrineris latreilli</i>
VCMNDagr	<i>Corystes cassivelaunus</i> <i>Glycera convoluta</i> <i>Nephtys hombergii</i> <i>Phaxos pellicidus</i>	<i>Abra alba</i> <i>Echinocardium cordatum</i> <i>Ophura albida</i>
VICMNDagr	<i>Bathyporeia elegans</i> <i>Urothoe brevicostis</i> <i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>
XCMNDagr	<i>Amphipholis squamata</i> <i>Anthurus gracilis</i> Aoridae <i>Eurydice pulchra</i> Gnathidae <i>Janira maculosa</i> <i>Pandalina brevirostris</i> Photidae <i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Caulleriella</i> <i>Cerebratulus</i> <i>Diplocirrus glaucus</i> Dorvilleidae <i>Eteone longa</i>	<i>Eulalia mustela</i> <i>Eumida sanguinea</i> <i>Eunice vittata</i> <i>Eupolytnia nebulosa</i> <i>Hesionura elongata</i> <i>Jasmineira elegans</i> <i>Laonice bahusensis</i> <i>Lumbrineris fragilis</i> <i>Pista</i> <i>Poecilochaetus serpens</i> <i>Polydora</i> <i>Scalibregma</i> <i>Nephasoma minutum</i> <i>Thracia</i>

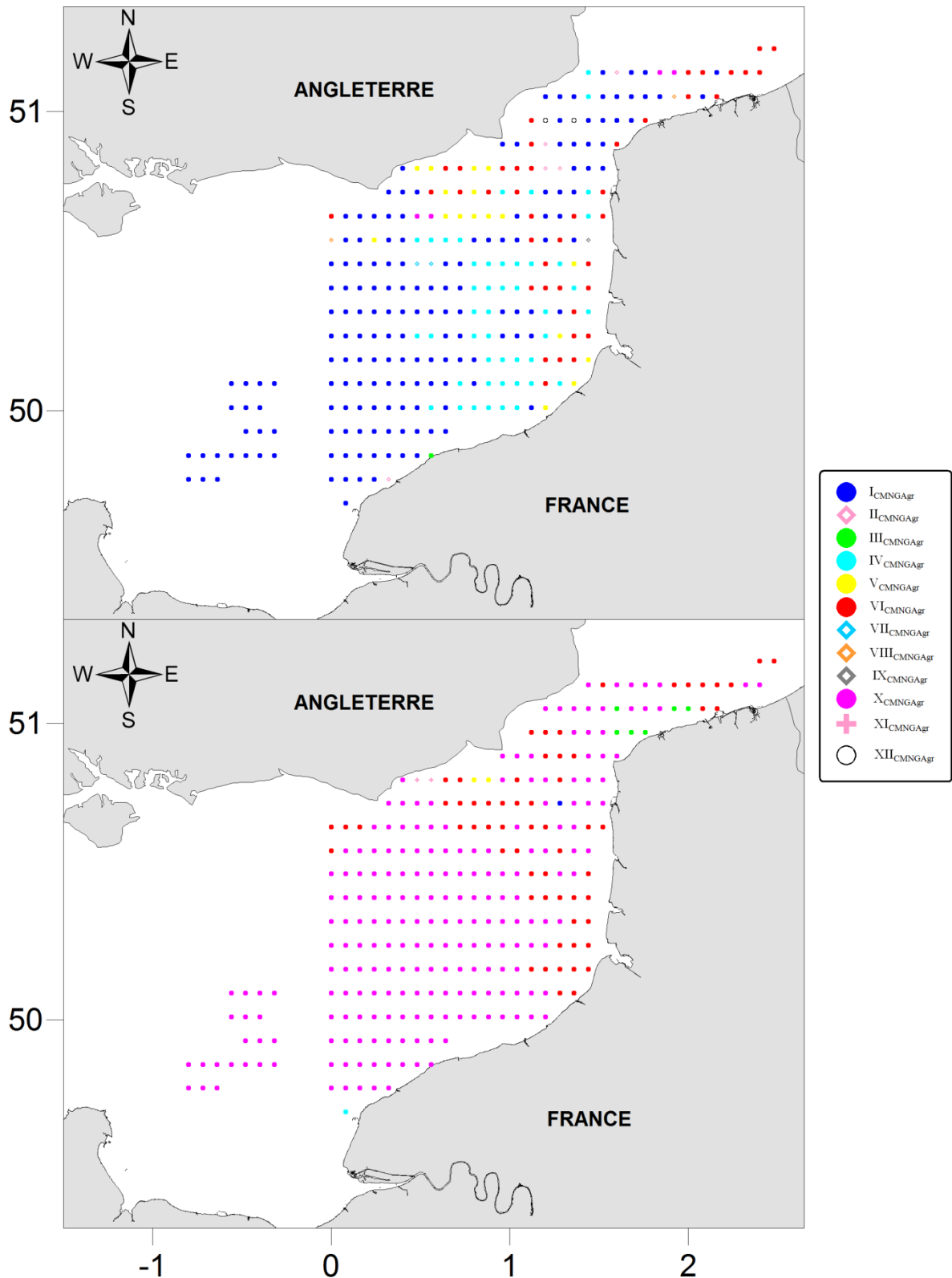


Figure 80 : Localisation géographique des 12 assemblages identifiés sur la grille artificielle pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) et sur les taxa agrégés à un niveau taxonomique jugé pertinent. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

- Etape 5-3 : avec les taxa représentant la plus forte probabilité de récolte.

La comparaison s'est faite sur les 288 nœuds et sur un ensemble de 304 taxa. Une fois les taxa rares ôtés, une matrice de 288 nœuds × 119 taxa a été utilisée.

Le dendrogramme obtenu suite à la CAH menée sur la matrice CMNG_{fpr} est présenté Figure 81.

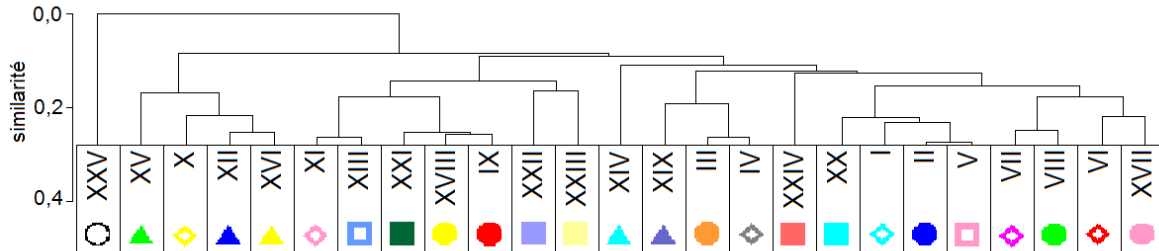


Figure 81 : Dendrogramme effectué par groupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques sur la grille artificielle et pour les taxa ayant la plus forte probabilité de récolte pour la comparaison des deux périodes.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne 24 assemblages pour ce regroupement (un 25^{ème} groupe est constitué des deux nœuds azoïques existant dans la grille pour 1971-1976, Figure 82). Parmi ces 24 assemblages, seuls huit assemblages seront décrits ici, ceux-ci correspondant aux assemblages comportant le plus de nœuds (entre 12 et 191 nœuds). Le nombre de nœuds correspondant à chaque assemblage pour chacune des périodes est présenté dans le Tableau 26.

L'assemblage XX_{CMNG_{fpr}} comprend au total 191 nœuds de graviers plus ou moins ensablés, uniquement durant la période 2004-2007. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 24,5 m. *Pisidia longicornis*, *Galathea intermedia* et *Ophiothrix fragilis* sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 27). Celui-ci est caractérisé par 11 espèces (*Amphipholis squamata*, *Diplocirrus glaucus*, *Eunice vittata*, *Eupolymnia nebulosa*, *Harmothoe fragilis*, *Hesionura elongata*, *Pista cristata*, *Websterinereis glauca*, *Nephasoma minutum*, *Onchidoris* et *Thracia villosiuscula*, Tableau 27). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de 478,04 ± 8,57 ind.m⁻² et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de 1132,22 ± 20,67 ind.30L⁻¹.

Tableau 26 : Récapitulatif du nombre de nœuds par assemblage en fonction des périodes.

Numéro des assemblages	1971-1976	2004-2007	Nœuds communs
I _{CMNGfpr}	16	0	0
II _{CMNGfpr}	106	6	4
III _{CMNGfpr}	3	1	0
IV _{CMNGfpr}	1	0	0
V _{CMNGfpr}	37	0	0
VI _{CMNGfpr}	6	0	0
VII _{CMNGfpr}	9	0	0
VIII _{CMNGfpr}	36	1	0
IX _{CMNGfpr}	36	39	15
X _{CMNGfpr}	1	0	0
XI _{CMNGfpr}	2	0	0
XII _{CMNGfpr}	3	0	0
XIII _{CMNGfpr}	12	0	0
XIV _{CMNGfpr}	2	0	0
XV _{CMNGfpr}	2	0	0
XVI _{CMNGfpr}	2	0	0
XVII _{CMNGfpr}	3	4	0
XVIII _{CMNGfpr}	5	35	1
XIX _{CMNGfpr}	4	0	0
XX _{CMNGfpr}	0	191	0
XXI _{CMNGfpr}	0	3	0
XXII _{CMNGfpr}	0	2	0
XXIII _{CMNGfpr}	0	2	0
XXIV _{CMNGfpr}	0	4	0
XXV _{CMNGfpr}	2	0	0

L'assemblage II_{CMNGfpr} comprend au total 108 nœuds de sédiments grossiers (cailloutis et graviers plus ou moins ensablés). Quatre nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 24,5 m. Deux échinodermes (*Ophiothrix fragilis* et *Echinocyamus pusillus*) et un décapode (*Pisidia longicornis*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 27). Celui-ci est caractérisé par *Pagurus cuanensis*, *Harmothoe extenuata* et *Ocenebra erinacea* (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $119,25 \pm 2,00 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

L'assemblage IX_{CMNGfpr} comprend au total 60 nœuds de sables plus ou moins graveleux. 15 nœuds sont communs aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 26,5 m. Trois annélides (*Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui n'a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 27). Les prélèvements à la benne Hamon de cet assemblage ont en moyenne une densité de $119,74 \pm 2,65 \text{ ind.m}^{-2}$, ceux effectués à la benne Van Veen ont en moyenne une densité de $50,00 \pm 1,64 \text{ ind.m}^{-2}$ et ceux effectués à la drague Rallier du Baty ont en moyenne une densité de $74,75 \pm 2,20 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

L'assemblage XVIII_{CMNGfpr} comprend au total 39 nœuds de sables plus ou moins graveleux. Un seul nœud est commun aux deux périodes. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 30,4 m. Deux annélides (*Spiophanes bombyx* et *Nephtys cirrosa*) et un bivalve (*Abra alba*) sont les espèces principales de cet assemblage (Tableau 27). Celui-ci est caractérisé par *Euchymene oerstedii* (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $119,25 \pm 2,00 \text{ ind.}30\text{L}^{-1}$.

L'assemblage V_{CMNGfpr} comprend au total 37 nœuds de graviers plus ou moins ensablés, situés dans les zones du large et à proximité des zones à cailloutis. La profondeur

moyenne de cet assemblage est de 25,6 m. Sans espèce caractéristique, cet assemblage a pour espèces principales les échinodermes *Ophiothrix fragilis* et *Echinocyamus pusillus* et le mollusque *Glycymeris glycymeris* (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $78,51 \pm 2,24$ ind. $30L^{-1}$.

L'assemblage VIII_{CMNG_{fpr}} comprend au total 37 nœuds de graviers plus ou moins ensablés, situés entre les zones de sédiments grossiers et les zones sableuses. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,2 m. Sans espèce caractéristique, cet assemblage a pour espèces principales *Branchiostoma lanceolatum*, *Echinocyamus pusillus* et *Lumbrineris latreilli* (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $72,62 \pm 2,21$ ind. $30L^{-1}$.

L'assemblage I_{CMNG_{fpr}} comprend au total 16 nœuds de graviers plus ou moins ensablés, situés en position de transition entre les assemblages de sédiments grossiers et ceux à sédiments sableux. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 25,2 m. Trois échinodermes (*Ophiothrix fragilis*, *Ophiura albida* et *Echinocyamus pusillus*) sont les espèces principales de cet assemblage, pour lequel il n'y a pas d'espèces caractéristiques (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $119,25 \pm 2,00$ ind. $30L^{-1}$.

L'assemblage XIII_{CMNG_{fpr}} comprend au total 12 nœuds de sables plus ou moins graveleux, situées principalement le long des côtes anglaises. La profondeur moyenne de cet assemblage est de 29,8 m. Deux bivalves (*Ensis arcuatus* et *Spisula (Spisula) ovalis*) et un échinoderme (*Echinocyamus pusillus*) sont les espèces principales de cet assemblage, qui est caractérisé par *Corystes cassivelaunus* et *Phaxas pellucidus* (Tableau 27). Seuls des prélèvements à la drague Rallier du Baty ont été effectués pour cet assemblage avec une densité moyenne de $70,58 \pm 1,38$ ind. $30L^{-1}$.

Tableau 27 : Espèces descriptives des assemblages identifiés pour la comparaison des deux périodes sur la grille artificielle et pour les taxa à plus forte probabilité de récolte.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales
I _{CMNGépr}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Ophiura albidia</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>
II _{CMNGépr}	<i>Pagurus cuanensis</i> <i>Harmothoe extenuata</i> <i>Ocenebra erinacea</i>	<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Pisidia longicornis</i>
V _{CMNGépr}		<i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Glycymeris glycymeris</i>
VIII _{CMNGépr}		<i>Branchiostrama lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Lumbrineris laevis</i>
IX _{CMNGépr}		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>
XIII _{CMNGépr}	<i>Coryistes casiveleanus</i> <i>Phaxas pellucidus</i>	<i>Ensis arcuatus</i> <i>Spisula (Spisula) ovalis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>
XVIII _{CMNGépr}	<i>Euclymene oerstedii</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Abra alba</i>
XX _{CMNGépr}	<i>Amphiphalis squamata</i> <i>Diplocirrus glaucus</i> <i>Eunice vittata</i> <i>Eupolymlia nebulosa</i> <i>Harmothoe fragilis</i> <i>Hesionura elongata</i> <i>Pista cristata</i> <i>Websterineris glauca</i> <i>Nephasoma minutum</i> <i>Onchidoris</i> <i>Thracia villosiuscula</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Galathea intermedia</i> <i>Ophiothrix fragilis</i>

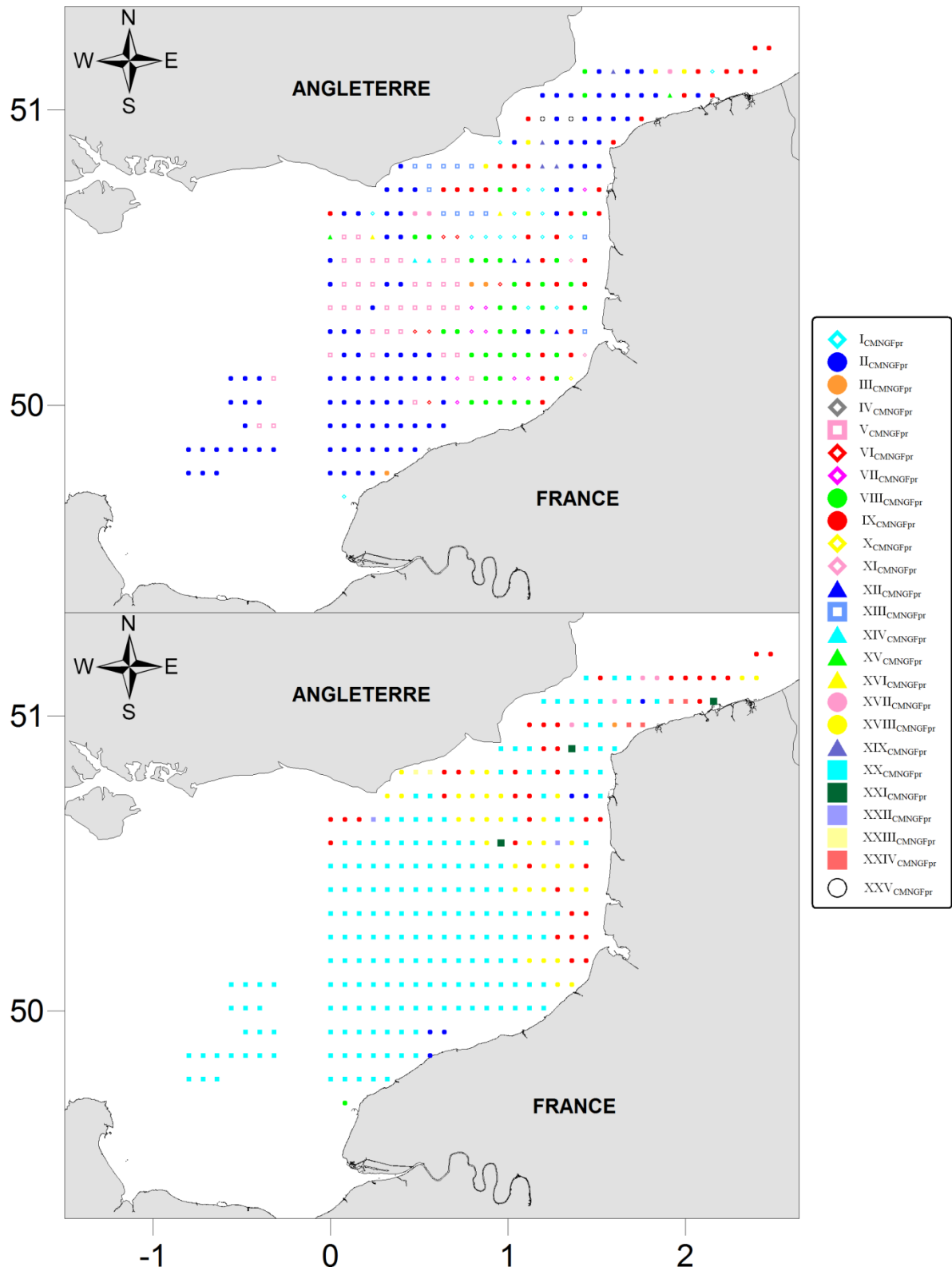


Figure 82 : Localisation géographique des 25 assemblages identifiés sur la grille artificielle pour chacune des périodes (en haut, période 1971-1976, en bas période 2004-2007) et pour les taxa à plus forte probabilité de récolte. Chaque assemblage est représenté par un symbole unique; coordonnées en degrés décimaux.

IV.1. 3. Discussion

L'utilisation de l'ensemble des données de faune disponibles ont permis de construire des assemblages en utilisant la même méthode pour les années 1971-1976 et pour les années 2004-2007, mettant ainsi en évidence respectivement 17 et 64 assemblages. Ce surcroît d'assemblages pour la période 2004-2007 s'explique par la prise en compte de l'épifaune sessile durant cette période dans la matrice de données. Parmi ces 64 assemblages, seuls sept sont d'une emprise spatiale suffisante pour être considérés. Les autres sont constitués au maximum de huit stations.

Les biomasses mesurées (en poids sec libre de cendre) pour chaque assemblage varient entre 11 et 97 g.m⁻², avec une valeur médiane de 29 g.m⁻², à comparer aux valeurs habituellement de 10-20 g.m⁻² des eaux belges de la mer du Nord (Degraer, comm. pers.). Cette différence notable, outre le fait qu'elle soit en grande partie due à une nature des fonds et donc des communautés benthiques dominantes différentes, est peut-être à attribuer à la différence de richesse des eaux liée en partie aux apports fluviaux et au niveau de perturbations plus exacerbées en mer du Nord qu'en Manche.

Origine des différences observées entre les deux périodes étudiées

Il est difficile de comparer les assemblages entre les deux périodes. Cette comparaison peut être rendue difficile à cause de biais, présentés dans le Tableau 28.

Tableau 28 : Récapitulatif des différents critères dans les protocoles des deux périodes.

Critères	1971-1976	2004-2007	Récapitulatif
Nombre années	6	4	≠
Saisons	Avril-Octobre	Février-Novembre	≠
Engins	Drague Rallier du Baty	Drague Rallier du Baty Benne Hamon Benne Van Veen	≠
Volumes analysés	30 L	1 L - 70 L	≠
Déterminateurs	≠	≠	≠
Ouverture de maille	Carrée	Circulaire	≠
Tri	A bord du N/O et au laboratoire	Au laboratoire	≠
Types sédimentaires	sM mS (g)mS gmS (g)S gS S msG sG G	(g)sM mS (g)mS gmS (g)S gS S msG sG G	≈

Ce tableau montre qu'il existe de nombreuses différences dans les protocoles employés à chacune des périodes, ce qui rend la comparaison des assemblages, et non des communautés, difficile. Des assemblages considérés comme différents entre les deux périodes peuvent correspondre à une même communauté.

Tout d'abord, étant donné que le nombre de stations est important lors des deux études (1478 en 1971-1976 et 461 en 2004-2007), il n'est pas possible de réaliser le plan d'échantillonnage en une seule fois. Ainsi, les prélèvements sont réalisés sur plusieurs années et quasiment pour toutes les saisons. Il existe alors dans les jeux de données des biais

liés aux périodes de recrutement des différents organismes. Afin de diminuer ce biais, il a été choisi de ne considérer dans cette étude que les prélèvements tamisés sur maille de 2 mm. En effet, la majorité des juvéniles n'est pas retenue avec ce tamis (Bachelet, 1990, Schlacher et Wooldridge, 1996b). Mais, le type d'ouverture de maille n'a pas été respecté entre les deux périodes : en 1971-1976, il s'agit d'un vide de maille carré alors qu'en 2004-2007, un tamis à vide de maille circulaire a été employé. L'emploi de types d'ouverture de maille différents a pu ajouter un biais supplémentaire dans la phase de tamisage en permettant à certains organismes de passer à travers les mailles carrées alors qu'ils sont retenus sur des mailles circulaires (Schlacher et Wooldridge, 1996a, Morin *et al.*, 2004). Le tamisage a de surcroît été effectué sur des animaux vivants, ce qui permet l'échappement lors du tamisage des individus de taille « critique » (Degraer *et al.*, 2007).

Un autre biais vient du fait que l'échantillonnage a été réalisé en partie avec des engins différents, entre les deux périodes et au sein de la période 2004-2007. Chacun de ces engins présentent des avantages et des inconvénients :

- la drague Rallier du Baty est un engin de type qualitatif, pour lequel il est impossible de déterminer une surface d'échantillonnage précise. Dans les sédiments très compacts ou lorsque la traction sur le câble qui la relie au bateau est trop forte, elle a tendance à échantillonner le fond par bonds successifs, ne récoltant alors qu'en surface. Lors de la remontée, les sédiments les plus fins sont lessivés par l'eau qui circule dans la poche : les données granulométriques récoltées à la drague Rallier du Baty sont donc à considérer avec précautions. Néanmoins, la drague peut travailler dans tous les types sédimentaires connus dans le bassin oriental de la Manche, ce qui permet une caractérisation de la faune qui les occupe et un travail dans les types sédimentaires non échantillonnables par les engins de type quantitatifs. Le fait de tamiser un volume constant de 30 L permet de comparer les nombres d'individus récoltés dans les différentes stations : l'échantillonnage peut alors être considéré comme semi-quantitatif.

- la benne Hamon est un engin de type quantitatif, qui échantillonne une surface de 0,25 m². Son utilisation est possible dans la majorité des types sédimentaires rencontrés dans le bassin oriental de la Manche, à l'exception des cailloutis. Grâce à sa rapidité de prélèvement, cet engin permet une bonne récolte de la faune jusqu'à dix centimètres de profondeur (Dauvin, 1979). Néanmoins, sa maniabilité peut s'avérer difficile du fait de son poids (400 kg) et des conditions météorologiques généralement rencontrées en Manche.

- la benne Van Veen est un engin de type quantitatif qui échantillonne une surface de 0,1 m². Son poids relativement modéré (70 kg) en fait un engin facile à manier mais à l'utilisation limitée dès que les conditions météorologiques sont mauvaises. De plus, son utilisation s'avère impossible dès que le sédiment devient trop grossier (les particules grossières empêchant alors la fermeture correcte de l'engin) ou trop compact (la benne ripe alors sur le sédiment). Toutefois, la benne Van Veen s'avère un engin très efficace dans les sédiments sableux, où elle prélève correctement les cinq premiers centimètres du sédiment. L'effet de souffle observable par l'engin lorsqu'il touche le fond (Wigley, 1967) a, dans cette étude, été limité par l'utilisation d'une benne Van Veen modifiée, avec un nombre plus grand de fenêtres que dans sa version classique (quatre au lieu de deux).

Les différentes méthodes employées afin de comparer les assemblages benthiques entre les années 1971-1976 et 2004-2007 ne permettent pas de réaliser de comparaisons satisfaisantes. L'emploi d'une grille artificielle au cours de l'étape 5 pour la comparaison a permis de contourner certains problèmes. Les étapes 5-1 et 5-2 ont révélé la faible homologie qui existait entre les deux périodes (peu de nœuds avec des assemblages

identiques aux deux périodes). L'étape 5-3 était censée nous apporter la meilleure configuration possible pour cette étude diachronique. En effet, une fois ôtés :

- le biais maille de tamisage (pour toutes les analyses) en utilisant uniquement la fraction 2 mm récoltée au cours des campagnes récentes qui avait été celle utilisée lors des campagnes historiques,
- les biais nombre et positionnement des stations par l'utilisation de nœuds en même quantité et aux mêmes emplacements aux deux périodes et répartis équitablement sur l'ensemble de la zone commune aux deux périodes (pour les analyses de l'étape 5),
- le biais déterminateur (pour les analyses des étapes 5-2 et 5-3) par l'agrégation de taxa et la suppression d'autres en fonction de la difficulté à les identifier,
- les biais trieur et taxa surdispersés en ne gardant que les taxa à plus forte probabilité de récolte (pour l'analyse de l'étape 5-3),

il est difficile de faire plus avec les jeux de données et les prélèvements disponibles pour cette étude. Il reste bien entendu d'autres biais dont le plus visible est lié à la différence d'engins d'échantillonnage. Il pourrait être l'un des principaux facteurs expliquant ce constat de faible homologie entre les deux périodes, rendant difficile la description de l'évolution des assemblages macrobenthiques. Même s'il n'en demeure pas moins que ce sont les interprétations des assemblages qui doivent être comparées entre les deux périodes, deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer cette difficulté à décrire cette évolution :

- Hypothèse 1 : il y a eu une évolution spatiale des assemblages mais pas d'évolution temporelle. Mais, les différentes représentations montrent qu'il est difficile de mettre en évidence une évolution spatiale des assemblages puisqu'il n'est pas possible de déterminer des assemblages communs.

- Hypothèse 2 : il n'y a pas eu d'évolution spatiale des assemblages mais une évolution temporelle. Il faut alors déterminer si les espèces qui caractérisent les assemblages sont les mêmes entre 1971-1976 et 2004-2007, en considérant que les assemblages ont gardé les mêmes limites géographiques entre les deux périodes.

Pour essayer de vérifier cette hypothèse, l'analyse effectuée avec les espèces à plus forte probabilité de récolte sur la grille artificielle a été examinée plus précisément. Celle-ci identifiait 25 assemblages, dont 19 avec au moins une station durant la période 1971-1976. Ces assemblages ont été caractérisés à partir des espèces récoltées durant la période 1971-1976. Puis les nœuds correspondant à ces assemblages pour la période 1971-1976 ont été caractérisés avec les taxa récoltés durant la période 2004-2007 (Tableau 29).

Parmi ces 19 assemblages, neuf sont mineurs pour la période 1971-1976 : deux assemblages ne sont constitués que d'une seule station, quatre autres sont composés d'un doublet et trois, d'un triplet. Les efforts d'analyse ont donc portés sur les dix autres assemblages du fait que les assemblages de taille réduite sont par nature susceptibles d'avoir des espèces caractéristiques très différentes d'une période à l'autre. Ces assemblages ont été caractérisés à partir des espèces récoltées durant la période 1971-1976 puis à partir de celles récoltées durant la période 2004-2007 (Tableau 29). Au niveau des dix principaux assemblages, quatre ($VI_{CMNGfpr}$; $VII_{CMNGfpr}$; $XVIII_{CMNGfpr}$; $XIX_{CMNGfpr}$) sont formés d'un nombre relativement réduit de stations : entre 4 et 9. Ces assemblages, additionnés des deux assemblages $I_{CMNGfpr}$ et $XIII_{CMNGfpr}$, constitués respectivement de 16 et 12 stations, correspondent aux unités de transition du bassin oriental de la Manche : celles-ci ont donc des pools d'espèces se rapportant aux deux grands ensembles qui les bordent. Les espèces qui décrivent ces assemblages peuvent alors ne pas être similaires entre les deux périodes. Néanmoins, les espèces qui caractérisent ces assemblages, même si elles ne sont pas identiques, correspondent aux mêmes types de communautés. Certains pourront s'étonner

de la présence d'*Abra alba*, habituellement considérée comme inféodée aux substrats sablo-vaseux, parmi les espèces principales de deux de ces assemblages qui ne correspondent pas à des zones de ce type sédimentaire (XIII_{CMNGfpr} et XVIII_{CMNGfpr}). Retière (1979) a montré que bon nombre d'espèces n'étaient pas véritablement inféodées à un substrat mais exprimaient une préférence pour ce substrat, en raison de la présence généralement concomitante d'autres facteurs favorisant la présence de ces espèces. Il est donc parfaitement faisable de rencontrer *Abra alba* dans des sédiments qui ne sont pas sablo-vaseux.

Parmi les quatre assemblages restants, l'assemblage II_{CMNGfpr} correspond à un assemblage de sédiments grossiers (cailloutis, graviers et graviers ensablés). Les espèces principales de cet assemblage sont quasiment les mêmes entre les deux périodes (seul *Psammechinus miliaris* est remplacé par *Galathea intermedia*, qui est également inféodée à des sédiments grossiers). L'assemblage V_{CMNGfpr}, correspondant à des graviers ensablés, ne possède pas d'espèces principales communes aux deux périodes et aucune espèce caractéristique n'a été relevée pour les deux périodes. L'assemblage VIII_{CMNGfpr} est l'assemblage des sables grossiers. Une seule espèce principale (*Echinocyamus pusillus*) est commune aux deux périodes mais les autres espèces principales de cet assemblage caractérisent également des sables grossiers. L'assemblage IX_{CMNGfpr}, correspondant aux sables moyens dunaires, comporte deux espèces principales qui n'ont pas changé entre les deux périodes : *Spiophanes bombyx* et *Nephtys cirrosa*. Pour ces deux derniers assemblages, une des espèces principales est l'échinoderme *Ophiothrix fragilis* qui, par sa répartition grégaire, peut modifier la caractérisation d'un assemblage.

Globalement, même si les espèces caractéristiques et principales qui décrivent les assemblages ne sont pas strictement les mêmes entre les deux périodes, les espèces qui décrivent les assemblages sont inféodées aux mêmes types de substrats. Entre les deux périodes, il y a donc eu peu voire pas d'évolutions : les assemblages peuvent donc être qualifiés d'homologues. Les plus grands changements sont au niveau des assemblages de transition. Néanmoins, cette classification a été faite en ôtant les espèces rares de l'analyse. Or, ce sont peut-être ces espèces qu'il faudrait considérer car elles peuvent être signe de modifications de l'écosystème (introduction d'espèces, réchauffement climatique avec migrations d'espèces...). Pour les prendre en compte dans les analyses, il faudrait qu'elles soient présentes dans davantage de stations ou augmenter l'effort d'échantillonnage par station. Il faudrait donc intensifier l'effort d'échantillonnage, ce qui semble techniquement difficile à réaliser.

Tableau 29 : Espèces caractéristiques et principales des assemblages (hypothèse 2).

Assemblages	Avec les données 1971-1976		Avec les données 2004-2007	
	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Espèces caractéristiques	Espèces principales
I _{CMNG} sp	<i>Eurynome aspera</i>	<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>		<i>Polygordius lacteus</i> <i>Magelona johnstoni</i> <i>Spiophanes bombyx</i>
II _{CMNG} sp	<i>Callistoma zizyphinum</i> <i>Harmothoe extenuata</i> <i>Ocenebra erinacea</i> <i>Pagurus cuanensis</i>	<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Psammechinus miliaris</i>		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Galathea intermedia</i>
III _{CMNG} sp	<i>Amphicteis gunneri</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Pagurus bemhardus</i> <i>Psammechinus miliaris</i>	<i>Alentia gelatinosa</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Polynoe scolopendrina</i> <i>Phaloe</i>
IV _{CMNG} sp	<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i> <i>Pagurus pubescens</i> <i>Pandalus montagui</i> <i>Polynoe scolopendrina</i>	<i>Pagurus pagurus</i> <i>Polynoe scolopendrina</i> <i>Pandalus montagui</i>	<i>Athanas nitescens</i> <i>Drilonereis filum</i> <i>Epitonium clathrus</i> <i>Galathea squamifera</i> <i>Gibbula cineraria</i> <i>Harmothoe extenuata</i> <i>Macropodia tenuirostris</i> <i>Marphysa fallax</i> <i>Ocenebra erinacea</i> <i>Pagurus cuanensis</i> <i>Palaemon serratus</i> <i>Petaloproctus terricolus</i> <i>Pinnotheres pisum</i> <i>Sabella pavonina</i> <i>Venerupis senegalensis</i>	<i>Golfingia vulgaris</i> <i>Polynoe scolopendrina</i> <i>Ampharete</i>
V _{CMNG} sp		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>		<i>Galathea intermedia</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Eunice vittata</i>
VI _{CMNG} sp	<i>Corbula gibba</i> <i>Eunice pennata</i> <i>Neopentadactyla mixta</i>	<i>Notomastus latericeus</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Spatangus purpureus</i>	<i>Paranaitis kosteriensis</i> <i>Tellina pygmaea</i>	<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Eurydice</i> <i>Notomastus latericeus</i>
VII _{CMNG} sp	<i>Arcopagia crassa</i> <i>Phascolion (Phascolion) strombi</i>	<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Arcopagia crassa</i> <i>Laevicardium crassum</i>		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Amphiuira (Ophiopeltis) securigera</i> <i>Ophiura albida</i>
VIII _{CMNG} sp		<i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Psammechinus miliaris</i>		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Polygordius lacteus</i>
IX _{CMNG} sp		<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i>		<i>Ophiathrix fragilis</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i>
X _{CMNG} sp	<i>Ensis ensis</i>	<i>Ensis arcuatus</i> <i>Spisula (Spisula) ovalis</i> <i>Nephtys hombergii</i>		<i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Glycera lapidum</i>
XI _{CMNG} sp	<i>Mya truncata</i> <i>Sigalion mathildae</i>	<i>Echinocardium cordatum</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>	<i>Diogenes pugilator</i> <i>Donax vittatus</i> <i>Eteone foliosa</i> <i>Magelona mirabilis</i> <i>Nicomache</i> <i>Sigalion mathildae</i> <i>Tellina tenuis</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Nephasoma minutum</i>
XII _{CMNG} sp		<i>Ensis arcuatus</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Spisula (Spisula) ovalis</i>	<i>Macoma balthica</i> <i>Ophiura ophiura</i>	<i>Spiophanes bombyx</i> <i>Nephtys cirrosa</i> <i>Ophelia borealis</i>
XIII _{CMNG} sp	<i>Corystes cassivelaunus</i> <i>Phaxas pellucidus</i>	<i>Abra alba</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Pectinaria (Lagis) koreni</i>		<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Ampharete</i> <i>Abra alba</i>
XIV _{CMNG} sp	<i>Anapagurus hyndmanni</i>	<i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Conilera cylindracea</i> <i>Galathea intermedia</i>	<i>Galathea strigosa</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Galathea intermedia</i> <i>Scalibregma</i>
XV _{CMNG} sp		<i>Spatangus purpureus</i> <i>Glycera gigantea</i> <i>Ampelisca spinipes</i>	<i>Arenicola marina</i> <i>Tellimya ferruginosa</i> <i>Tellina fabula</i>	<i>Magelona johnstoni</i> <i>Nephtys caeca</i> <i>Tellimya ferruginosa</i>
XVI _{CMNG} sp	<i>Atylus vedlomensis</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Nucula hanleyi</i> <i>Glycera convoluta</i>	<i>Phyllodoce longipes</i>	<i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Spiophanes bombyx</i> <i>Magelona johnstoni</i> <i>Scalibregma</i>
XVII _{CMNG} sp		<i>Notomastus latericeus</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Glycera lapidum</i>	<i>Leptochiton asellus</i>	<i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Lumbrineris latreilli</i>
XVIII _{CMNG} sp		<i>Abra alba</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Euclymene oerstedii</i>		<i>Pectinaria (Lagis) koreni</i> <i>Abra alba</i> <i>Corbula gibba</i>
XIX _{CMNG} sp		<i>Pisidia longicornis</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Nucula hanleyi</i>		<i>Pisidia longicornis</i> <i>Aequipecten opercularis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i>

Malgré une comparaison impossible en raison des différences méthodologiques explicitées auparavant, l'étude des différentes images obtenues révèle l'existence de quelques similitudes entre les deux périodes. En effet, certains assemblages sont pérennes dans le temps, tant du point de vue de leur composition que de leur répartition géographique. Parmi les différents assemblages identifiés, quatre peuvent être considérés comme pérennes :

- le plus pérenne est l'assemblage des sables moyens dunaires (Figure 69, Figure 71, Figure 73, Figure 75, Figure 80, Figure 82). Le cortège faunistique de cet assemblage est principalement composé de *Nephtys cirrosa*, *Echinocardium cordatum*, *Gastrosaccus spinifer*, *Ophelia borealis* et *Bathyporeia elegans*. Il peut de ce fait être assimilé au peuplement des sables fins à moyens propres à *Ophelia borealis* décrit par Cabioch et ses collaborateurs (Cabioch et Glaçon, 1975, 1977).

- le second assemblage est celui des cailloutis. Le cortège spécifique du sous-assemblage des cailloutis est principalement composé de *Galathea intermedia*, *Psammechinus miliaris*, *Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis*, *Pilumnus hirtellus*, *Calliostoma zizyphinum*, *Pomatoceros triqueter* et *Balanus crenatus*. Il peut être assimilé au peuplement des cailloutis à épibiose sessile décrit par Cabioch et ses collaborateurs (Cabioch et Glaçon, 1975, 1977).

- le troisième assemblage est celui des graviers plus ou moins ensablés. Le cortège spécifique du sous-assemblage des graviers plus ou moins ensablés est essentiellement composé de *Ampharete baltica*, *Glycymeris glycymeris*, *Echinocyamus pusillus*, *Branchiostoma lanceolatum* et *Ophiura albida*.

- le dernier assemblage est représenté par les sables grossiers. Cet assemblage réalise la transition entre l'assemblage des sables moyens et l'assemblage des graviers plus ou moins ensablés. Des espèces telles que *Polygordius lacteus*, *Spiophanes bombyx*, *Nephtys cirrosa* et *Notomastus latericeus* s'y retrouvent.

La comparaison de leur richesse et de leur diversité est présentée au chapitre suivant.

IV.2. Les communautés de sédiments grossiers du bassin oriental de la Manche

IV.2.1. Description des communautés de cailloutis du détroit du Pas de Calais

L'épifaune sessile composant la communauté des cailloutis de la zone du détroit du Pas de Calais a été étudiée plus particulièrement étudiée compte tenu de sa grande richesse dans ce secteur. Les résultats et conclusions issus de cette étude sont présentés dans la publication ci-après et dont voici une traduction en français du résumé :

Le détroit du Pas de Calais, zone de carrefour biogéographique entre la Manche et la mer du Nord, est le siège de nombreuses activités économiques (trafic maritime, pêche, activité portuaire...). C'est un secteur qui a été fortement étudié, notamment dans le cadre du programme CHARM (eastern Channel Habitat Atlas for marine Resource Management), une collaboration franco-britannique, financée par INTERREG III A. La campagne « Modioles 2004 » a été conduite dans le cadre de ce programme et avait pour objectif :

- la cartographie de la faune sur 46 stations, échantillonnées à la drague Rallier du Baty et situées au large de Calais ;
- la comparaison des résultats avec ceux obtenus par L. Cabioch et ses collaborateurs pour la période 1972-1976 ;
- l'analyse des changements spatio-temporels qui sont survenus sur l'épibiose sessile depuis la dernière campagne.

En 30 ans, la zone d'étude s'est ensablée, la distribution des espèces d'épibiose sessile s'est étendue vers l'est et la richesse spécifique a doublé. Les modifications de la couverture sédimentaire et de la composition faunistique des assemblages peuvent s'expliquer grâce à plusieurs facteurs, tels que les taux de survie variables dus aux changements de température et à l'impact des activités anthropiques (pêche, câbles sous-marins et pollution).

Long-term changes in the sessile epifauna of the Dover Strait pebble community

FOVEAU Aurélie ^{1*}, DESROY Nicolas ², DEWARUMEZ Jean-Marie ¹,
DAUVIN Jean-Claude ¹, CABIOCH Louis ³

¹) Station Marine de Wimereux, FRE CNRS-USTL 2816 ELICO (Laboratoire Écosystèmes Littoraux et Côtiers), 28 avenue Foch, BP 80, 62930 Wimereux.

²) IFREMER, Laboratoire Environnement et Ressources de Saint-Malo, 2bis rue Grout Saint Georges, BP 46, 35402 Saint Malo.

³) Station Biologique de Roscoff, Place Georges Teissier, BP 74, 29682 Roscoff Cedex.

3

*) Corresponding author: aurelie.foveau@univ-lille1.fr

ABSTRACT: Dover Strait, a biogeographical cross-road between English Channel and North Sea, supports many economic activities, (e.g., maritime traffic as well as fishing and portuary activities) and has been studied extensively, particularly within the CHARM (Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management) program, a Franco-English collaboration funded by INTERREG III A. The "Modioles 2004" survey was carried out in the frame of the CHARM program, whose principal objectives were i) to map the distribution of the fauna at 46 sites sampled, with a Rallier du Baty dredge, offshore Calais in 2004, ii) to compare the results with those obtained by Cabioch and his collaborators for the period 1972-1976, and iii) to analyze space-time changes that have occurred in sessile epifauna since the earlier survey. In the intervening 30 years, the studied area has sanded up, sessile species distribution has extended eastward and species richness has doubled. Modifications in the sediment cover and assemblage composition can be explained by several factors, such as fluctuating survival rates due to temperature changes and the impact of anthropogenic activities (e.g., fishing, underwater cabling and pollution).

KEY WORDS: sessile epifauna, long-term changes, pebble community, Dover Strait.

ACRONYMS

CHARM: Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management

MABEMONO: MacroBenthos de la Manche Orientale et de la mer du Nord
(Macrobenthos of the Eastern English Channel and the North Sea)

INTERREG: INTER - REGions (European cooperation project)

AHC : Ascendant Hierarchical Clustering

I- Introduction

Dover Strait is a biogeographical crossroad between English Channel and North Sea. At the Cape Gris-Nez, the tidal currents reach a mean speed of 3 knots during spring tides (Pingree & Maddock, 1977). The strong hydrodynamics of this environment creates a sediment gradient: pebbles and coarse sand in areas with strong currents (offshore), and medium and fine sand in areas with weak currents (along the coasts) (Cabioch & Glaçon, 1975, 1977; Prygiel *et al.*, 1988; Dauvin & Dewarumez, 2002). Many tidal dunes (Dyck Occidental, Out Ruytingen, Ridins de Calais) are very mobile, running parallel to the tidal currents (Le Bot *et al.*, 2000; Idier *et al.*, 2002). Along the French coast, an hydrological structure called the ‘*fleuve côtier*’ and corresponding to low-salinity water mass which integrates continental runoffs and drifts to the North Sea has been described by Brylinski *et al.* (1991) and Dupont *et al.* (1991).

Holme (1961, 1966) conducted the first surveys of benthic communities at mesoscale in English Channel. Later, at the end of the 60’s, Cabioch and his collaborators began a synoptic survey of sediments and benthic communities in the Channel as part of the RCP program, *Benthos de la Manche* (Cabioch, 1968; Cabioch & Gentil, 1975; Cabioch & Glaçon, 1975; Souplet *et al.*, 1980; Larsonneur *et al.*, 1982; Sanvicente-Anorve, 1995; Sanvicente-Anorve & Leprêtre, 1995; Sanvicente-Anorve *et al.*, 1996).

Though geographical patterns of the species indicate faunal impoverishment due to a west-east climatic gradient (Gee & Warwick, 1996; Dauvin & Dewarumez, 2002; Desroy *et al.*, 2003), on the scale of English Channel, Dover Strait is a hot spot for biological diversity (Davoult, 1990) and species richness (figure 1). So, the Strait was chosen as the site of this study, which is being conducted as part of CHARM program. Objectives of this program were to map habitats of the main commercial species using physical and biological data.

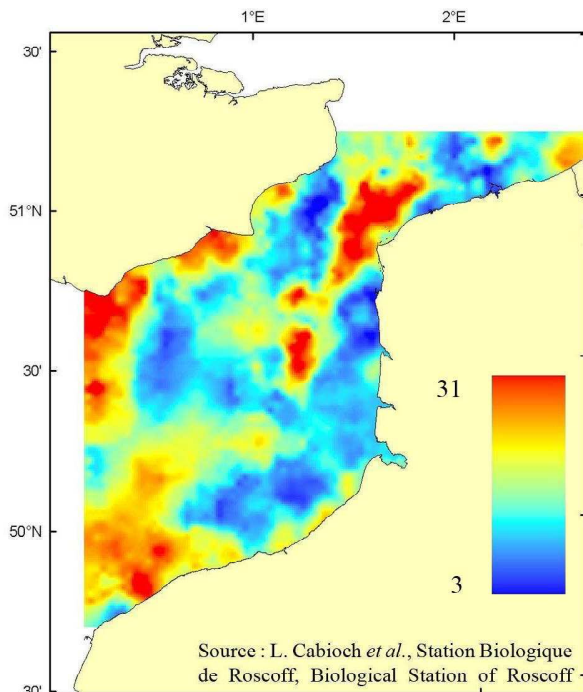


Figure 1 : The Dover strait : a ‘hot spot’ for species richness (front Carpetier *et al.*, 2005b).

This paper focuses on the temporal changes of sessile epifauna species. These species are part of the benthic compartment, which is considered as a good integrator of the environmental stresses due to sedentarity and long life cycles of species (Dauvin, 1993)

The primary goals of this research were:

- (1) to compare the results of the 2004 survey with those obtained by Cabioch and collaborators for the period 1972–1976, and
- to analyze the space-time changes that have occurred in the sessile epifauna since the earlier survey.

Material and method

A total of 46 sites, located offshore Calais, were sampled by Cabioch and his collaborators in 1972-76. These sites were revisited between March and June 2004 with the R/V *Sepia II* (figure 2).

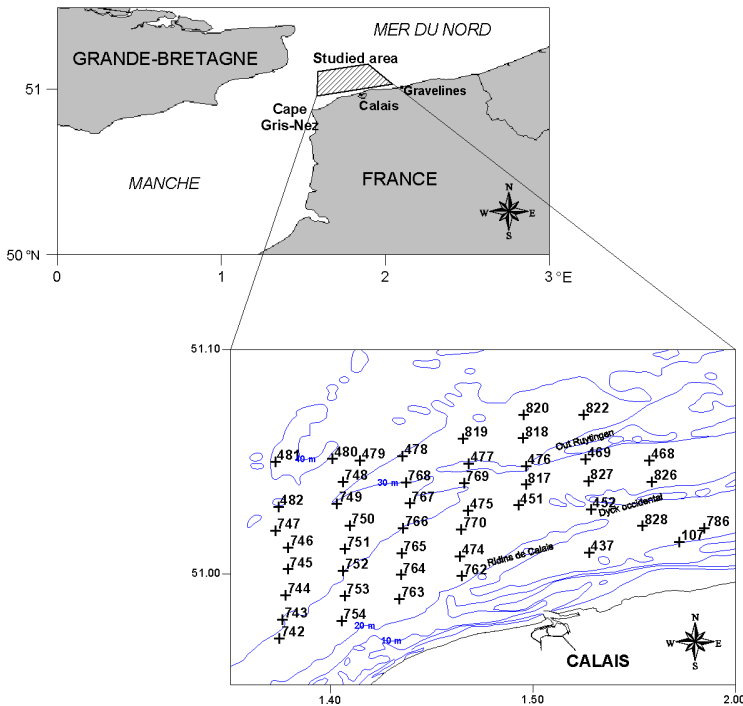


Figure 2 : Location of the area studied and the 46 sampling sites.

Sampling, sorting and identification:

- Gear: Rallier du Baty dredge,
- Sieving: 2-mm circular mesh sieve,
- Fixation: 10% buffered formalin,
- Sorting: at laboratory,
- Identification: to the species level under a dissecting microscope,
- Conservation: 70% ethanol.

When a sub-sampling was necessary at a site, all the pebbles from a station were counted and numbered (as many as 1230). Then, depending sample volume, a 30 to 50 pebble sub-sample was performed using Excel randomization ($[function\ rand \times (number\ of\ pebbles - 1) + 1]$, which returns a random number between 1 and the number of pebbles in the station according to a uniform law), so that the choice would not be subjective. All these steps were taken as soon as possible in order to prevent damage to the organisms. Absence of effects due to this sub-sampling on the species richness was tested with 4 stations: species encountered on more than 5 or 10 % of the pebbles for one station were correctly sub-sampled ($88 \pm 14\%$ and $98 \pm 4\%$ respectively; table 1).

Table 1: Accuracy of the sub-sampling for different threshold of species rarefaction.

Station		745	817	749	766		
Accuracy with species	>=10%	100%	100%	91%	100%	Mean	St dev
						98%	4%
	>=5%	100%	86%	70%	98%	88%	14%
St dev = standard deviation							

Accuracy = percentage of non rare species found in the sub-sampling

Analyses were done to determine species richness, coverage percentages and abundances. AHC was used to describe the assemblages. Results were mapped with SURFER 8© (Golden Software) and ArcMap© (ESRI) by using the most adapted interpolation schemes depending on the variables: nearest neighbour for assemblages, kriging for species richness and minimum curvature for sedimentary cover.

Results

Changes in sediment quality

In 1972-76, the bottom substrate was constituted by coarse sediments (gravel and pebbles) at most sampling sites, except for two sites (481 and 826) with sandy bottom. By 2004, the sandy bottoms had expanded considerably (Figure 3).

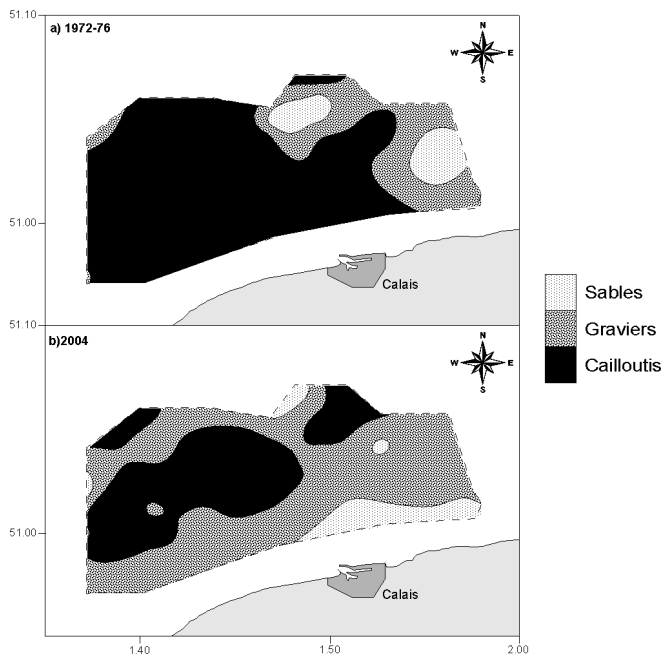


Figure 3: Sedimentary cover of the area in 1972-76 (a) and in 2004 (b). (sable=sand; graviers=gravels; cailloutis = pebbles)

Changes in species assemblages

Species diversity was estimated by the species richness (number of species) due to the use of presence/absence matrix data.

Bryozoa were the most representative phylum in both surveys (30% in 1972-76 and 38% in 2004), followed by Cnidaria (Table 2). Despite the differences in phyla percentages, the total number of phyla recorded for the two periods was similar (7 in 1972-76 and 8 in 2004).

Table 2: Distribution of species in the different zoological groups (a) in 1972-76, and (b) in 2004. The number of species in the zoological groups and the corresponding percentage are given.

a) 1972-76		
Zoological group	Number of species	Percentage (%)
Bryozoa	20	30
Entoprocta	0	0
Cnidaria	20	30
Porifera	8	12
Annelida	6	9
Mollusca	3	4
Tunicata	8	12
Arthropoda	2	3

b) 2004		
Zoological group	Number of species	Percentage (%)
Bryozoa	46	38
Entoprocta	3	3
Cnidaria	44	37
Porifera	9	8
Annelida	6	5
Mollusca	5	4
Tunicata	4	3
Arthropoda	3	3

The total number of sessile species collected in 2004 was twice as high as in 1972-1976 (respectively 120 and 67). In addition, in 2004, the richest sites were located offshore (Figure 4).

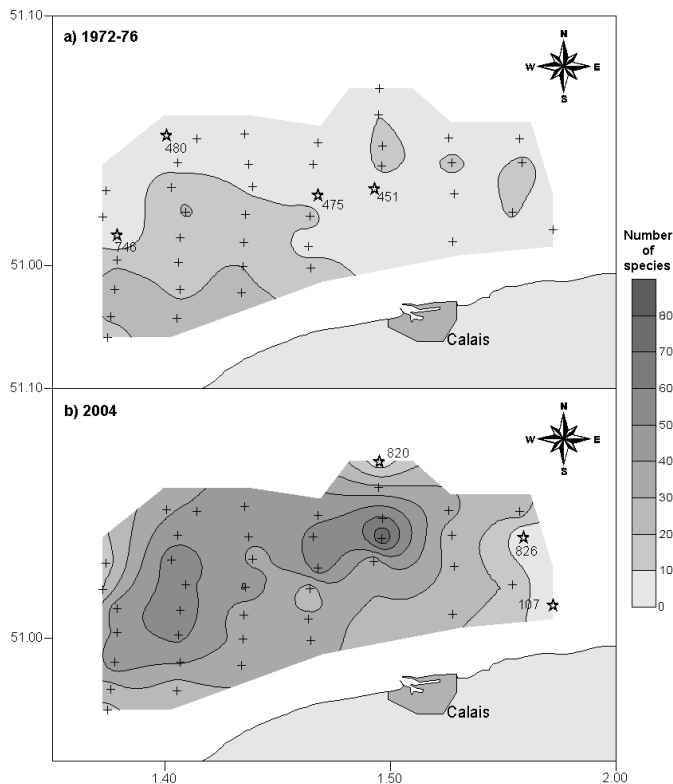


Figure 4 : Spatial distribution of species richness (a) in 1972-76, (b) in 2004. The stars represent the location without sessile epifauna.

A comparison of the surveys shows that 45 species were collected during both surveys and 59 only in 2004 (**table 3**). In addition, 22 species were found only in 1972-76 and 16 appeared since this date on the French coast of the Dover Strait (Wimereux Marine Fauna). They include one Porifera, three Cnidaria, one Annelida, ten Bryozoa and one Entoprocta. Most of these species were previously found along the coasts of British Islands (South and West of the coasts) or in other parts of the North-east Atlantic. The presence of the Entoprocta *Pedicellina hispida*, found once at the Cape Gris-Nez (Davoult *et al.*, 1999), was confirmed.

Table 3: Presence and absence of species in 1972-76 and in 2004, with the new species for the Wimereux Marine Fauna.

Species	1972-76	2004	Species	1972-76	2004	Species	1972-76	2004
Bryozoa			Cnidaria			Annelida		
<i>Abietinaria abietina</i>	x	x	<i>Actinaria</i> spp.	x	x	<i>Filograna implexa</i>		x
<i>Alcyonidium diaphanum</i>		x	<i>Actinia equina</i>		x	<i>Megalomma vesiculosum</i>	x	
<i>Alcyonidium gelatinosum</i>	x		<i>Adamsia carciniopados</i>		x	<i>Pomatoceros lamarckii</i>		x*
<i>Alcyonidium mytili</i>	x	x	<i>Alcyonium digitatum</i>	x	x	<i>Pomatoceros triqueteer</i>	x	x
<i>Bicellariella ciliata</i>		x	<i>Alcyonium glomeratum</i>		x*	<i>Sabellaria spinulosa</i>	x	x
<i>Bowerbankia imbricata</i>		x	<i>Aureliana heterocera</i>		x*	<i>Serpula vermicularis</i>	x	x
<i>Bugula flabellata</i>		x	<i>Bougainvillia ramosa</i>		x	<i>Spirorbis pagenstecheri</i>	x	
<i>Callopora dumerilii</i>		x	<i>Calycella syringa</i>		x	<i>Spirorbis spirillum</i>	x	
<i>Callopora lineata</i>		x	<i>Campanularia hincksi</i>	x	x	<i>Spirorbis tridentatus</i>	x	
<i>Cellepora pumicosa</i>	x	x	<i>Campanularia</i> spp.	x		<i>Spirorbis</i> spp.	x	x
<i>Chorizopora brongiartii</i>		x	<i>Campanularia volubilis</i>		x*	Arthropoda		
<i>Conopeum reticulum</i>	x	x	<i>Cereus pedunculatus</i>		x	<i>Acasta spongites</i>	x	
<i>Crisia aculeata</i>	x	x	<i>Cerianthus lloydii</i>	x		<i>Balanus balanus</i>		x
<i>Crisia eburnea</i>	x		<i>Clytia gracilis</i>		x	<i>Balanus crenatus</i>	x	x
<i>Diplosolen obelia</i>		x*	<i>Clytia hemisphaerica</i>		x	<i>Verruca stroemia</i>	x	x
<i>Disporella hispida</i>	x	x	<i>Coryne pusilla</i>		x	Mollusca		
<i>Electra pilosa</i>	x	x	<i>Diphasia attenuata</i>	x		<i>Modiolus modiolus</i>	x	x
<i>Escharella immersa</i>		x	<i>Dynamena pumila</i>		x	<i>Musculus discors</i>	x	x
<i>Escharella</i> spp.	x	x	<i>Eirene viridula</i>		x	<i>Mytilus edulis</i>	x	x
<i>Escharella variolosa</i>	x	x	<i>Eudendrium capillare</i>		x	<i>Pododesmus patelliformis</i>		x
<i>Escharella ventricosa</i>		x*	<i>Eudendrium ramosum</i>		x	<i>Pododesmus squama</i>		x
<i>Escharoides coccinea</i>		x	<i>Filellum serpens</i>	x		Entoprocta		
<i>Flustra foliacea</i>	x	x	<i>Halecium halecinum</i>	x	x	<i>Barentsia gracilis</i>		x
<i>Hagiosynodus latus</i>		x	<i>Halecium</i> spp.	x	x	<i>Pedicellina hispida</i>		x
<i>Hippothoa divaricata</i>		x*	<i>Hydractinia echinata</i>	x	x	<i>Pedicellina nutans</i>		x*
<i>Hippothoa flagellum</i>		x*	<i>Hydrallmania falcata</i>	x	x	Porifera		
<i>Lepralia</i> spp.	x		<i>Hydranthea margarica</i>		x	<i>Cliona celata</i>	x	
<i>Membranipora membranacea</i>		x	<i>Kirchenpaueria pinnata</i>	x	x	<i>Cliona</i> spp.	x	
<i>Microporella ciliata</i>		x	<i>Leuckartia octona</i>		x	<i>Dysidea fragilis</i>	x	x
<i>Omalosecosa ramulosa</i>	x	x	<i>Merona cornucopiae</i>		x	<i>Haliclona cinerea</i>		x
<i>Parasmittina trispinosa</i>		x	<i>Metridium senile</i>		x	<i>Haliclona oculata</i>		x
<i>Plagioecia patina</i>	x	x	<i>Nemertesia antennina</i>	x	x	<i>Halisarca dujardini</i>		x
<i>Plagioecia sarniensis</i>		x*	<i>Nemertesia ramosa</i>	x		<i>Leuconia fistulosa</i>	x	
<i>Plagioecia</i> spp.	x		<i>Obelia dichotoma</i>		x	<i>Poecillastra compressa</i>		x*
<i>Porella concinna</i>		x	<i>Orthopyxis integra</i>		x	<i>Porifera</i> spp.	x	x
<i>Puellina venusta</i>		x*	<i>Phialella quadrata</i>		x	<i>Suberites</i> spp.		x
<i>Reptadeonella violacea</i>	x	x	<i>Plumularia setacea</i>		x	<i>Sycon ciliatum</i>		x
<i>Schizomavella auriculata</i>		x	<i>Podocoryne carnea</i>		x	<i>Tethya aurantium</i>		x
<i>Schizomavella cornuta</i>		x*	<i>Sagartia elegans</i>	x	x	Tunicata		
<i>Schizomavella linearis</i>	x	x	<i>Sagartia troglodytes</i>	x	x	<i>Ascidie</i> spp.	x	x
<i>Schizoporella cornualis</i>		x	<i>Sagartiogeton undatus</i>		x	<i>Ascidiella mentula</i>	x	
<i>Schizoporella hesperia</i>		x*	<i>Sarsia loveni</i>		x	<i>Ascidiella</i> spp.	x	
<i>Schizoporella patula</i>		x*	<i>Sarsia tubulosa</i>		x	<i>Ciona intestinalis</i>	x	x
<i>Schizoporella</i> spp.		x	<i>Sertularella gaudichaudi</i>		x	<i>Dendrodoa glossularia</i>	x	x
<i>Schizoporella unicornis</i>	x	x	<i>Sertularia argentea</i>	x	x	<i>Didemnum</i> spp.	x	
<i>Scruparia ambigua</i>		x	<i>Sertularia cupressina</i>	x	x	<i>Molgula</i> spp.		x
<i>Smittoidea reticulata</i>		x*	<i>Tubularia indivisa</i>	x	x	<i>Pyuridae</i> spp.	x	
<i>Tubulipora liliacea</i>		x	<i>Tubularia</i> spp.	x				
<i>Tubulipora phalangea</i>		x	<i>Urticina felina</i>	x	x			
<i>Tubulipora</i> spp.	x	x						
<i>Turbicellepora avicularis</i>		x						

The AHC was performed on data without rare species (e.g. found in 1 or 2 stations) and by using the Cosine index (**figure 5**). The level of cut was chosen in order to have 50 % similarity between the stations. It revealed 8 faunal assemblages in 1972-76 and only 4 in 2004 (**figure 6**). In both surveys, the assemblage numbered VIII is constituted by stations with few or no species. In 1972-76, the assemblage VI, that covers the biggest area, was not characterized. It was only tolerant species which occupied it. However, in 2004, the main

assemblage (XI), which spreads over a wider area than in 1972-1976, is characterized by *Hagiosynodos latus*, *Omalosecosa ramulosa*, *Reptadeonella violacea*, *Tubulipora liliacea*, *Sertularia cupressina*, *Urticina felina*, *Verruca stroemia*, *Sycon ciliatum*, *Dendrodoa grossularia* and undetermined Porifera (**table 4**).

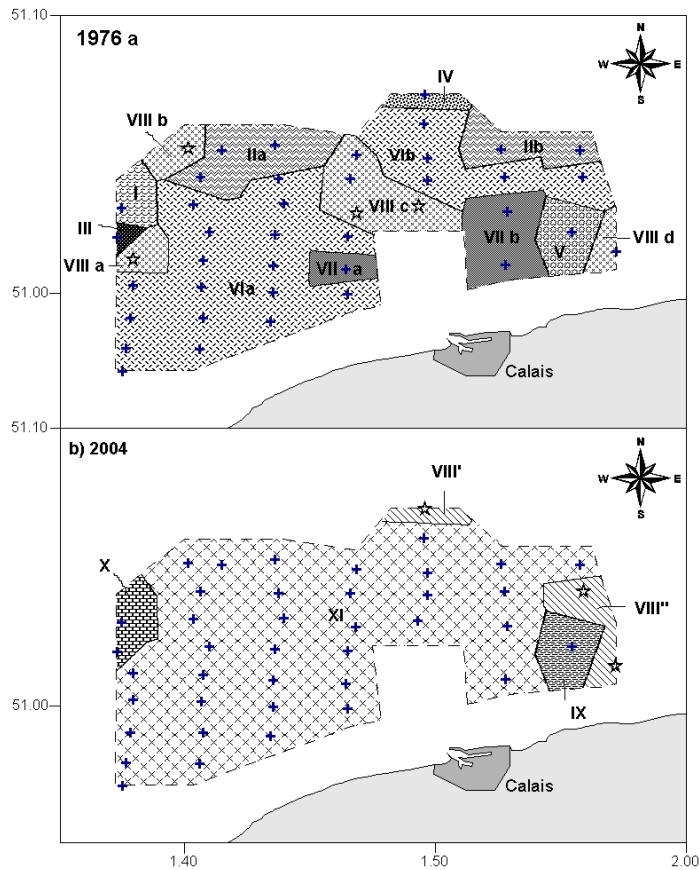
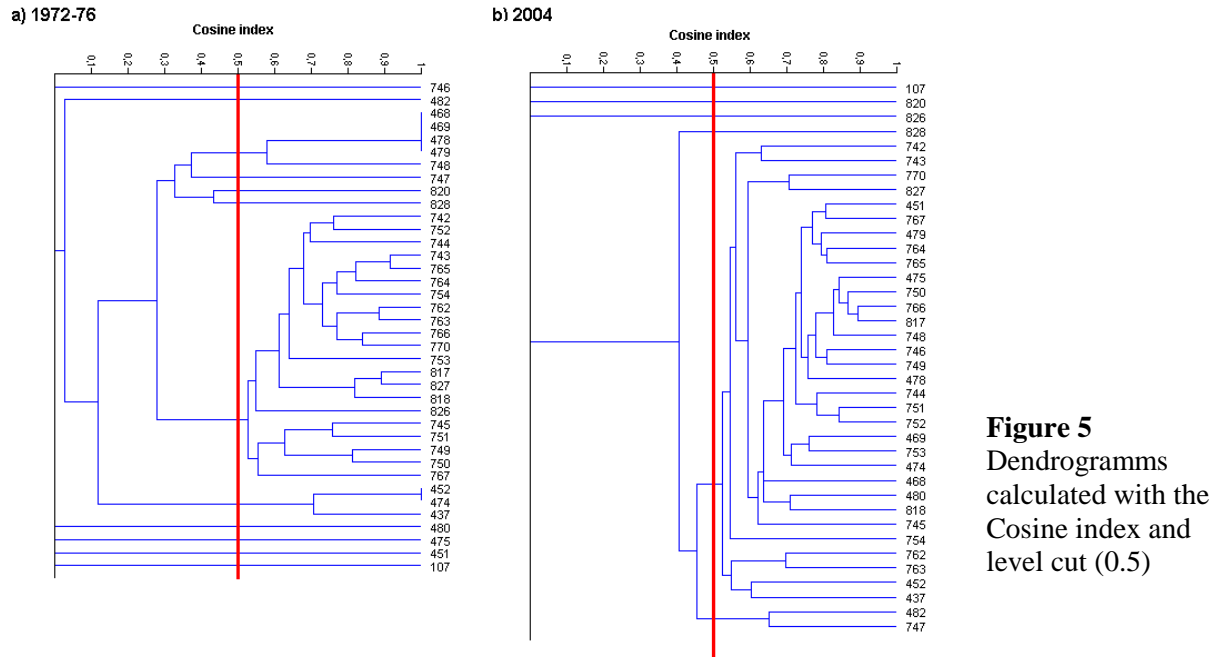


Table 1: Characteristic species of the assemblages in 1972-76 and in 2004.

Characteristic species (1972-1976)			
III	IV	V	VII
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>	<i>Nemertesia antennina</i>	<i>Nemertesia ramosa</i>	<i>Alcyonium digitatum</i> <i>Cellepore pumicosa</i> <i>Dendrodoa grossularia</i> <i>Lichenopora hispida</i> <i>Schizomavella linearis</i> <i>Sertularia sp</i> <i>Tubulipora sp</i>
Characteristic species (2004)			
IX	X	XI	
<i>Conopeum reticulum</i> <i>Coryne pusilla</i> <i>Sagartia elegans</i> <i>Barentsia gracilis</i> <i>Modiolus modiolus</i>	<i>Callopora dumerilii</i> <i>Alcyonidium diaphanum</i>	<i>Hagiosynodos latus</i> <i>Omalosecosa ramulosa</i> <i>Reptadeonella violacea</i> <i>Tubulipora liliacea</i> <i>Sertularia cupressina</i> <i>Urticina felina</i> <i>Verruca stroemia</i> <i>Spongiaire sp</i> <i>Sycon ciliatum</i> <i>Dendrodoa grossularia</i>	

Discussion

The following hypotheses can explain changes in number of species: changes in methods, changes in primary pelagic production and sanding up of the Dover Strait between 1972-76 and 2004.

1) Changes in methods

This study highlights that species richness of sessile fauna has doubled as species richness of the vagile epifauna

and endofauna (Alizier, comm. pers.); and that species frequency among the different phyla appears to have remained fairly stable. Because the same kind of gear (Rallier du Baty dredge) was used in both periods, the hypothesis of damages by gear on the erect sessile epifauna (Jennings & Kaiser, 1998, Jennings *et al.*, 2001) can be eliminated. The employment of two sorting procedures could explain this doubling. Indeed, in 1972-76, the sorting procedure was partly done on board; the rare species which were not determined on board were brought to the laboratory. In 2004, all samples were brought to the laboratory where determination was done. So, a more scrupulous examination of pebbles may have been done. But 22 species were only found in 1972-76 and some species were not difficult to distinguish (ascidians for example). So, if retained, this explanation has its limits.

Fifteen species, and perhaps sixteen (to confirm), were new for the Wimereux Marine Fauna. All of them are already known along English coasts. This addition could be explained either by the scrupulous pebble examinations of the “Modioles 2004” cruise or by a faunal change between the surveys. Three of these species are very difficult to distinguish because there are very small and sometimes translucent. The other species can be considered as indicators of ecological change presumably related to climat variations.

2) *Changes in primary pelagic production*

Sessile epifauna in the Dover Strait is composed mainly of Lophochotrozoa, Cnidaria and Porifera, all passive suspension-feeders. In this type of community, organic enrichment can have an impact on species richness and diversity (Pearson & Rosenberg, 1978, Pearson *et al.*, 1985). However, a change in primary pelagic productivity in 2000 and 2002 may have affected food availability, with some impact on the trophic group. But no significant differences in this primary pelagic productivity were found between chlorophyll "a" concentrations during the period 73-77 (USTL, comm. pers.) and the period 2001-2002 (IFREMER, comm. pers.) at Gravelines site, near the area studied here.

3) *Sediment changes*

The sanding up of the studied area, especially on the north-eastern and eastern boundaries, may be due to movements of tidal dunes (several meters per year) (Le Bot *et al.*, 2000). Such modifications of the sedimentary cover have been known to disturb benthic communities by creating a homogeneous bottom. In spite of the increased amount of sand, and thus the increased area of the sandy bottoms, sessile species richness doubled from the first survey to the second.

Modifications of sediment cover and assemblage composition between the two surveys can also be explained by such factors as fluctuating survival rates due to temperature changes and the impact of anthropogenic activities (e.g., fishing, underwater cabling and pollution). Despite such factors, the pebbles community as described by Cabioch & Glaçon (1977) and Souplet *et al.* (1980) persists in this area.

Our research emphasizes the importance of studying sessile epifauna as a proxy for macrobenthic change. Sadly, such fauna is often neglected due to the difficulty of species identification.

These results appear in the CHARM atlas (Carpentier *et al.*, 2005 a, b), where they contribute to improving fish habitat maps by taking into account biological factors such as trophic availability, in addition to physical factors. This research is the first phase of a larger study encompassing the entire eastern English Channel (MABEMONO), which began in February 2006. The main objective of the MABEMONO program is to identify the macrobenthic community changes between 1972-1976 and 2006-2007.

The authors are grateful to L. E. Spencer for her comments and help in correcting the English text and to all the members of the CHARM program for their help in the carrying out of this study.

For more information on the CHARM program and to download the atlas and the final report, you can go on <http://charm.canterbury.ac.uk/>.

References

- BRYLINSKY, J.-M., LAGADEUC, Y., GENTILHOMME, V., DUPONT, J.-P., LAFITE, R., DUPEUBLE, P.-A., HUAULT, M.-F., AUGER, Y., PUSKARIC, E., WARTEL, M. & CABIOCH, L., 1991. Le "fleuve côtier" : un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais. *Océanol. Acta*, **11**: 197-203.
- CABIOCH, L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cah. biol. mar.*, **9**: 493-720.
- CABIOCH, L. & GENTIL, F., 1975. Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. *C. r. hebd. séances Acad. sci., Sér. D*, **280**: 571-574.
- CABIOCH, L. & GLACON, R., 1975. Distribution des peuplements benthiques en Manche Orientale, de la Baie de Somme au Pas-de-Calais. *C. r. hebd. séances Acad. sci., Sér. D*, **280**: 491-494.

- CABIOCH, L. & GLACON, R., 1977. Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la Baie de Somme. *C. r. hebd. séances Acad. sci., Sér. D*, **285**: 209-213.
- CARPENTIER, A., COPPIN, F., DAUVIN, J.-C., DESROY, N., DEWARUMEZ, J.-M., EASTWOOD, P. D., ERNANDE, B., HARROP, S., KEMP, Z., KOUUBI, P., LEADER-WILLIAMS, N., LEFEBVRE, A., LEMOINE, M., LOOTS, C., MARTIN, C. S., MEADEN, G. J., RYAN, N., TAN, L., VAZ, S. & WALKEY, M., 2005a. *CHARM Project -Final Report (Technical Report), Projet CHARM- Rapport Final (Rapport Technique)*. Editor: INTERREG III A, 255 & 54 pp. Available on the CCCU website (<http://charm.canterbury.ac.uk/>), consulted the 26-01-06.
- CARPENTIER, A., VAZ, S., MARTIN, C. S., COPPIN, F., DAUVIN, J.-C., DESROY, N., DEWARUMEZ, J.-M., EASTWOOD, P. D., ERNANDE, B., HARROP, S., KEMP, Z., KOUUBI, P., LEADER-WILLIAMS, N., LEFEBVRE, A., LEMOINE, M., LOOTS, C., MEADEN, G. J., RYAN, N. & WALKEY, M., 2005b. Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management (CHARM), *Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche Orientale*. Editor: INTERREG III A, 225 pp. Available on the CCCU website (<http://charm.canterbury.ac.uk/>), consulted the 26-01-06..
- DAUVIN, J.-C., 1993. Le benthos : témoin des variations de l'environnement. *Océanis*, **19**: 25-53.
- DAUVIN, J.-C. & DEWARUMEZ, J.-M., 2002. Patrimoine naturel de la Manche orientale et du sud de la Mer du Nord : invertébrés et peuplements macrobenthiques sublittoraux. *In Acte du colloque « Qualité des eaux : objectifs atteints ? »* Agence de l'Eau Artois-Picardie, Mission Littoral: 9-27.
- DAVOULT, D., 1990. Biofaciès et structure trophique du peuplement des cailloutis du Pas-de-Calais (France). *Océanol. Acta*, **13**: 336-348.
- DAVOULT, D., DEWARUMEZ, J.-M., LUCZAK, C. & MIGNE, A., 1999. Nouvelles signalisations d'espèces benthiques sur les côtes françaises de la Manche orientale et de la Mer du Nord. *Cah. biol. mar.*, **40**: 121-127.
- DESROY, N., WAREMBOURG, C., DEWARUMEZ, J.-M. & DAUVIN, J.-C., 2003. Macrobenthic resources of the shallow soft-bottom sediments in the eastern English Channel and southern North Sea. *ICES J. mar. sci.*, **60**: 120-131.
- DUPONT, J.-P., LAFITE, R., HUAULT, M.-F., DUPEUBLE, P.-A., BRYLINSKI, J.-M., GUEGUENIAT, P., LAMBOY, M. & CABIOCH, L., 1991. La dynamique des masses d'eaux et de matières en suspension en Manche Orientale. *Océanol. Acta*, **11**: 177-186.
- GEE, J. M. & WARWICK, R. M., 1996. A study of global biodiversity patterns in the marine motile faune of hard substrata. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **76**: 177-184.
- HOLME, N. A., 1961. The bottom fauna of the English Channel. Part I. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **41**: 397-461.
- HOLME, N. A., 1966. The bottom fauna of the English Channel. Part II. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **46**: 401-493.
- IDIER, D., EHRHOLD, A. & GARLAN, T., 2002. Morphodynamique d'une dune sous-marine du détroit du Pas-de-Calais. *C.R. Géosci.*, **334**: 1079-1085.
- JENNINGS, S. & KAISER, M. J., 1998. The effects of Fishing on Marine Ecosystems. *Adv. Mar.Biol.*, **34**: 202-352.
- JENNINGS, S., PINNEGAR, J. K., POLUNIN, N. V. C. & WARR, K. J., 2001. Trawling disturbance can modify benthic production processes. *J. Anim. Ecol.*, **70**: 459-475.
- LARSONNEUR, C., BOUYASSE, P. & AUFFRET, J. P., 1982. The superficial sediments of the English Channel and its western approche. *Sedimentology*, **29**: 851-864.
- LE BOT, S., TRENTESAUX, A., GARLAN, T., BERNE, S. & CHAMLEY, H., 2000. Influence des tempêtes sur la mobilité des dunes tidales dans le détroit du Pas-de-Calais. *Océanol. Acta*, **23**: 129-141.
- PEARSON, T.H. & ROSENBERG, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **16**: 229-311.
- PEARSON, T.H., JOSEFSON, A.B. & ROSENBERG, R., 1985. Petersen's benthic stations revisited. I. Is the Kattegatt becoming eutrophic? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **92**: 157-206.

- PINGREE, R. D. & MADDOCK, L., 1977. Tidal residuals in the English Channel. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **57**: 339-354.
- PRYGIEL, J., DAVOULT, D., DEWARUMEZ, J.-M., GLAÇON, R. & RICHARD, A., 1988. Description et richesse des peuplements benthiques de la partie française de la Mer du Nord. *C. r. Acad. sci., Sér. III*, **306**: 5-10.
- SANVICENTE-ANORVE, L., 1995. *Détermination des structures benthiques spatiales en Manche Orientale au moyen de méthodes d'analyse multivariante et de techniques d'interpolation*. Doctorate thesis. Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, 169 pp.
- SANVICENTE-ANORVE, L. & LEPRETRE, A., 1995. Typologie des stations océanographiques en Manche orientale : comparaison de méthodes d'interpolation spatiale. *J. Rech. Océanogr.*, **20**: 27-32.
- SANVICENTE-ANORVE, L., LEPRETRE, A. & DAVOULT, D., 1996. Large-scale spatial pattern of the macrobenthic diversity in the Eastern English Channel. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **76**: 153-160.
- SOUPLET, A., GLAÇON, R., DEWARUMEZ, J.-M. & SMIGIELSKI, F., 1980. Distribution des peuplements benthiques littoraux en Mer du Nord, du Cap Blanc-Nez à la frontière de Belgique. *C. r. hebdomadaire des séances Acad. sci., Sér. D*, **290**: 627-630

IV.2.2. Comparaison entre les zones à cailloutis du bassin oriental de la Manche (2004-2007)

Les deux zones de cailloutis identifiées, au large du Pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais, ont été comparées entre elles.

Les 40 stations, pour lesquelles le type sédimentaire correspondait aux graviers G de la classification de Folk et qui ont été échantillonnées à la drague Rallier du Baty, ont été prises en compte pour l'analyse. La CAH a donc été effectuée sur une matrice de 40 stations \times 286 espèces (espèces rares non comprise). L'indice de similarité employé est l'indice de Sørensen ; les données étant en présence-absence du fait de la prise en compte de l'épifaune sessile.

Le dendrogramme issu de cette analyse est présenté en Figure 83.

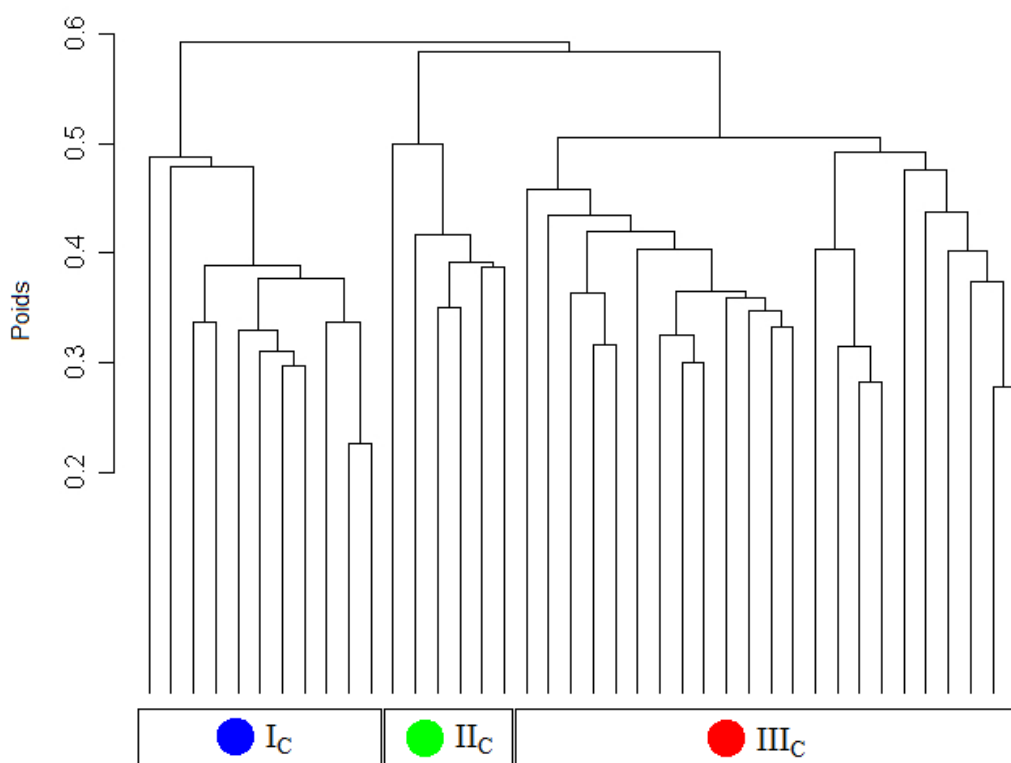


Figure 83 : Dendrogramme effectué par regroupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques (épifaune vagile, endofaune et épifaune sessile) sur les stations de cailloutis échantillonnées à la drague Rallier du Baty.

La méthode de Ratkowsky ne permet pas d'obtenir un niveau de coupure optimal pour ce dendrogramme, car la valeur de $C_{n_{max}}$ n'est jamais atteinte. Le nombre d'assemblages a donc été déterminé à partir d'un saut visible dans la forme du dendrogramme. Trois assemblages ont ainsi été déterminés (Figure 84).

L'assemblage I_C comprend 11 stations de la mission EOVE, l'assemblage II_C 23 stations du programme MABEMONO et l'assemblage III_C 6 stations de la mission MODIOLES.

Les espèces principales et caractéristiques de chaque assemblage sont identifiées dans le Tableau 30. Parmi les espèces principales, trois sont communes aux trois assemblages (l'annélide *Pomatoceros triqueter*, le décapode *Pisidia longicornis* et l'amphipode *Corophium sextonae*) ; deux sont communes aux assemblages 1 et 3 (l'annélide *Sabellaria spinulosa* et le décapode *Galathea intermedia*) et deux sont

communes aux assemblages 2 et 3 (les annélides *Thelepus setosus* et *Syllis variegata*). Par contre, aucune espèce caractéristique n'est commune aux trois assemblages.

Tableau 30: Espèces caractéristiques et principales des assemblages issus de la comparaison des cailloutis du bassin oriental de la Manche.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _C	<i>Aplysilla rosea</i> <i>Haliclona</i> <i>Ocenebra erinacea</i> <i>Pyura microcosmus</i> <i>Trivia arctica</i>	<i>Pisidia longicornis</i> <i>Pomatoceros triqueter</i> <i>Sabellaria spinulosa</i> <i>Thelepus setosus</i> <i>Corophium sextonae</i> <i>Polynoe scolopendrina</i> <i>Syllis variegata</i> <i>Pholoe baltica</i> <i>Musculus discors</i> <i>Galathea intermedia</i>	11
II _C	<i>Crisia eburnea</i> <i>Harmothoe fragilis</i> <i>Malmgreniella ljunghmani</i> <i>Nephasoma minutum</i> <i>Pyura squamulosa</i> <i>Scalibregma celticum</i> <i>Syllis krohni</i>	<i>Pomatoceros triqueter</i> <i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Corophium sextonae</i> <i>Erichthonius punctatus</i> <i>Lepidonotus squamatus</i> <i>Thelepus setosus</i> <i>Pholoe baltica</i> <i>Syllis variegata</i> <i>Gammaropsis maculata</i>	23
III _C	<i>Aeolidia papillosa</i> <i>Flabelligera affinis</i> <i>Hydractinia carnea</i> <i>Leptochiton asellus</i> <i>Liocarcinus holsatus</i> <i>Mysta picta</i> <i>Omalosecosa ramulosa</i> <i>Phyllodoce longipes</i> <i>Porifera</i> <i>Schizoporella patula</i> <i>Sertularia cupressina</i> <i>Tritonia plebeia</i>	<i>Pomatoceros triqueter</i> <i>Pisidia longicornis</i> <i>Echinocyamus pusillus</i> <i>Corophium sextonae</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Psammechinus miliaris</i> <i>Sabellaria spinulosa</i> <i>Amphipholis squamata</i> <i>Galathea intermedia</i> <i>Phyllodoce longipes</i>	6

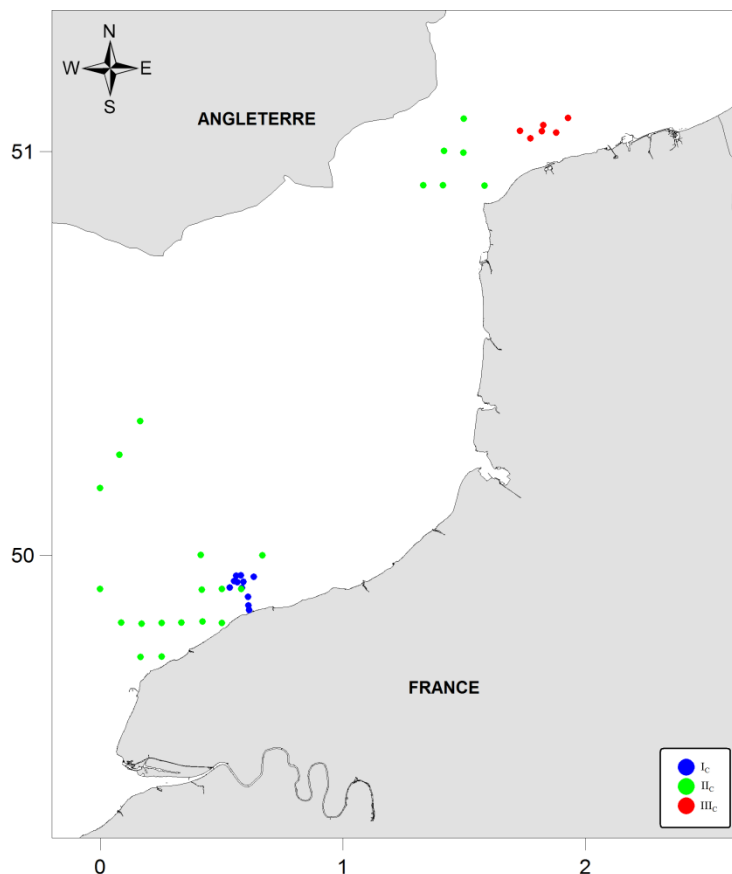


Figure 84 : Localisation des 3 assemblages de cailloutis du bassin oriental de la Manche, isolés par l'analyse pour la période récente. Chaque assemblage est représenté par une couleur unique ; coordonnées en degrés décimaux.

IV.2.3. La (ou les) communauté(s) des graviers ensablés (2004-2007)

Les différentes zones de graviers ensablés du bassin oriental de la Manche, essentiellement situées au niveau des paléovallées ont été comparées entre elles.

Pour réaliser l'analyse, 57 stations ont été choisies en Manche centrale et dans le bassin oriental de la Manche, dès qu'elles appartenaient à une paléovallée. Ainsi, ces 57 stations sont réparties dans la paléovallée centrale, la paléovallée de la Somme et à l'extrémité de la paléovallée de la Seine (Figure 4). Seules les stations échantillonnées à la benne Hamon et avant la principale période de recrutement des espèces benthiques (juillet) ont été conservées pour cette analyse. Une CAH a été effectuée à partir de la matrice des 57 stations \times 250 espèces (espèces rares non comprises), en employant l'indice de Sørensen sur les données en présence-absence. En effet, ce type de sédiment est le second dans le bassin oriental de la Manche à comprendre des espèces d'épifaune sessile, dont la prise en compte dans les analyses nécessite l'emploi de données en présence-absence.

Le dendrogramme issu de cette analyse est présenté à la Figure 85.

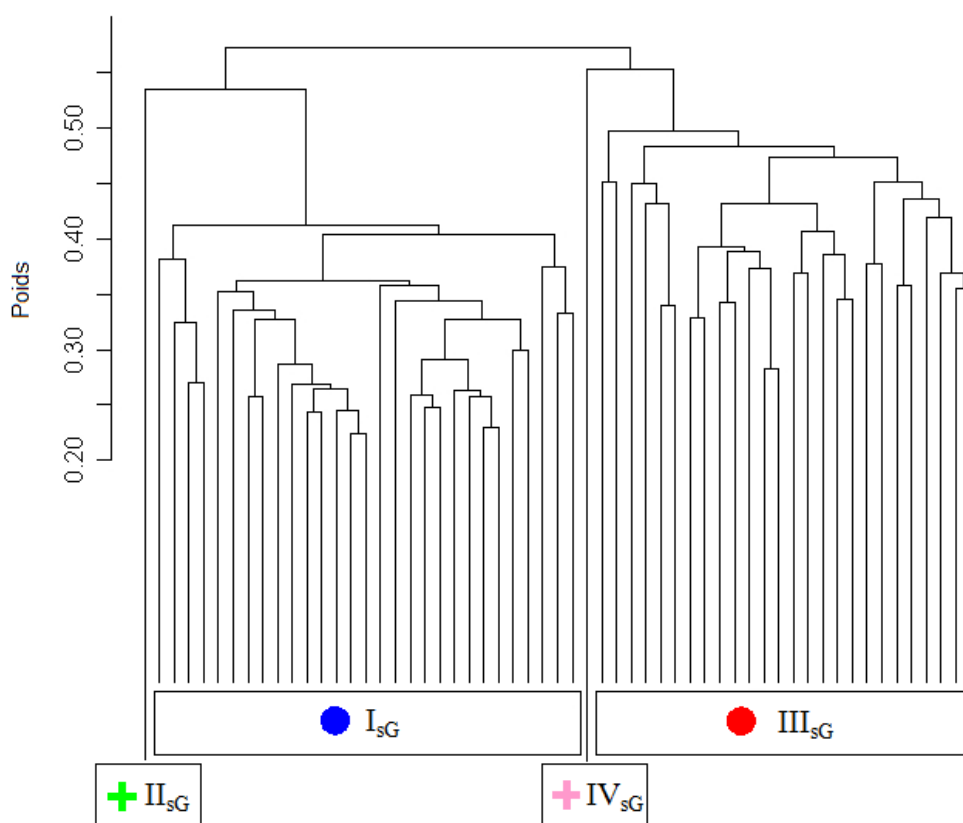


Figure 85 : Dendrogramme effectué par regroupement moyen à partir de la matrice des distances de Sørensen calculées d'après les données faunistiques (épifaune vagile, endofaune et épifaune sessile) sur les stations échantillonnées à la benne Hamon.

Le calcul de la coupure optimale avec la méthode de Ratkowsky donne un niveau de coupure maximal à 52 groupes, ce qui signifie qu'il faudrait considérer chaque station comme un élément unique. De ce fait, le nombre d'assemblages a été choisi de manière subjective en regardant visuellement sur le dendrogramme où se situe le plus grand « saut ». Quatre assemblages (Figure 86) ont donc été retenus pour une similarité de 50% entre les stations. L'assemblage I_{sG} comprend 29 stations issues de la campagne du mois de juin de BEMACE et correspond à un assemblage de graviers ensablés. L'assemblage II_{sG} comprend une station de la campagne du mois de juin de BEMACE et correspond plutôt à une station de graviers propres (parmi les espèces caractéristiques se trouvent *Branchiostoma lanceolatum* et *Polygordius spp.*). L'assemblage III_{sG} comprend 26 stations des paléovallées du bassin oriental de la Manche et correspond à un assemblage de graviers ensablés. L'assemblage IV_{sG} comprend une station de la campagne Saint-Nicolas et correspond plutôt à une station de sédiments hétérogènes.

Les espèces caractéristiques et principales de chaque assemblage sont indiquées dans le Tableau 31. Ainsi, l'assemblage I_{sG} comporte parmi les espèces caractéristiques : *Aonides oxycephala*, *Harmothoe fragilis*, *Harmothoe impar*, *Malmgreniella arenicolae*, *Pterocirrus macroceros*, *Arcopagia crassa*, *Thracia villosiuscula*, *Timoclea ovata*, *Balanus crenatus*, *Clytia hemisphaerica*, *Gibbula tumida*, *Leptochiton scabridus*, *Lithophyllum incrustans* et *Pyura tessellata* et parmi les espèces principales : quatre espèces de polychètes (*Pomatoceros triqueter*, *Notomastus latericeus*, *Lumbrineris gracilis* et *Ampharete baltica*) et une espèce de bivalve (*Glycymeris glycymeris*). L'assemblage III_{sG} comporte parmi les espèces caractéristiques : *Eulalia mustela*, *Hesionura elongata*, *Odontosyllis gibba*, *Pholoe baltica*, *Syllis gracilis*, *Golfingia vulgaris*, *Hagiosynodos latus*, *Porella concinna*,

Lithophyllum, *Ophiothrix fragilis* et *Suberites* et parmi les espèces principales : quatre espèces de polychètes (*Pomatoceros triqueter*, *Notomastus latericeus*, *Aonides paucibranchiata*, *Laonice bahusiensis*) et une espèce d'échinoderme (*Ophiothrix fragilis*). Aucune espèce caractéristique n'est commune aux quatre assemblages. Deux espèces de polychètes sont communes aux assemblages I_{sG} et III_{sG} : *Pomatoceros triqueter* et *Notomastus latericeus* ; une espèce de polychètes est commune aux assemblages II_{sG} et III_{sG} : *Aonides paucibranchiata* et une espèce de polychète est commune aux assemblages III_{sG} et IV_{sG} : *Laonice bahusiensis*.

Tableau 31 : Espèces caractéristiques et principales des assemblages issus de la comparaison des graviers ensablés en Bassin oriental de la Manche.

Assemblages	Espèces caractéristiques	Espèces principales	Nombre de stations
I _{sG}	<i>Aonides oxycephala</i> <i>Arcopagia crassa</i> <i>Balanus crenatus</i> <i>Clytia hemisphaerica</i> <i>Gibbula tumida</i> <i>Harmothoe fragilis</i> <i>Harmothoe impar</i> <i>Leptochiton scabridus</i> <i>Lithophyllum incrustans</i> <i>Malmgreniella arenicolae</i> <i>Pterocirrus macroceros</i> <i>Pyura tessellata</i> <i>Thracia villosiuscula</i> <i>Timoclea ovata</i>	<i>Pomatoceros triqueter</i> <i>Glycymeris glycymeris</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Lumbrineris gracilis</i> <i>Ampharete baltica</i>	29
II _{sG}	<i>Autolytinae</i> <i>Branchiostoma lanceolatum</i> <i>Euspira pulchella</i> <i>Iphimedia obesa</i> <i>Lutrarina angustior</i> <i>Malmgreniella Ijungmani</i> <i>Nereis pelagica</i> <i>Polygordius</i> <i>Protodorvillea kefersteini</i> <i>Tonicella marmorea</i>	<i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Amphiura (Ophiopeltis) securigera</i> <i>Polygordius</i> <i>Polycirrus medusa</i> <i>Malmgreniella Ijungmani</i>	1
III _{sG}	<i>Eulalia mustela</i> <i>Golfingia vulgaris</i> <i>Hagiosynodos latus</i> <i>Hesionura elongata</i> <i>Lithophyllum</i> <i>Odontosyllis gibba</i> <i>Ophiothrix fragilis</i> <i>Pholoe baltica</i> <i>Porella concinna</i> <i>Suberites</i> <i>Syllis gracilis</i>	<i>Pomatoceros triqueter</i> <i>Notomastus latericeus</i> <i>Aonides paucibranchiata</i> <i>Laonice bahusiensis</i> <i>Ophiothrix fragilis</i>	26
IV _{sG}	<i>Atelecyclus rotundatus</i> <i>Caecum glabrum</i> <i>Caulerliella bioculata</i> <i>Cirratulus cirratus</i> <i>Ebalia tuberosa</i> <i>Eumida bahusiensis</i> <i>Eusyllis blomstrandii</i> <i>Flabelligera affinis</i> <i>Gammaropsis maculata</i> <i>Glycera alba</i> <i>Golfingia (Golfingia) elongata</i> <i>Heteromastus filiformis</i> <i>Leptosynapta inhaerens</i> <i>Malmgreniella glabra</i> <i>Mysta picta</i> <i>Ophelia borealis</i> <i>Pelogenia arenosa</i> <i>Phascolion (Phascolion) strombi</i> <i>Schistomeringos</i> <i>Sphaerodorum gracilis</i> <i>Syllis cornuta</i> <i>Thelepus setosus</i>	<i>Eunice vittata</i> <i>Eteone longa</i> <i>Caulerliella bioculata</i> <i>Laonice bahusiensis</i> <i>Ophiura albida</i>	1

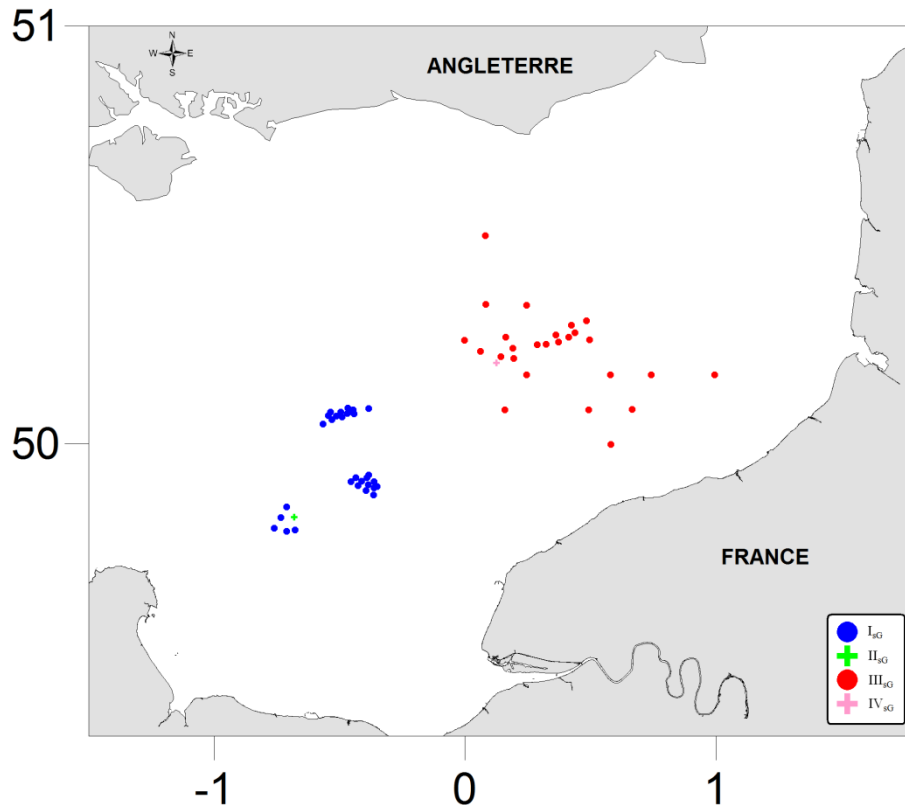


Figure 86 : Localisation des 4 assemblages de graviers ensablés du bassin oriental de la Manche, isolés par l'analyse pour la période récente. Chaque assemblage est représenté par une couleur unique ; coordonnées en degrés décimaux.

IV.2.4. Discussion

Au sein de la communauté des cailloutis et au sein de la communauté des graviers ensablés, il existe différents assemblages géographiquement distincts. Il y a ainsi un assemblage des cailloutis spécifique au détroit du Pas de Calais (caractérisé par 12 taxa : *Aeolidia papillosa*, *Flabelligera affinis*, *Hydractinia echinata*, *Leptochiton asellus*, *Liocarcinus holsatus*, *Mysta picta*, *Omalosecosa ramulosa*, *Phyllodoce longipes*, Porifera, *Schizoporella patula*, *Sertularia cupressina* et *Tritonia plebeia*) et un spécifique au pays de Caux (caractérisé par 5 taxa : *Aplysilla rosea*, *Haliclona*, *Ocenebra erinacea*, *Pyura microcosmus* et *Trivia arctica*), qui coexistent avec celui commun à ces deux secteurs (caractérisé par 7 taxa : *Crisia eburnea*, *Harmothoe fragilis*, *Malmgreniella ljunmani*, *Nephasoma minutum*, *Pyura squamulosa*, *Scalibregma celticum* et *Syllis krohni*). De même, il y a un assemblage des graviers ensablés de la paléovallée de la Somme (caractérisé par 11 taxa : *Eulalia mustela*, *Golfingia vulgaris*, *Hagiosynodos latus*, *Hesionura elongata*, *Lithophyllum*, *Odontosyllis gibba*, *Ophiothrix fragilis*, *Pholoe baltica*, *Porella concinna*, *Suberites* et *Syllis gracilis*) qui est différent de celui de la paléovallée médiane (caractérisé par 14 espèces : *Aonides oxycephala*, *Arcopagia crassa*, *Balanus crenatus*, *Clytia hemisphaerica*, *Gibbula tumida*, *Harmothoe fragilis*, *Harmothoe impar*, *Leptochiton scabridus*, *Lithophyllum*, *Malmgreniella arenicolae*, *Pterocirrus macroceros*, *Pyura tessellata*, *Thracia villosiuscula* et *Timoclea ovata*).

Trois hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ces différences géographiques :

- La première est que les différentes zones comparées sont réellement différentes les unes des autres du point de vue de la composition faunistique et que cette

différence serait due à des conditions hydromorphosédimentaires différentes. En effet, ces conditions diffèrent entre l'assemblage des cailloutis du détroit du Pas de Calais qui occupe des stations de profondeur moyenne à élevée avec des tensions de cisaillement élevées et celui du pays de Caux qui occupe des stations qui sont au contraire de faible profondeur avec des tensions de cisaillement peu élevées. Mais cela n'est pas le cas entre les différents assemblages des graviers ensablés. Cette hypothèse n'est donc pas juste, du moins pas pour l'ensemble des communautés des sédiments grossiers.

- La deuxième hypothèse est que les différentes zones comparées sont réellement différentes les unes des autres du point de vue de la composition faunistique et que cette différence serait due au gradient biogéographique, lui-même lié aux conditions thermiques. Ainsi, les zones situées les plus à l'ouest concentreraient un nombre plus élevé d'espèces à affinité lusitanienne qui les distingueraient des zones les plus à l'est qui concentreraient à un nombre plus élevé d'espèces à affinité boréale.

- La troisième hypothèse est que les différentes zones comparées ne sont pas réellement différentes les unes des autres du point de vue de la composition faunistique et que les différences observées seraient dues à des biais méthodologiques. En effet, chaque zone a fait l'objet de prélèvements à des périodes différentes et des années distinctes et des personnes différentes ont réalisé la détermination de chacune des zones. L'effet temporel pourrait jouer sur la présence plus importante de certaines espèces pendant les périodes estivales et au début de l'automne en relation avec leur recrutement. Toutefois, l'utilisation d'un tamis de 2 mm minimise cet ajout d'individus et d'espèces surdispersées au recrutement estival. En ce qui concerne l'effet du déterminateur, il faut souligner que j'ai effectué seule la détermination de l'épibiose sessile et que ce biais est donc plus lié à l'évolution de mon expérience au cours du temps qu'à une différence entre personnes. Par contre, l'épifaune vagile et l'endofaune ont été déterminées par plusieurs personnes qui elles aussi ont eu une qualité d'expertise qui s'est affinée au cours du temps.

Il n'y a probablement pas de réponse unique à la question de l'origine des différences observées et ces réponses diffèrent probablement d'une espèce à une autre.

Ainsi *Balanus crenatus* est une espèce clairement d'affinité boréale car la France représente sa limite sud de répartition (Rainbow, 1984). Cette espèce caractérise la zone de la paléovallée médiane mais pas celle plus au nord de la paléovallée de la Somme. L'hypothèse des affinités biogéographiques ne peut donc ici expliquer sa différence de distribution entre les deux zones à graviers ensablés. Par contre, il a déjà été démontré (Rainbow, 1984) que :

- le principal facteur influençant la probabilité de capture de cette espèce est, après le type de substrat, la saison ; or les prélèvements effectués dans les deux assemblages des graviers ensablés n'ont pas été réalisés en même temps (en avril 2006 pour la paléovallée de la Somme et juin et septembre 2007 pour la paléovallée médiane),
- sa présence est conditionnée par des conditions micro-environnementales : c'est une espèce rugophile qui préfère la présence d'une petite dépression avec un biofilm pour se fixer ; or la microtopographie n'a pas été étudiée mais elle peut différer fortement d'une zone à une autre (a priori autant à faible qu'à forte distance),
- sa distribution sur les substrats qui lui sont favorables est limitée par la compétition pour l'espace vital avec les algues ; or les *Lithophyllum*, algues calcaires encroûtantes, sont caractéristiques des assemblages à graviers ensablés dans laquelle *B. crenatus* se trouve.

De même, l'hypothèse des affinités biogéographiques ne peut être évoquée en raison de la distribution très large, du moins sur l'ensemble de la Manche, pour *Aeolidia papillosa*, *Aonides oxycephala*, *Eulalia mustela*, *Flabelligera affinis*, *Harmothoe fragilis*, *Harmothoe impar*, *Liocarcinus holsatus*, *Pholoe baltica*, *Phyllodoce longipes*, *Malmgreniella arenicolae*, *Mysta picta*, *Syllis gracilis*, *Tritonia plebeia* et *Trivia arctica* (Bouchet et Tardy, 1976, Graham, 1988, Moysse et Smaldon, 1990, Dauvin *et al.*, 2003, ERMS, 2009⁷).

Autre exemple, celui de *Liocarcinus holsatus*, qui est une espèce effectuant des migrations, allant dans les estuaires au printemps et repartant dans des eaux plus profondes durant les mois froids de l'hiver afin d'éviter les trop faibles températures (Venema et Creutzberg, 1973). Or, les deux assemblages des cailloutis (*L. holsatus* est caractéristique de celui du détroit du Pas de Calais mais pas de celui du pays de Caux) n'ont pas été échantillonnés en même temps (en avril à juin 2004 pour le premier et en février à mars 2006 pour le second). De plus, c'est une espèce qui n'est pas inféodée aux cailloutis (Moysse et Smaldon, 1990).

Chaque espèce mériterait une étude particulière pour trancher mais cela n'est guère faisable. En revanche, dans le chapitre 6, une modélisation de l'habitat potentiel a été réalisée pour une sélection de 22 taxa. Elle prend en compte les paramètres hydromorphosédimentaires et thermiques.

⁷ <http://www.marbef.org/>, consulté le 01 septembre 2009

CHAPITRE V – DIVERSITE BIOLOGIQUE DANS
LE BASSIN ORIENTAL DE LA MANCHE

La biodiversité est aujourd'hui devenue un enjeu important de l'écologie. Cet intérêt s'est accru depuis juin 1992, date à laquelle s'est tenue la conférence des Nations Unies pour l'environnement et de développement à Rio de Janeiro, mais aussi avec la prise de conscience des effets du réchauffement climatique et des risques d'extinction engendrés par les activités humaines.

Le terme de biodiversité a été inventé en 1986 par le National Research Council (NRC), suite au premier forum américain sur la diversité biologique émanant d'un article de Wilson, en 1985, sur le même thème (Wilson, 1985). Bien qu'elle soit souvent réduite à la notion d'espèce, la biodiversité est définie comme la diversité de toutes les formes du vivant (des gènes à l'écosystème). La diversité biologique ou biodiversité a quatre niveaux d'organisation :

- la diversité génétique avec le gène comme l'unité fondamentale de l'évolution, car c'est le maillon de base de la sélection naturelle
- la diversité spécifique avec le nombre et l'abondance des espèces comme unités de mesure
- la diversité des écosystèmes avec le nombre d'habitats ;
- la diversité des fonctions assurées par les différentes espèces.

En écologie des communautés, la diversité spécifique est l'axe central de recherche. *In situ*, l'espèce, qui correspond à l'ensemble des individus capables de se reproduire entre eux, est l'unité la plus facilement accessible et étudiable. La diversité spécifique est appréhendée par les mesures du nombre d'espèces (richesse spécifique) et d'autres indices (indice de diversité de Shannon, indice d'équitabilité de Pielou, ...), dérivant de la théorie de l'information. Mais ces mesures réduisent la biodiversité, au sens entendu par la Convention sur la diversité biologique, à un nombre d'espèces. Pourtant, ce sont souvent les différences entre les espèces et leurs interactions qui assurent certaines fonctions de l'écosystème, comme par exemple la résilience des écosystèmes (Duelli, 1997, Diaz et Cabido, 2001). Actuellement, les mesures de biodiversité sont complétées par les traits d'histoire de vie des espèces et leurs réponses écologiques à certaines variations de l'environnement afin de mieux évaluer le rôle de la diversité dans le fonctionnement des écosystèmes (Lamont, 1995, Palmer et Maurer, 1997, Tilman, 1999a, Loreau *et al.*, 2001, Lavorel et Garnier, 2002).

La biodiversité du milieu marin présente plusieurs spécificités par rapport au reste du vivant. Il faut d'abord noter un léger retard de connaissances par rapport au milieu terrestre, qui présente plus de facilités d'études. La biodiversité marine revêt pourtant une importance fondamentale, notamment pour le fonctionnement de la biosphère. La vie sur Terre a d'ailleurs commencé dans les océans. Certains groupes sont exclusivement marins. Il apparaît donc nécessaire d'étudier le milieu marin afin de fournir les connaissances de base nécessaires pour l'élaboration de ses différents plans de gestion et de conservation.

Les diversités spécifiques des principaux assemblages sont ci-après présentées et comparées au travers de différents indices de diversité (richesse spécifique, H' , Pielou, N_1) et via différentes méthodes (courbes aires espèces). Les assemblages I, II, III, IV et LII issus de l'analyse présentée dans la partie IV.1.2.2.c. (matrice MVES pour les années 2004-2007, cartographiée à la Figure 65) sont utilisés pour l'analyse des sédiments grossiers (c'est-à-dire les cailloutis et les graviers ensablés), l'assemblage XII pour les sables grossiers et les assemblages V et LVII pour les sables moyens.

V.1. Richesse spécifique, RS

La richesse spécifique a été calculée avec tous les taxa possibles, qu'ils soient dénombrables ou non. Il faut également noter que le terme richesse spécifique est un abus de langage : il faudrait en effet plutôt parler de richesse taxonomique car différents niveaux taxonomiques sont pris en compte dans le calcul de RS.

Toutes les stations de l'assemblage des sables moyens ont une richesse spécifique inférieure à 50. La quasi-totalité (178 des 179 stations) de celles de l'assemblage des sédiments plus grossiers (cailloutis et graviers ensablés) ont une richesse spécifique plus élevée ($RS > 50$). Quant aux stations de l'assemblage des sables grossiers, elles occupent une position intermédiaire avec une richesse spécifique comprise entre 40 et 80 (Figure 87). Cette différence semble pouvoir s'expliquer par le fait que les sédiments plus grossiers offrent de nombreux micro-habitats et également des interstices dans lesquels des sédiments plus fins peuvent se déposer, permettant en certains endroits l'installation d'espèces affines de ces sédiments fins. Il résulte de cette différence de diversité entre les assemblages que la richesse spécifique est plus forte dans la veine centrale, ainsi qu'au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais (zone de cailloutis) et qu'elle est plus faible dans les zones de bancs de sable au sud du détroit et dans le sud de la mer du Nord (Figure 88). De plus, cette constatation est étayée par le fait que 22 % de la variabilité de la richesse spécifique est expliquée par la profondeur ($p < 0,001$; Figure 89).

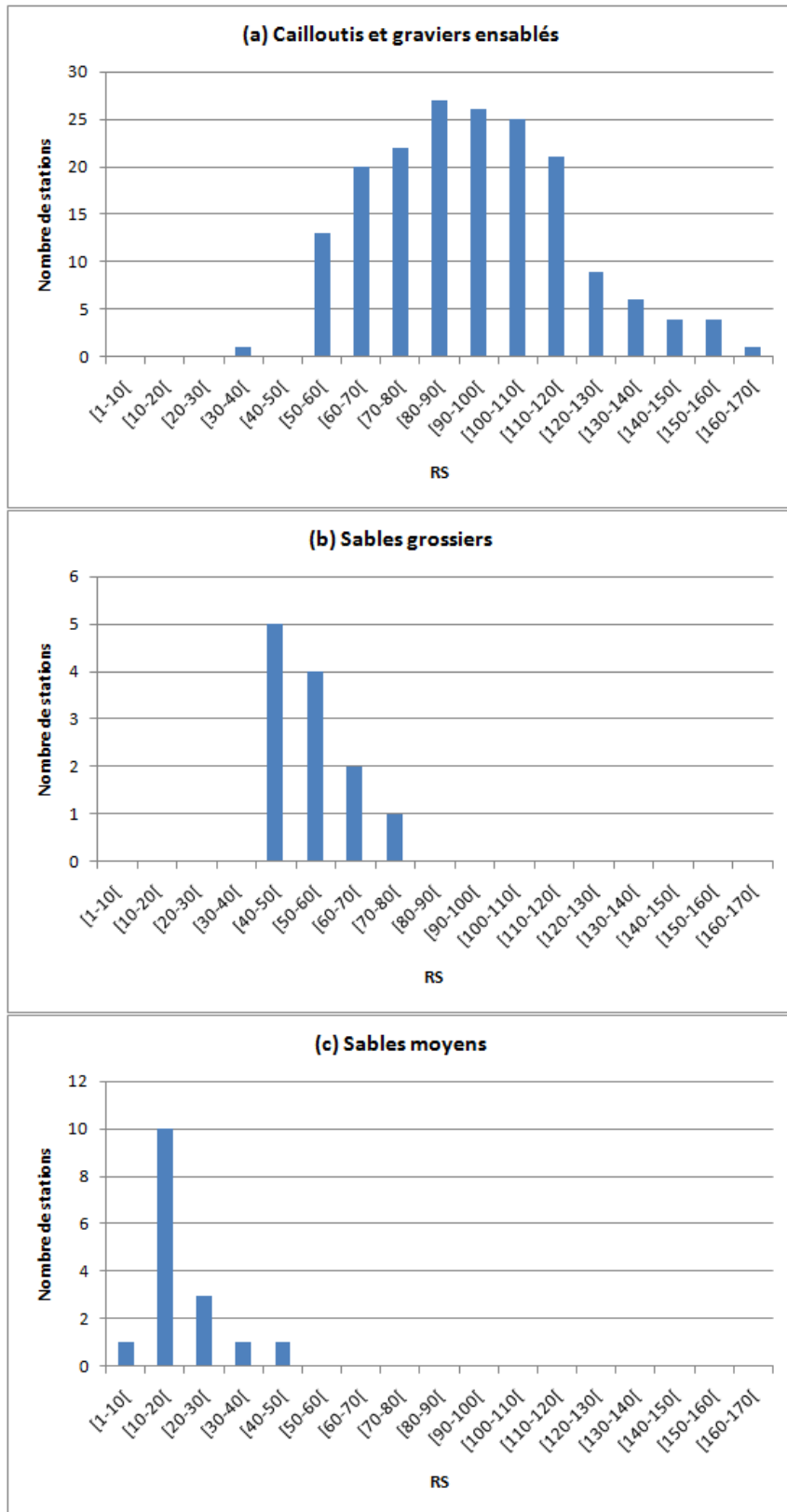


Figure 87 : Histogrammes du nombre de stations en fonction de la richesse spécifique.

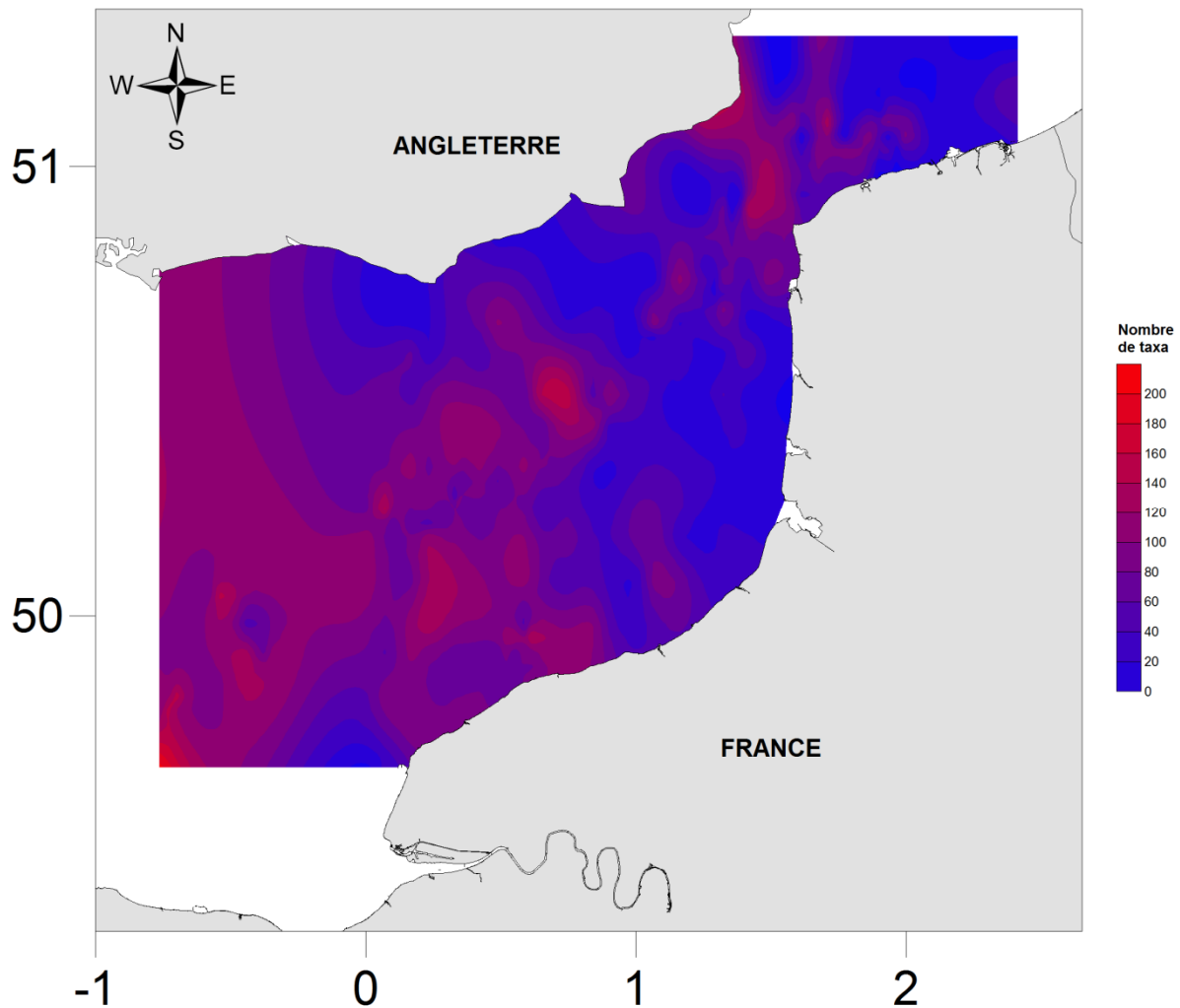


Figure 88 : Répartition de la richesse spécifique.

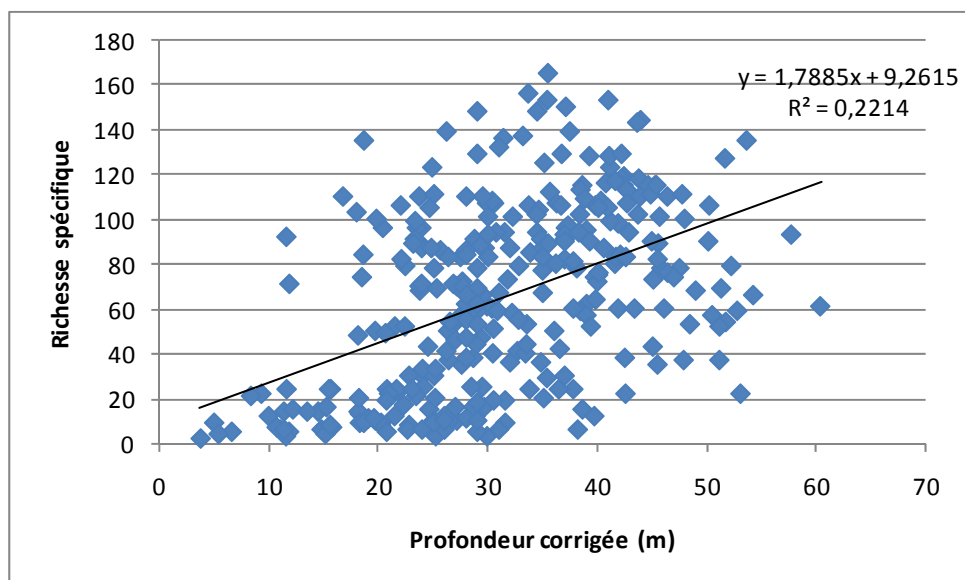


Figure 89 : Relation entre la profondeur et la richesse spécifique.

La répartition des espèces non dénombrables, appartenant au compartiment de l'épibiose sessile, montre que ces dernières sont principalement inféodées aux zones de cailloutis au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais (Figure 90).

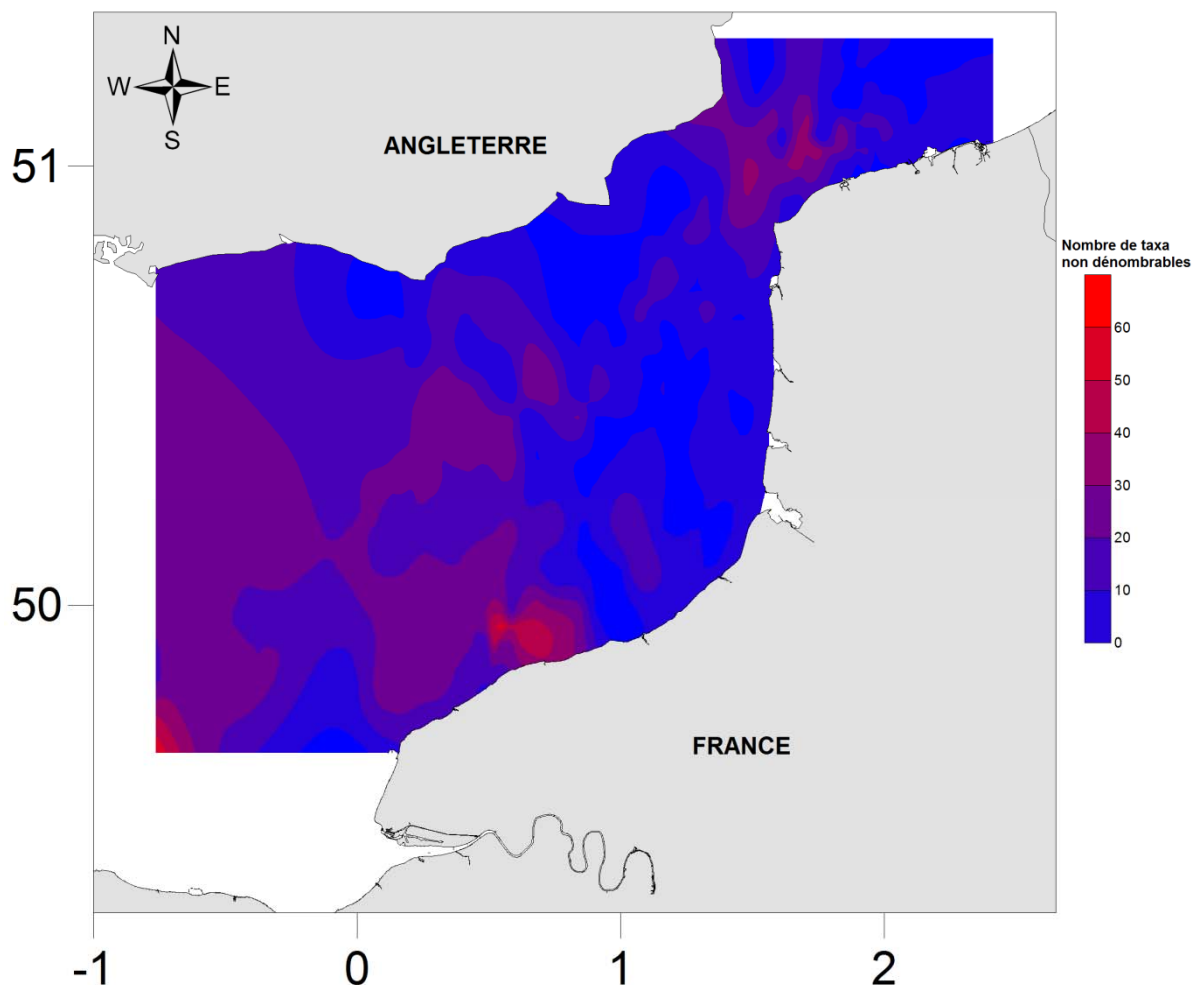


Figure 90 : Répartition géographique des espèces non dénombrables.

Sur l'ensemble des 318 stations échantillonnées, 280 087 individus ont été dénombrés. Un total de 875 taxa a été identifié. Les différents taxa se répartissent comme suit (Tableau 32) : annélides polychètes (28,69%), arthropodes (26,74%), mollusques (18,17%), bryozoaires (8,23 %) et cnidaires (6,29%).

Tableau 32 : Richesse spécifique des différents groupes zoologiques.

	Annelida	Arthropoda	Mollusca	Bryozoa	Cnidaria	Porifera	Echinodermata	Chordata	Autres
Richesse spécifique	251	234	159	72	55	31	23	15	30
%	28,69	26,74	18,17	8,23	6,29	3,54	2,63	1,71	3,43

Les valeurs de richesse spécifique absolue obtenues avec les deux estimateurs non paramétriques Chao1 et Chao2 sont respectivement de $883,22 \pm 39,70$ taxa et de $906,73 \pm 37,86$ taxa, donc supérieures à la valeur mesurée de 875 taxa (Figure 91). Les deux estimateurs ont tendance à surestimer la richesse spécifique, Chao2 ayant tendance à plus la surestimer que Chao1. Cependant, les deux courbes ne tendent pas vers une asymptote, ce qui signifie que la richesse spécifique reste encore sous-estimée.

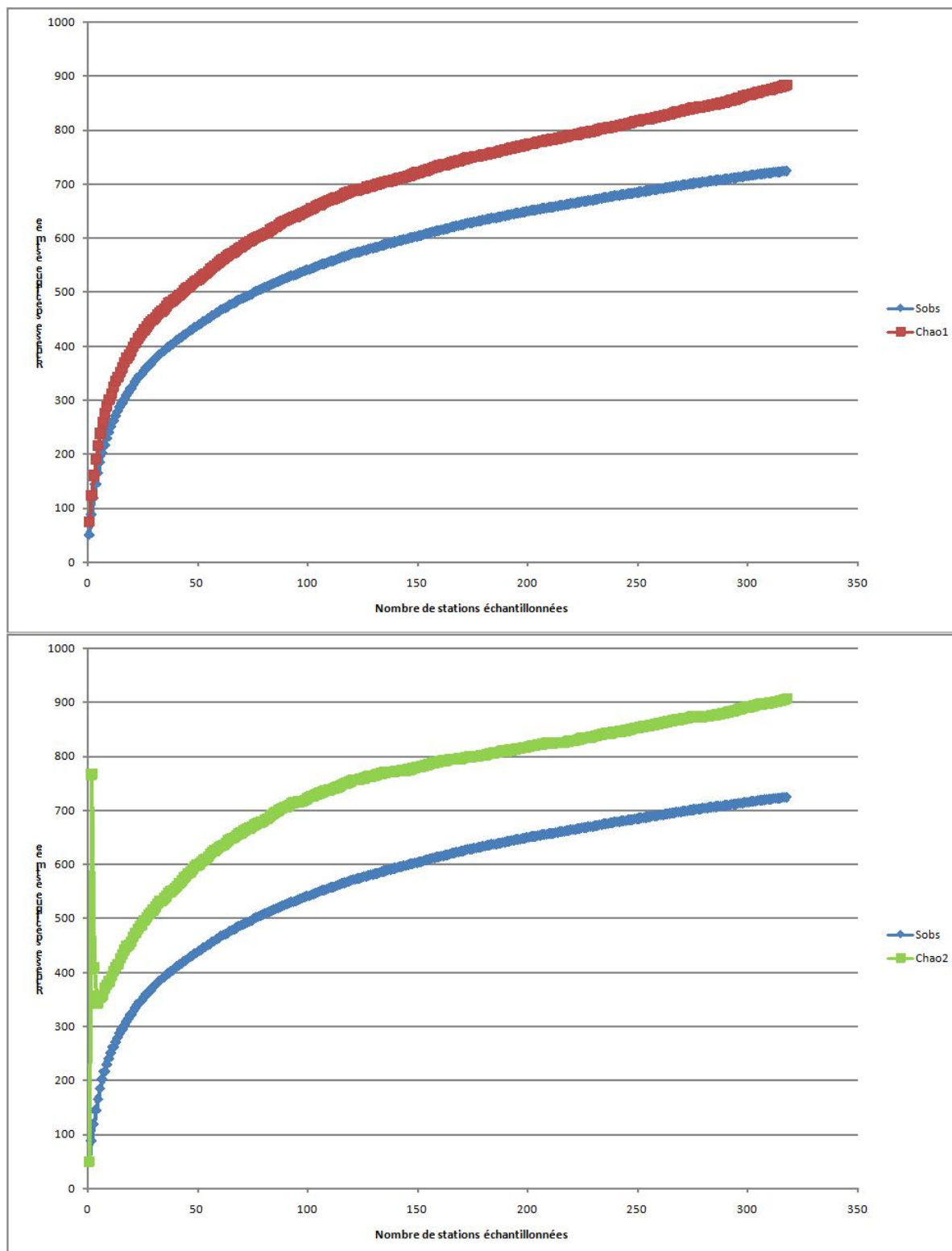


Figure 91 : Courbes aire-espèce (en haut : Chao1, en bas : Chao2).

La valeur de richesse spécifique absolue estimée à l'aide de l'estimateur mis au point par Ugland et collaborateurs (Ugland *et al.*, 2003) est la même que celle de la richesse spécifique observée recalculée avec le logiciel Primer (725 taxa ; Figure 92), valeur inférieure à la valeur de richesse spécifique observée (875 taxa).

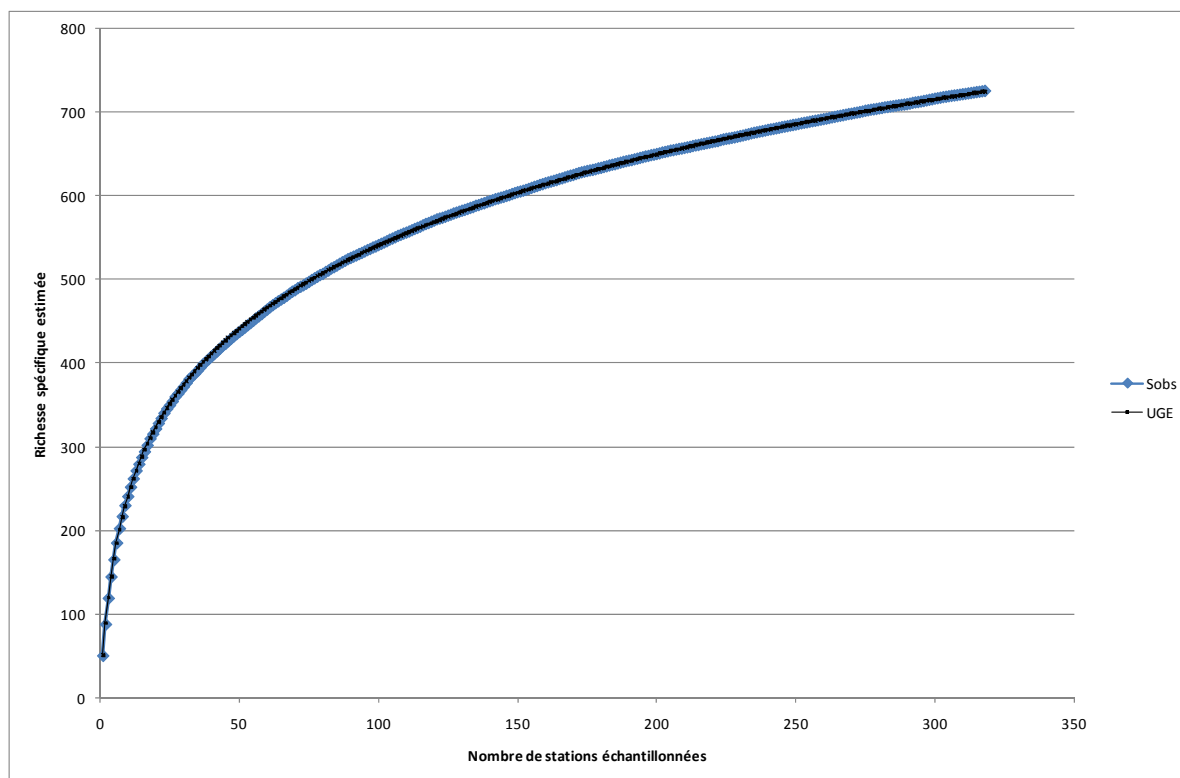


Figure 92 : Richesse spécifique estimée en fonction du nombre de stations échantillonnées, avec l'estimateur de Ugland *et al.*, 2003.

V.2. Indice de diversité de Shannon et N1

Toutes les stations de l'assemblage des sables grossiers et la plupart (126 des 179 stations) de celles de l'assemblage des sédiments plus grossiers (cailloutis et graviers ensablés) ont une diversité spécifique élevée ($H' > 4$ bits). Aucune de l'assemblage des sables moyens n'atteint un tel niveau de diversité (Figure 93). Cette différence semble pouvoir s'expliquer par la présence de l'épibiose sessile qui fournit au reste de la faune des micro-habitats. Pour étayer cette hypothèse, un graphique représentant H' (calculé uniquement à partir des espèces dénombrables) en fonction du nombre d'espèces non dénombrables a été réalisé (Figure 94). La relation entre le nombre d'espèces non dénombrables et l'indice de Shannon est significative à 1 % : plus l'indice de Shannon est élevé, plus il y a d'espèces non dénombrables identifiées à notre échelle d'observation. L'indice de Shannon est également significativement lié à la profondeur ($p < 0,001$), celle-ci permettant d'expliquer 21,8 % de la variabilité de cet indice à notre échelle d'observation (Figure 95). Ainsi, plus la profondeur est élevée, plus la zone est diversifiée, ce qui ici s'observe par une plus forte diversité dans la veine centrale (avec néanmoins de fortes diversités au large du pays de Caux et dans le détroit du Pas de Calais) et une plus faible diversité dans les zones de bancs de sable au sud du détroit et dans le sud de la mer du Nord (Figure 96).

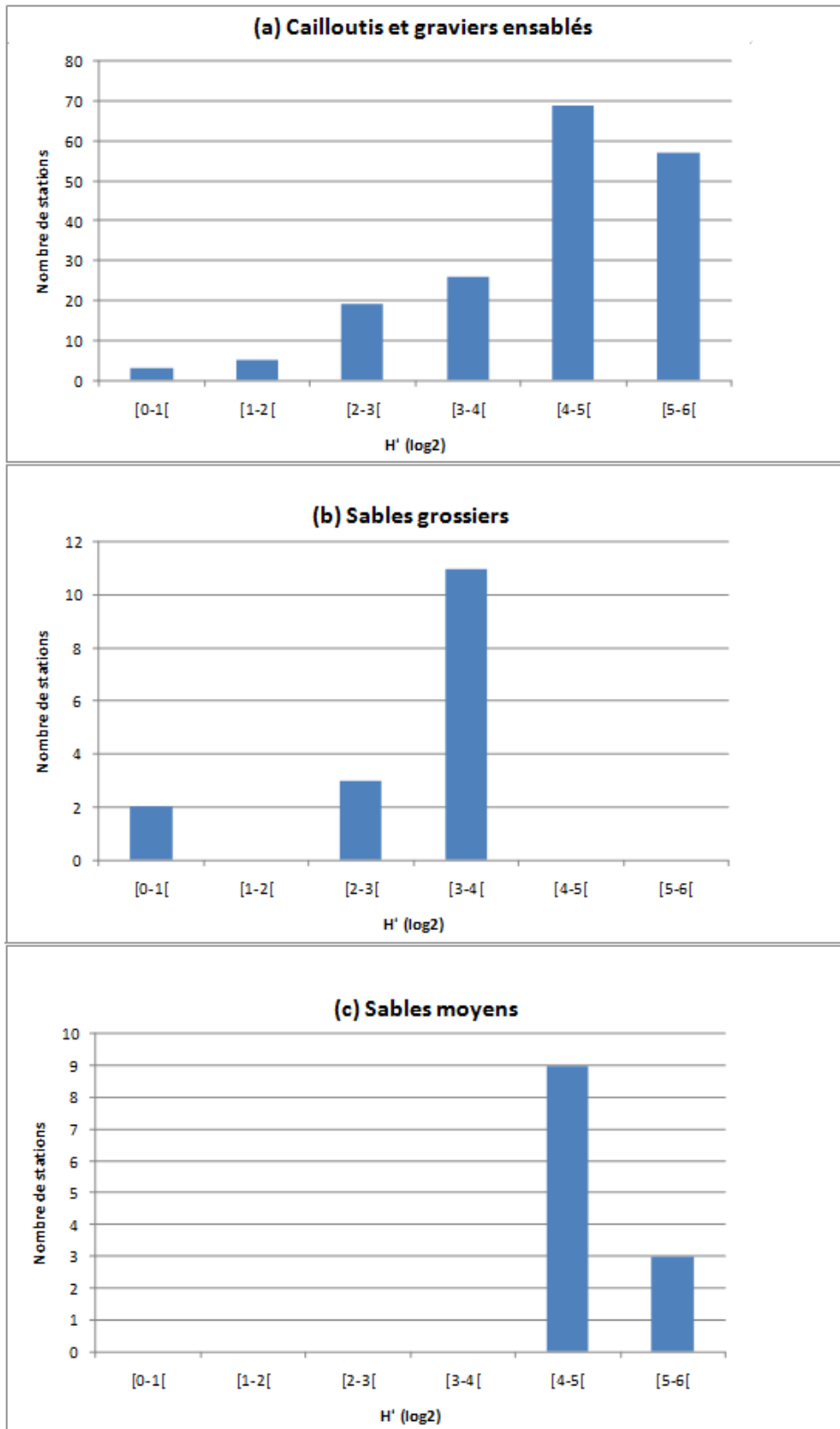


Figure 93 : Histogrammes du nombre de stations en fonction de l'indice de Shannon.

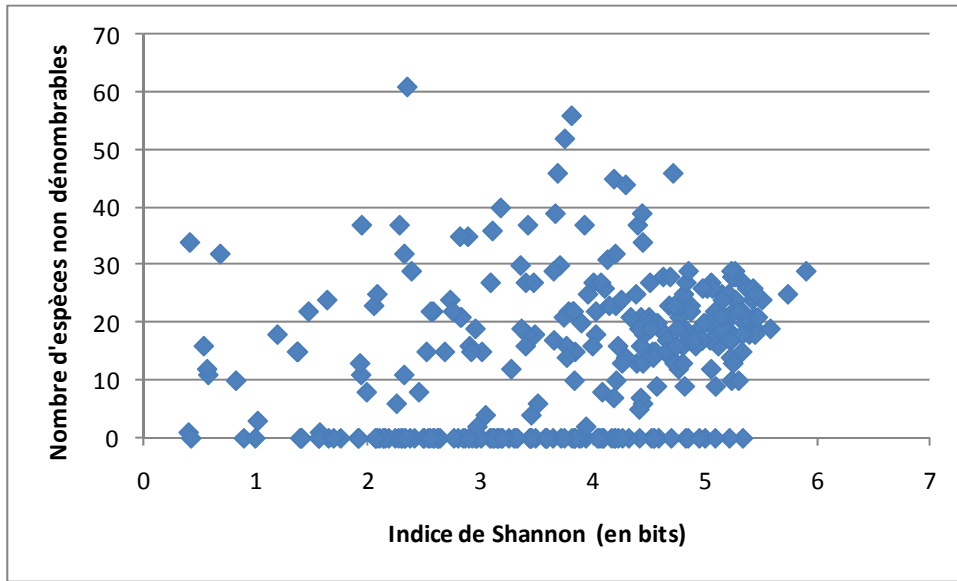


Figure 94 : Relation entre l'indice de Shannon et le nombre d'espèces non dénombrables.

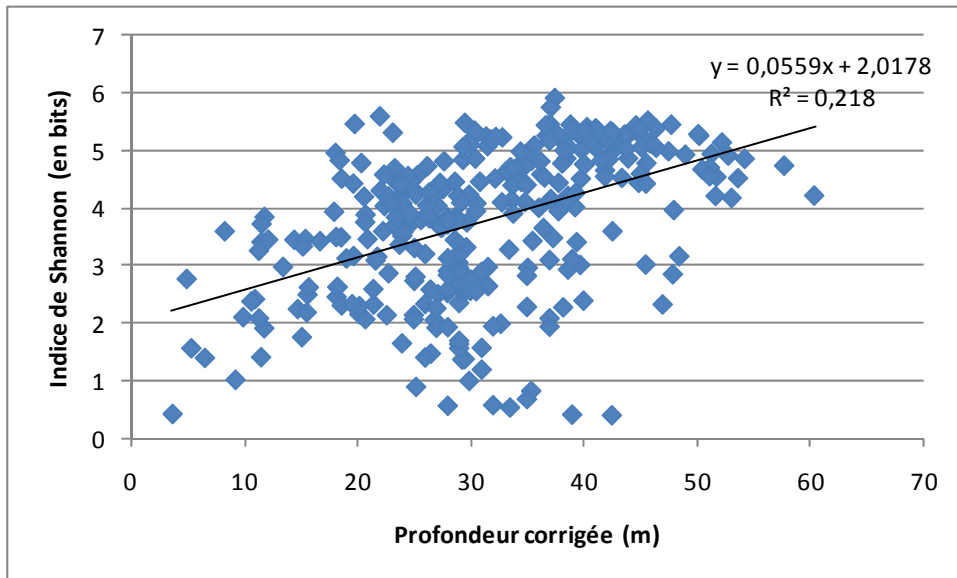


Figure 95 : Relation entre l'indice de Shannon et la profondeur.

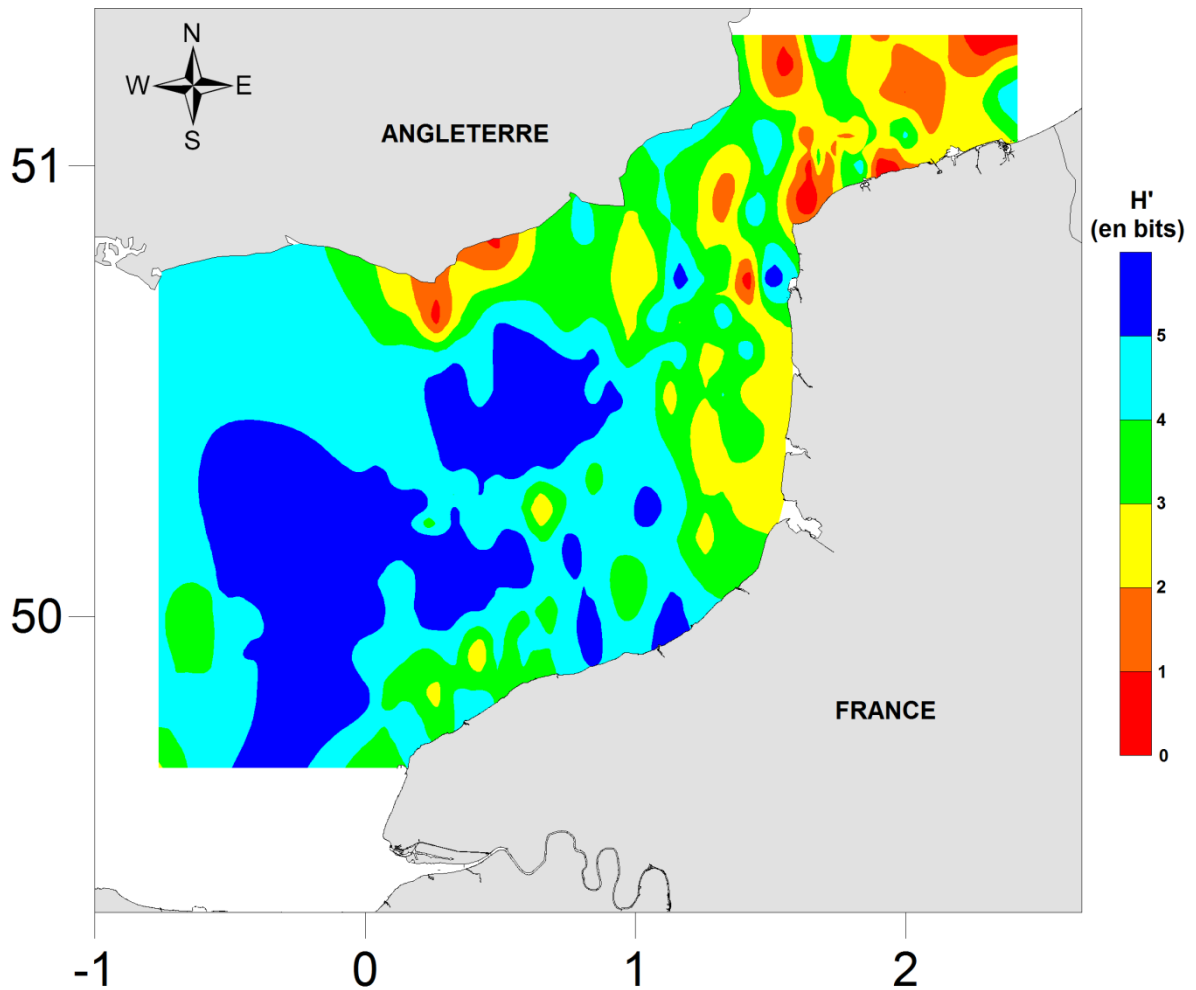


Figure 96 : Répartition de l'indice de Shannon dans le bassin oriental de la Manche.

La pondération de la répartition de l'indice de Shannon par le nombre de Hill N_1 permet de discriminer les zones à fortes valeurs de diversité (Figure 97). Le calcul du nombre de Hill N_1 pourrait être remplacé par une représentation cartographique plus fine, avec par exemple des isolignes plus nombreuses, des fortes valeurs de H' afin de montrer la variabilité.

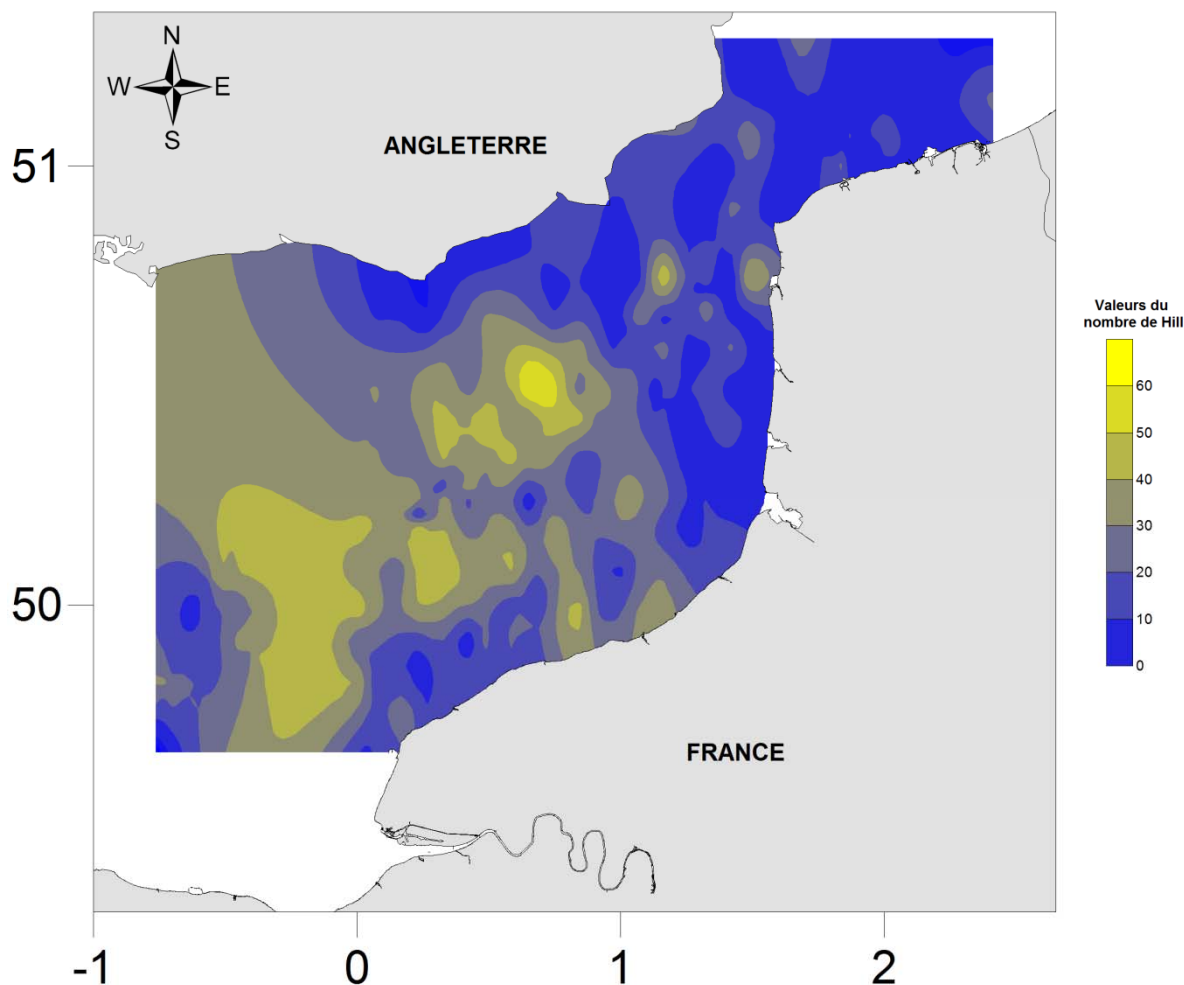


Figure 97 : pondération de la répartition de l'indice de Shannon par le nombre de Hill N_1 .

Comme la stratégie d'échantillonnage servant de base à ce travail a été faite sur plusieurs mois, la question de la variation de l'indice de Shannon à différentes périodes de prélèvement peut se poser. Pour répondre à ce questionnement, une analyse a été faite sur le jeu de données des campagnes BEMACE, qui comportent des stations en juin et en septembre. En moyenne, l'indice de Shannon varie de 7 % entre juin et septembre. De plus, cette variation peut se faire aussi bien dans le sens de la perte de diversité que dans le sens d'un gain de diversité. Un échantillonnage à différentes dates ne semble donc pas poser de problèmes pour estimer la diversité.

V.3. Equitabilité

L'équitabilité a été représentée dans ce travail sous forme de carte (Figure 98). Cet indice rend compte de la répartition des individus dans les espèces : plus il est élevé, moins il y a de phénomène de dominance. Sur la zone étudiée, l'équitabilité est en moyenne élevée (0,7), ce qui indique que les individus sont bien répartis dans les espèces ; exception faite des stations situées dans le détroit du Pas de Calais.

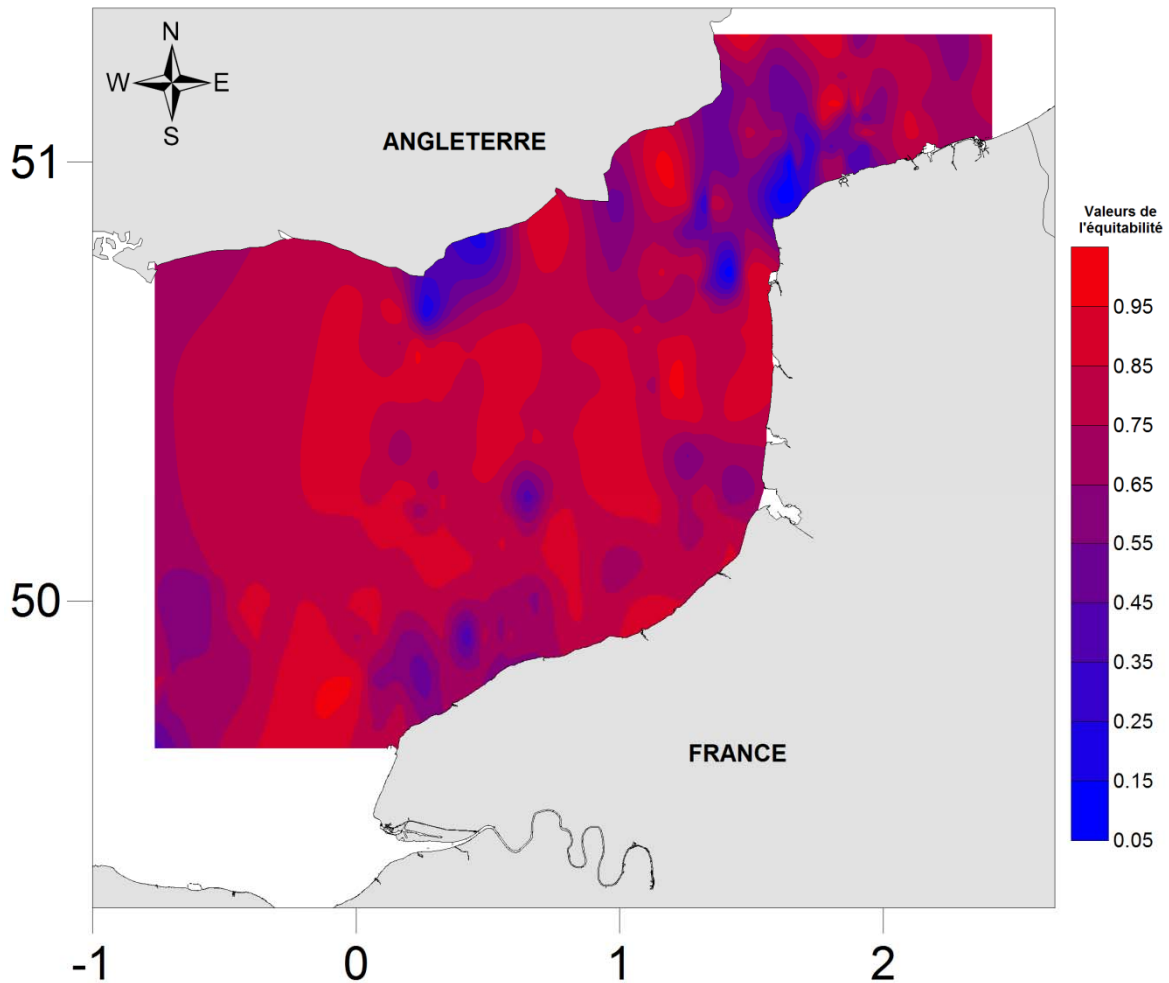


Figure 98 : Répartition géographique de l'équitabilité dans le bassin oriental de la Manche.

V.4. Evolution de la diversité le long d'un gradient théorique sud-ouest/nord-est

Lors du premier colloque international sur la biodiversité marine en novembre 2008, le thème de la distribution des espèces dans le bassin oriental de la Manche a fait l'objet d'une présentation au cours de laquelle nous avons choisi de ne s'appuyer que sur les 224 stations représentatives des sédiments grossiers. Les résultats présentés lors de cette conférence sont ici rapportés.

Tout d'abord, la distribution des 814 taxa récoltés sur ces 224 stations a été étudiée. Aucune espèce n'était présente sur la totalité de la zone étudiée. 15 % des taxa (125 taxa) sont présents dans plus de 50 stations (Figure 99). 184 espèces, soit 22 % des 814 taxa, sont restreintes à une station (taxa unique) et 269 taxa (33 % des 814 taxa) sont présentes seulement deux stations (taxa doubles).

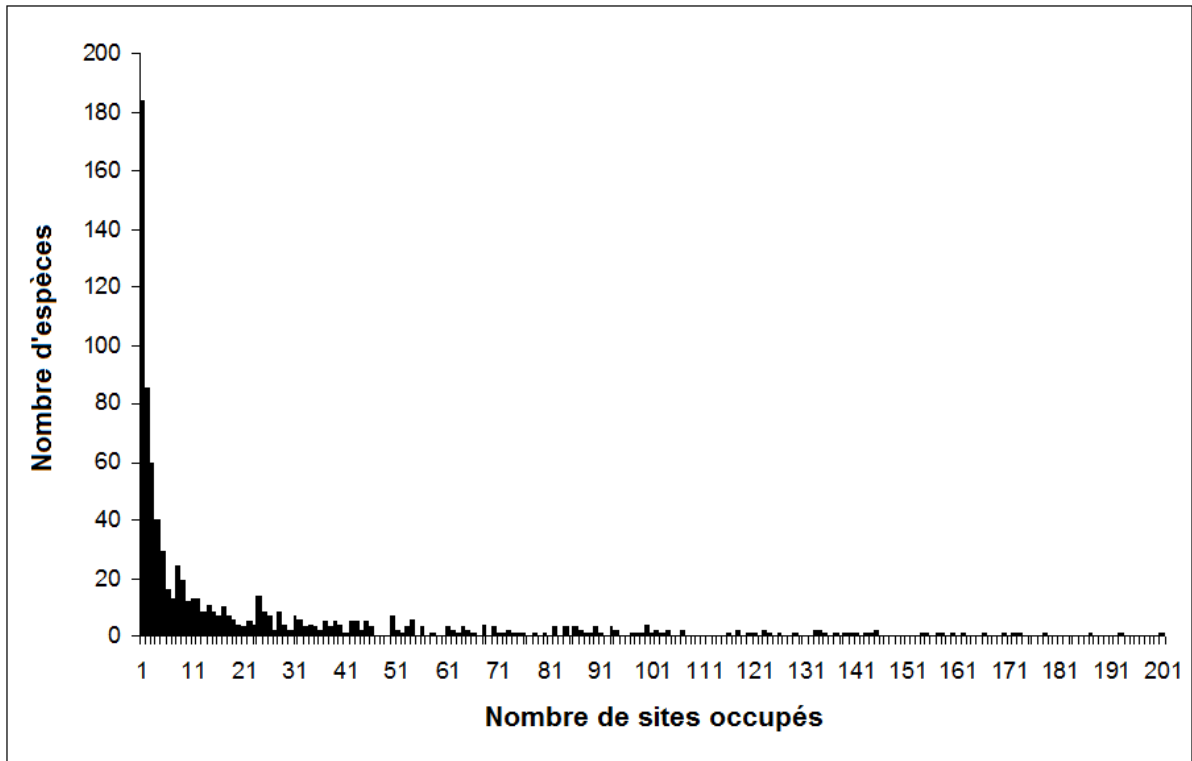


Figure 99 : Distribution du nombre d'espèces en fonction du nombre de stations.

Les espèces les plus représentées sur les 224 stations sont l'annélide *Pomatoceros triqueter* et les bryozoaires *Escharella variolosa* et *Disporella hispida*.

Ensuite, l'étude de l'évolution de la richesse spécifique le long d'un axe virtuel de 156 km a été effectuée. Cet axe virtuel traverse la zone étudiée du sud-ouest au nord-est. La courbe de l'accumulation des espèces le long de cet axe montre une progression par paliers jusqu'au maximum de 814 taxa (Figure 100).

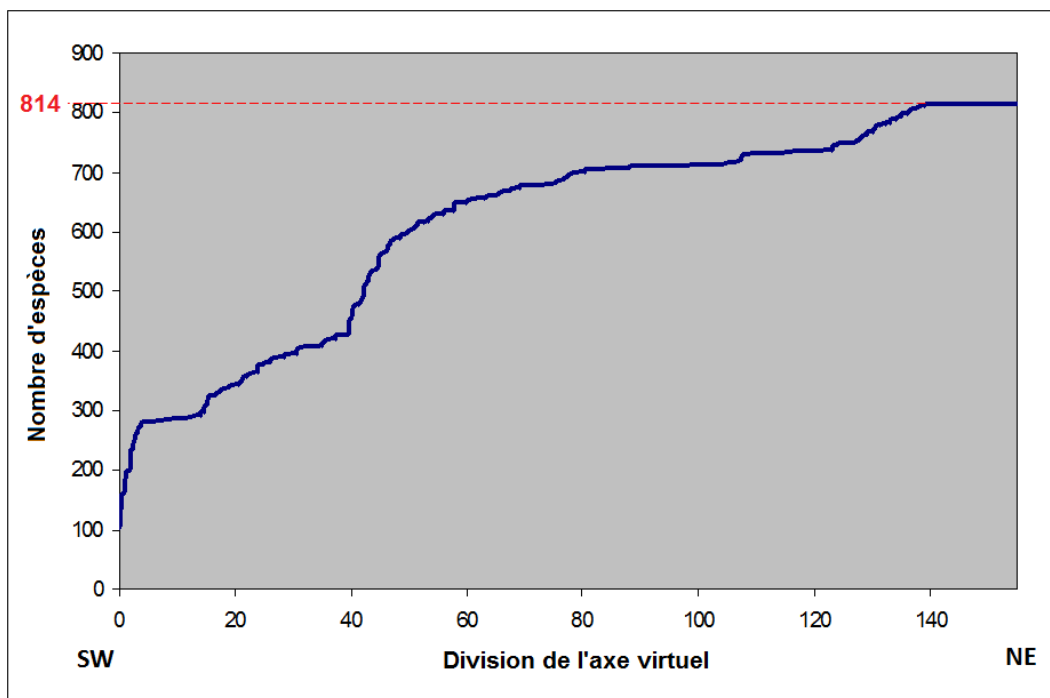


Figure 100 : Courbe du nombre d'espèces cumulées le long de l'axe virtuel.

Afin de voir comment cette accumulation d'espèces s'opérait le long du gradient, il a été choisi de le diviser suivant deux techniques :

Pour avoir un même effort d'échantillonnage, l'axe virtuel de 156 km a été divisé en 14 classes de 16 stations chacune. Avec ce découpage, aucun gradient n'est observé (Figure 101).

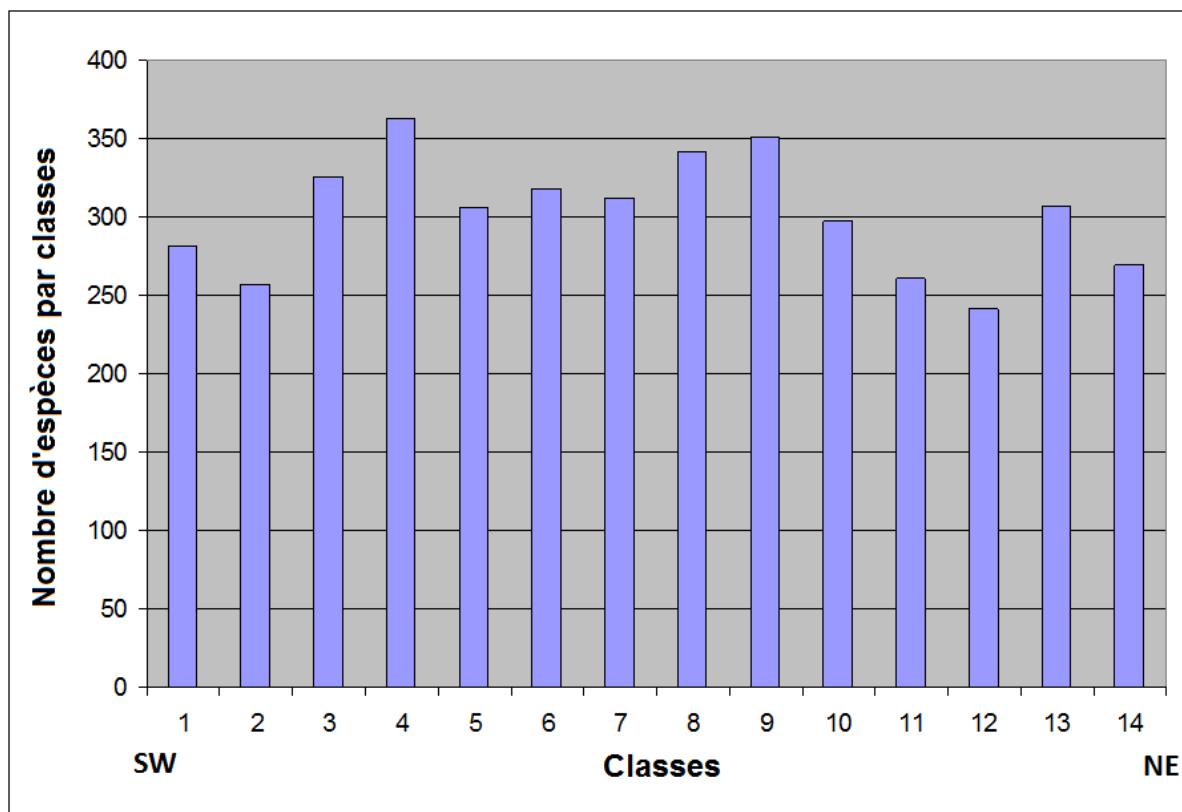


Figure 101 : Nombre d'espèces pour chacune des classes d'égal effort d'échantillonnage le long de l'axe virtuel.

Pour avoir des classes d'équidistance, l'axe virtuel a été divisé en 10 classes de 15,6 km chacune. Ce découpage révèle un gradient du sud-ouest vers le nord-est. Ce gradient met en évidence des zones de forte richesse spécifique telles que le détroit du Pas de Calais, où jusqu'à 450 espèces peuvent être observées (Figure 102).

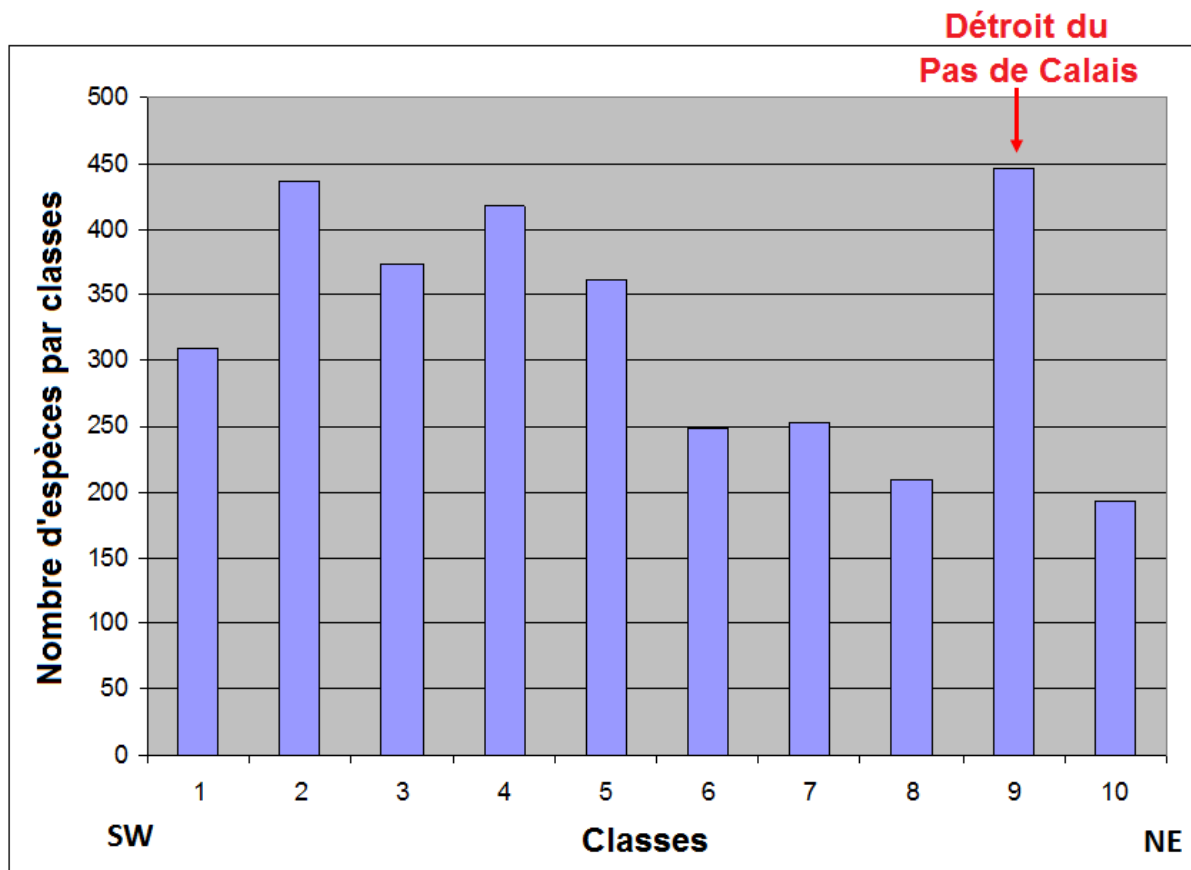


Figure 102 : Nombre d'espèces par classes de même distance le long de l'axe virtuel.

La répartition des espèces le long de ce gradient peut également être observée. En divisant l'axe virtuel en sections de 1 km auxquelles le nombre de taxa est affecté, une courbe en forme de cloche est obtenue (Figure 103). Ce type de courbe est à rapprocher de celles observées dans le cas du « mid-domain effect ». Cet effet est observé dans les travaux sur les modèles nuls (Colwell et Lees, 2000). Ceux-ci disposent de façon aléatoire la distribution de chaque espèce dans un domaine borné : il y a alors un recouvrement des espèces. Un fort recouvrement a alors lieu au centre du domaine étudié, se traduisant par un profil unimodal de la richesse spécifique.

458 taxa peuvent potentiellement être observés sur cette zone (224 stations de sédiments grossiers) ; le maximum pour une station étant de 142 taxa. Les valeurs minimales à chaque extrémité de la courbe en cloche représentent peut-être les espèces septentrionales et boréales. Une courbe cumulative a également été bâtie. Cette courbe souligne qu'il n'y a pas de barrière géographique sur la zone étudiée car aucun point d'inflexion n'est observé ; peut-être parce que le turn-over sur la zone entre les espèces septentrionales et les espèces boréales est égal.

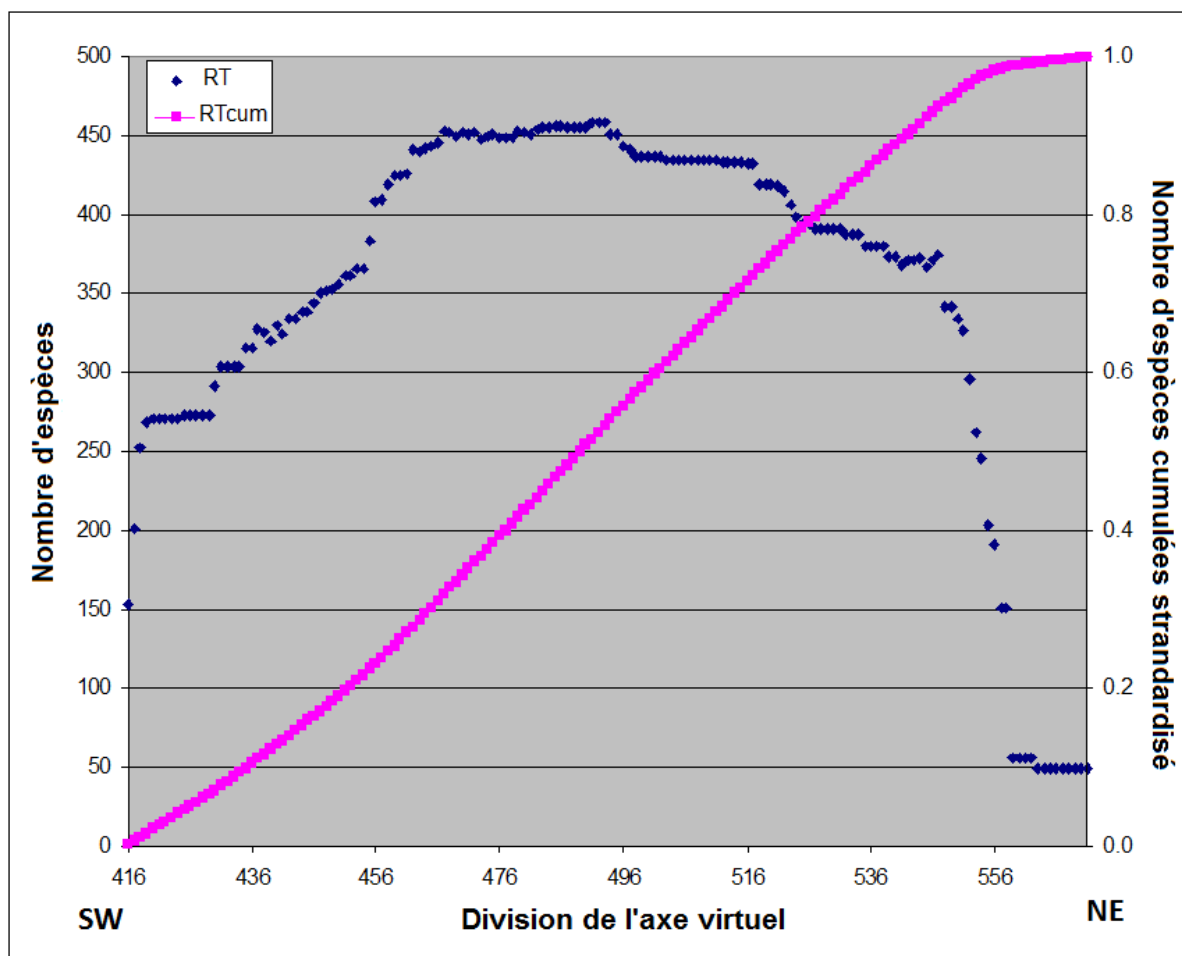


Figure 103 : Evolution de la richesse taxonomique le long de l'axe virtuel.

Grâce à cette division finie de l'axe virtuel, la fourchette de répartition des espèces peut être déterminée. Ainsi, l'évolution de la distribution d'une espèce dans le bassin oriental de la Manche peut être étudiée, par exemple pour suivre l'évolution des espèces introduites ou la progression septentrionale des espèces suite à des modifications des conditions environnementales. Prenons deux exemples pour illustrer ces propos :

- *Lumbrineriopsis paradoxa* est une espèce d'affinité tropicale qui n'a pas été trouvée par Cabioch et ses collaborateurs lors de leur inventaire dans les années 70. Aujourd'hui, cette espèce s'étend des zones de graviers ensablés au large de Dieppe jusqu'aux cailloutis du détroit du Pas de Calais (Figure 104).

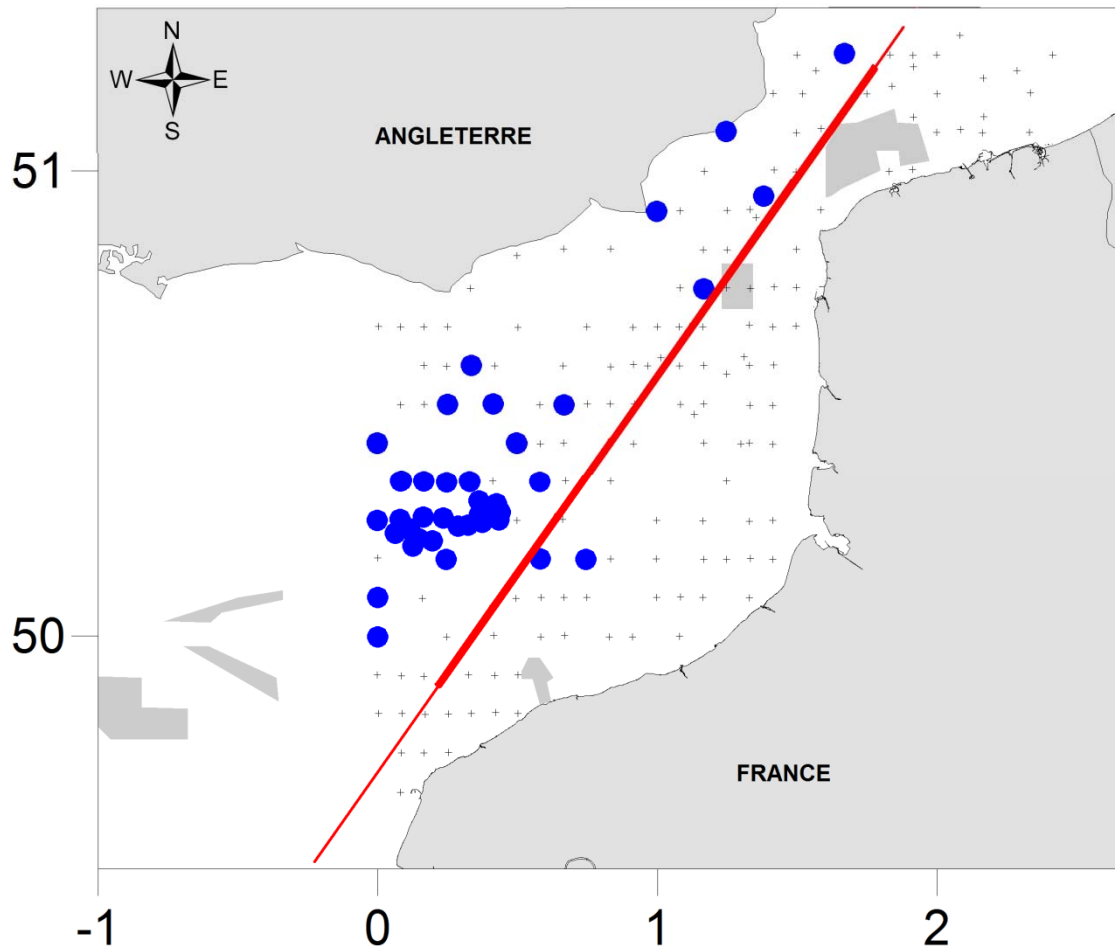


Figure 104 : Localisation des occurrences de *Lumbrineriopsis paradoxa* pour la période 2004-2007 (points bleus) et projection sur l'axe artificiel (en gras rouge).

- *Rhynchozoon bispinosum* : ce bryzoaire a été observé par Cabioch (Cabioch *et al.*, 1977) jusqu'au sud du détroit du Pas de Calais, avant la zone des Ridens (Figure 105). Actuellement, cette espèce se trouve au-delà de la zone des Ridens (Figure 106). Des observations personnelles, réalisées sur des stations au large de Boulogne-sur-Mer et non intégrées dans cette étude, répertorient également cette espèce. En trente ans, cette espèce a vu sa distribution évoluer vers le nord.

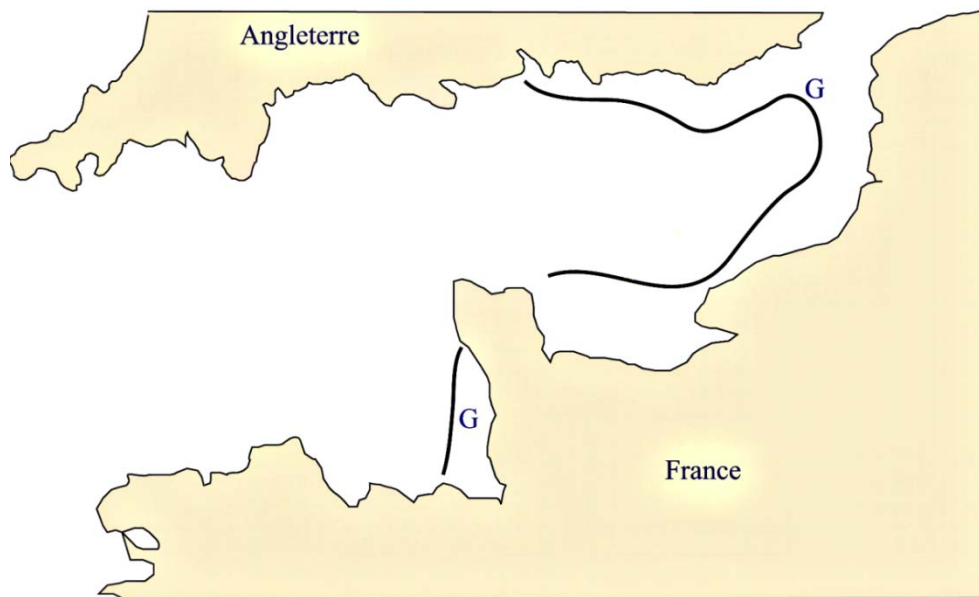


Figure 105 : Distributions climatiques de *Rhynchozoon bispinosum* (d'après Cabioch et al., 1977).

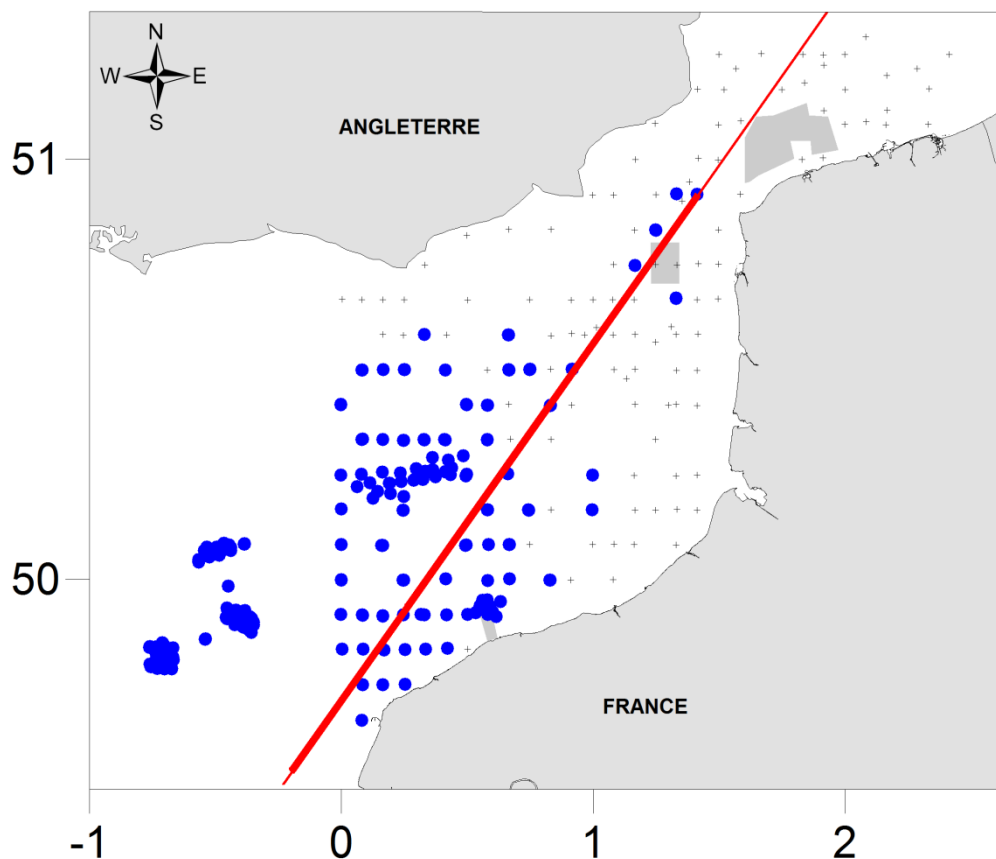


Figure 106 : Localisation des occurrences de *Rhynchozoon bispinosum* pour la période 2004-2007 (points bleus) et projection sur l'axe artificiel (en gras rouge).

Les échantillonnages menés au cours des deux périodes ont permis de dresser une liste de 792 taxa (hors épifaune sessile, Annexe 3) sur la zone d'étude.

Trois cas peuvent se présenter pour ces 792 taxa :

- Ils peuvent être présents au cours des deux périodes sur la zone d'étude, ce qui est le cas pour 45% des taxa ;
- Ils peuvent n'avoir été trouvés qu'à la période 1971-1976 (15 % des taxa) ;
- Et enfin, ils peuvent n'avoir été récoltés qu'à la période 2004-2007, ce qui est le cas pour 45% des taxa.

Parmi les taxa qui n'ont été trouvés qu'à une des deux périodes, plus de 75% d'entre eux correspondent à des taxa rares (trouvés sur moins de 31 stations dans la zone d'étude pour la période 1971-1976 et sur moins de 16 stations pour la période 2004-2007). Ces taxa dits rares peuvent être difficiles à déceler et avoir été observés à une période et pas à l'autre. Pour la période 1971-1976, les huit taxa qui ne rentrent pas dans les critères des taxa dits rares sont *Corystes cassivelaunus*, *Thyone fusus*, *Glycera convoluta*, *Pholoe minuta*, *Liocarcinus*, *Scolecopsis bonnieri*, *Spisula (Spisula) ovalis* et *Nephtys longosetosa*.

Pour la période 2004-2007, 67 taxa ne rentrent pas dans ces critères. Les taxa présents sur plus de 100 stations sont *Ampharete baltica*, *Autolytinae*, *Laonice bahusiensis*, *Chaetozone gibber*, *Scalibregma celticum*, *Polycirrus medusa*, *Pholoe baltica* et *Aonides paucibranchiata*. Parmi ces huit taxa, sept d'entre eux (l'exception étant *Aonides paucibranchiata*) sont des taxa qui présentent ou ont présenté des problèmes d'identification.

V.5. Discussion

Il a été vu au chapitre II que 875 taxa ont été trouvés pour la période récente avec un effort d'observation d'uniquement 318 stations alors que pour la période historique 425 taxa seulement avaient été trouvés dans le même secteur géographique avec 606 stations prospectées. Cet apparent enrichissement spécifique (425 versus 875 taxa) est en partie imputable aux conditions de tri et de détermination très différentes entre les deux périodes ; les conditions de travail en laboratoire étant plus propice à une observation minutieuse qu'en mer. Il n'est cependant pas à exclure l'arrivée réelle de nouvelles espèces pour la zone. L'apparent enrichissement spécifique observé dans le bassin oriental de la Manche n'est pas un cas unique. A titre de comparaison, toujours en Manche, le nombre de taxa d'invertébrés connus en baie et en estuaire de Seine a plus que doublé entre 1976 et 2004, mais près de la moitié et un quart respectivement des taxa connus à ces deux périodes n'avaient pas été revus durant au moins 10 ans (Ruellet et Dauvin, 2008).

Ce chapitre a montré qu'il y a une très forte richesse spécifique dans le bassin oriental de la Manche: 875 taxa ont été identifiés sur les 318 stations des campagnes de la période 2004-2007 dépouillées à ce jour. De plus, les valeurs de l'indice de Shannon font partie des plus fortes rencontrées en Manche (le maximum avoisinant les 6 bits). A titre de comparaison, James *et al.* (2007) observent des valeurs d'indice de Shannon dans les graviers ensablés au large de l'île de Wight de 2,6 bits. Sanvicente-Añorve *et al.* (1996) ont étudié la diversité en Manche orientale d'après les données de L. Cabioch et ses collaborateurs. Ils ont montré que la diversité biologique est faible dans le détroit du Pas de Calais et le long des côtes sud de la France et de l'Angleterre. Ils ont aussi constaté qu'une structure particulière apparaissait au milieu du détroit du Pas de Calais, représentant un élément remarquable de la distribution de la diversité en Manche : elle est caractérisée par de fortes valeurs de richesse spécifique (>33) avec une forte dominance de certaines espèces. De plus, cette structure croise plusieurs types sédimentaires et plusieurs assemblages. Ces auteurs soulignent que cette structure est liée à un phénomène à plus grande échelle, de type hydrodynamique : le transport résiduel qui existe de la Manche vers le sud de la mer du Nord (Eckman, 1983, Nihoul *et al.*, 1989, Beck *et al.*, 1991, Grochowski *et al.*, 1993b). Ce phénomène conditionne également la dispersion larvaire, comme l'ont

démontré Dewarumez *et al.* (1993) et Luczak *et al.* (1993). Ce patron de distribution n'a pas été retrouvé dans cette étude. Au contraire, la richesse spécifique du bassin oriental de la Manche semble fortement liée aux types sédimentaires et aux assemblages en place. De plus, il ne semble pas y avoir de phénomènes de dominance car les valeurs de l'indice de Shannon et de l'équitabilité sont élevées (respectivement jusqu'à 6 bits et 0,95). Néanmoins, le phénomène de transport résiduel et de dispersion larvaire doit toujours s'opérer car les exemples de *Lumbrineriopsis paradoxa* et de *Rhynchozoon bispinosum* montrent une évolution de la distribution spatiale vers le nord-est. D'ailleurs, *Lumbrineriopsis paradoxa* est une espèce qui n'avait pas été observée dans les années 70. D'après Glémarec (1979), ces apparitions ou disparitions d'espèces peuvent être indicateurs de changements écologiques, eux-mêmes induits par des changements climatiques. Il a mis en évidence différentes périodicités dans les variations interannuelles des facteurs climatiques. Ces périodicités (alternance de périodes chaudes et froides par exemple) peuvent influencer sur la composition spécifique, la limite de distribution des certaines espèces pouvant répondre à des variations de température.

Dans ce travail, il a été montré que la plupart des taxa montrant une variation dans leur distribution sont des taxa dits rares. Leur probabilité de récolte est donc faible. Il faut ici tenir compte de la stratégie d'échantillonnage de cette étude. En effet, même si la zone d'étude est globalement la même que dans l'étude historique de L. Cabioch et ses collaborateurs, les stations échantillonnées ne se situent pas exactement au même endroit. Dans ce cas, si ces espèces rares sont des espèces de « spot » (Colwell et Coddington, 1994, Gray, 2000), leur domaine de distribution est très compressé dans l'espace : il est donc possible que même un échantillonnage précis ne permette pas de récolter ces espèces. De plus, une partie des espèces qui montrent ici une variation de leur distribution sont des espèces pour lesquelles des problèmes de détermination ont existé ou existent toujours (*Ampharete baltica*, *Laonice bahusiensis*, *Scalibregma celticum*...). Il est donc possible que d'une période à l'autre des variations existent dans la manière de déterminer certain taxon. Une des façons de remédier à ce problème serait d'effectuer des analyses génétiques sur tous les taxa problématiques (actuels et historiques si des individus ont été mis en collection) et de procéder à des redescriptions systématiques.

Afin d'arriver à un tel inventaire de la faune, un travail coûteux (sorties en mer, temps de tri) et nécessitant une expertise taxonomique a été réalisé. Afin de diminuer ces contraintes, des limitations peuvent être mises en œuvre :

- en amont sur le travail de détermination avec l'emploi de la suffisance taxonomique, qui doit néanmoins se limiter au niveau de la famille (Maurer, 2000, Dauvin *et al.*, 2003b, De Biasi *et al.*, 2003, Gomez Gesteira *et al.*, 2003, Terlizzi *et al.*, 2003, Dethier et Schoch, 2006, Chainho *et al.*, 2007, Mendes *et al.*, 2007, Terlizzi *et al.*, 2009) ;
- en aval, avec l'emploi d'estimateurs de la richesse spécifique absolue (Foggo *et al.*, 2003), tels que les indices Chao1 et Chao2.

Cependant, certaines études ont montré même si l'effort d'échantillonnage est porté à son maximum, la richesse spécifique absolue reste souvent sous-estimée (Ellingsen, 2001, Ellingsen et Gray, 2002, Gray, 2002). L'effort d'échantillonnage dans une zone donnée est un élément à ne pas négliger. En effet, la représentativité de la stratégie d'échantillonnage par rapport à la réalité est un problème majeur (Gentil et Dauvin, 1988, Ellingsen, 2001). Lorsque l'effort d'échantillonnage est mené correctement, il permet une bonne récolte des espèces rares, qui ont une faible densité (présentes dans moins de 5% des stations) et donc une faible probabilité de récolte. Une mauvaise stratégie d'échantillonnage exclut alors ces espèces des inventaires, bien qu'elles soient nombreuses dans le bassin oriental de la Manche (plus de 500 taxa) et dans d'autres assemblages benthiques (Gray, 2002). C'est une

des raisons pour lesquelles, il est apparu nécessaire de prendre en compte l'épibiose sessile dans ce travail d'inventaire de la diversité marine du bassin oriental de la Manche. En effet, celle-ci représente environ 25 % de la richesse spécifique du bassin oriental de la Manche. Souvent négligé dans les études à cause des difficultés d'identification qu'il peut présenter, ce compartiment benthique est pourtant un élément prépondérant dans la typologie EUNIS (Connor *et al.*, 2004). Les espèces de l'épibiose sessile offrent en plus de nombreux micro-habitats à d'autres espèces benthiques. De nombreuses observations personnelles lors des étapes de détermination viennent appuyer ce propos : *Anthura gracilis* quasiment toujours trouvée dans les tubes de *Pomatoceros* spp. ; augmentation du nombre de Terebellidae lorsque la structure tridimensionnelle sur les cailloux est plus complexe ; augmentation de la diversité dans les massifs à *Sabellaria spinulosa* ; augmentation du nombre d'individus d'*Erichthonius punctatus* lorsque l'occurrence d'hydrides sur une station est élevée...

Un des enjeux actuels de l'écologie est d'appréhender, en plus du nombre d'espèces présentes dans une région donnée, leur identité et leur rôle dans l'écosystème. En effet, le degré d'intervention d'une espèce dans le fonctionnement d'un écosystème est variable. Des espèces peuvent avoir des rôles redondants et ainsi participer à une reprise plus rapide de l'écosystème après une perturbation (principe de la résilience). Les perturbations majeures de l'écosystème peuvent alors engendrer la perte de certaines espèces-maillons de l'écosystème et donc le fonctionnement de celui-ci (Snelgrove *et al.*, 1997, Tilman, 1999b). L'essor que connaît à l'heure actuelle l'étude du fonctionnement des écosystèmes (études des réseaux trophiques, traits d'histoire de vie, études sur les espèces ingénieures...) permettra peut-être de déterminer les interactions entre les différents compartiments et d'évaluer l'impact d'une diminution de la biodiversité marine (Gray, 2000). Ces connaissances pourront également être intégrées dans les futurs plans de gestion des écosystèmes marins, tels que la création des aires marines protégées.

CHAPITRE VI – VERS LA NOTION D'HABITAT...

La définition d'habitat a été donnée en encart dans la partie I.2.2. L'appréhension de l'habitat d'une espèce (et sa modélisation) passe par l'intégration de plusieurs facteurs (répartition géographique, données environnementales...). Théoriquement et si tout un gradient environnemental est échantillonné, les variations d'abondances d'une espèce en fonction d'un facteur suivent une courbe de type Gaussien (Figure 107). Cette hypothèse est assimilable à la notion théorique de la niche écologique de Hutchinson (Hutchinson, 1957), qui correspond à un hypervolume à n dimensions définissant les conditions pour avoir une communauté viable. Ainsi, chaque dimension correspond à la réponse d'un organisme par rapport à un facteur du milieu. Une espèce étant influencée par plusieurs facteurs environnementaux, les gammes de chaque facteur qui lui sont favorables doivent être étudiées. Les modèles obtenus sont ensuite utilisés pour cartographier (grâce au SIG) les habitats optimaux à partir de jeux de données environnementales.

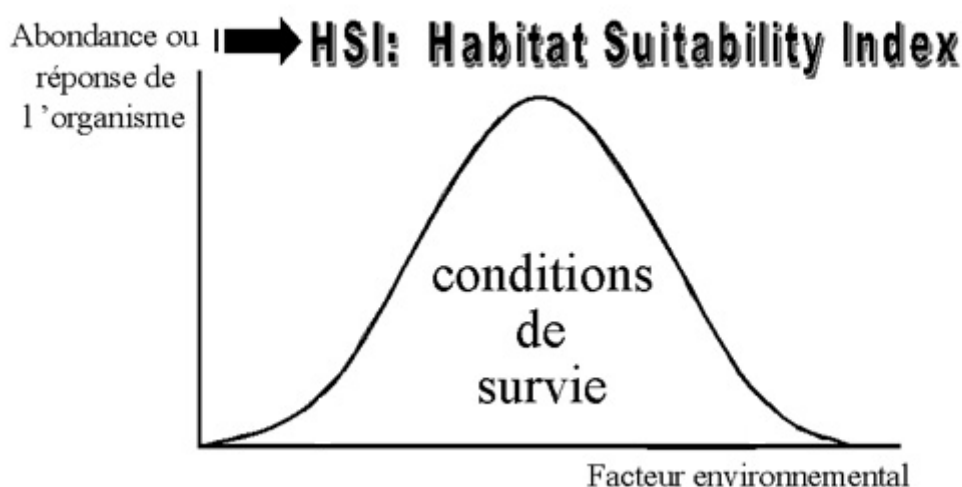


Figure 107 : Modèle théorique de la réponse d'un organisme par rapport à un facteur environnemental.

La méthode proposée dans ce travail sert à définir les zones potentielles d'occurrence d'une espèce où les facteurs environnementaux lui sont favorables. En aucun cas, elle n'a pour objectif de modéliser précisément les répartitions d'abondances des espèces.

Dans le contexte de gestion durable des écosystèmes, la modélisation des habitats et les SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) prennent une place prépondérante. Ce sont de nouveaux outils servant à une meilleure compréhension des relations entre les espèces et leur environnement (Guisan *et al.*, 2002, Eastwood *et al.*, 2003, Austin, 2007). De plus, dans le contexte de conservation des habitats et de gestion durable, la modélisation géographique prédictive peut servir à évaluer les impacts des changements des usages anthropiques et d'autres changements environnementaux sur la distribution d'une espèce ou à déterminer les priorités de conservation.

VI.1. Les fiches d'habitats potentiels

Dans ce chapitre, les différents résultats sont présentés sous forme d'une fiche pour chacune des 22 espèces choisies. Ces 22 espèces ont été sélectionnées car elles sont toutes des espèces principales ou caractéristiques des assemblages décrits dans le chapitre IV. Les modèles ont été construits en utilisant trois variables issues de mesures (profondeur, écart thermique et types de couverture sédimentaire) et une issue d'un modèle (tension de cisaillement).

***Abra alba* (Wood, 1802)**

Syndesmie blanche

Embranchement : Mollusca
Classe : Bivalvia
Ordre : Veneroidea
Famille : Semelidae



Description - Petit bivalve à coquille blanche, ovale, fine et brillante (voire même légèrement transparente). Le périostacum, en général de couleur rouille, et la coquille peuvent se colorer en noir quand l'animal vit dans des sédiments réduits. Cette espèce vivant dans les sédiments envasés atteint une taille de 15 à 18 mm (maxi 25 mm).

Biologie - Espèce pouvant être trouvée en très grande abondance (jusqu'à 9 000 ind.m⁻²). Mais les abondances fluctuent fortement entre les années (forte mortalité des juvéniles pendant les premiers mois après le recrutement ou mortalité des adultes). Croissance maximale au printemps (0.1 mm/j). Sexes séparés. Adultes matures entre juin et septembre. Deux périodes de ponte distinctes en été et en automne. Recrutement maximal en été. Larve planctonique pendant un mois.

Groupe trophique - Dépositivore de surface

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables fins plus ou moins envasés.

Répartition géographique - Distribution large en Manche. Se retrouve de la Norvège à la Méditerranée et l'Afrique de l'ouest.

Au cours de cette étude, *Abra alba* a essentiellement été rencontrée le long des côtes anglaises dans des sédiments sablo-vaseux et quelques fois dans des sédiments hétérogènes (Figure 108).

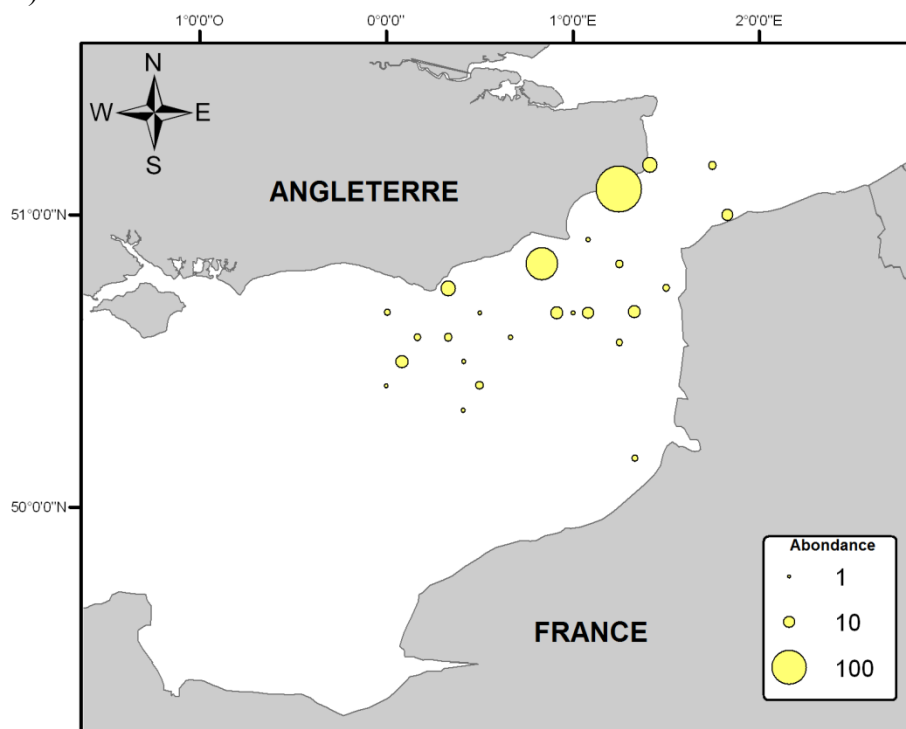


Figure 108 : Répartition de l'abondance d'*Abra alba* dans le bassin oriental de la Manche.

Cette distribution spatiale se retrouve dans le modèle d'habitat potentiel (Figure 109), qui est plus optimiste et indique que les zones de bancs sableux pourraient être favorables à cette espèce (en se basant sur de faibles tensions de cisaillement, une faible profondeur et des sédiments hétérogènes ou de sables moyens). Il est à noter que ce modèle sous-estime l'occupation qu'*Abra alba* peut avoir au sud de la mer du Nord : ceci est certainement dû au fait que peu de prélèvements contenant cette espèce en quantité suffisante ont été prélevés dans cette zone. Par contre, il l'a signalé en baie de Seine, là où des sédiments favorables à *Abra alba* peuvent être trouvés. Il faut ajouter à ces constatations que l'erreur du modèle pour *Abra alba* est faible.

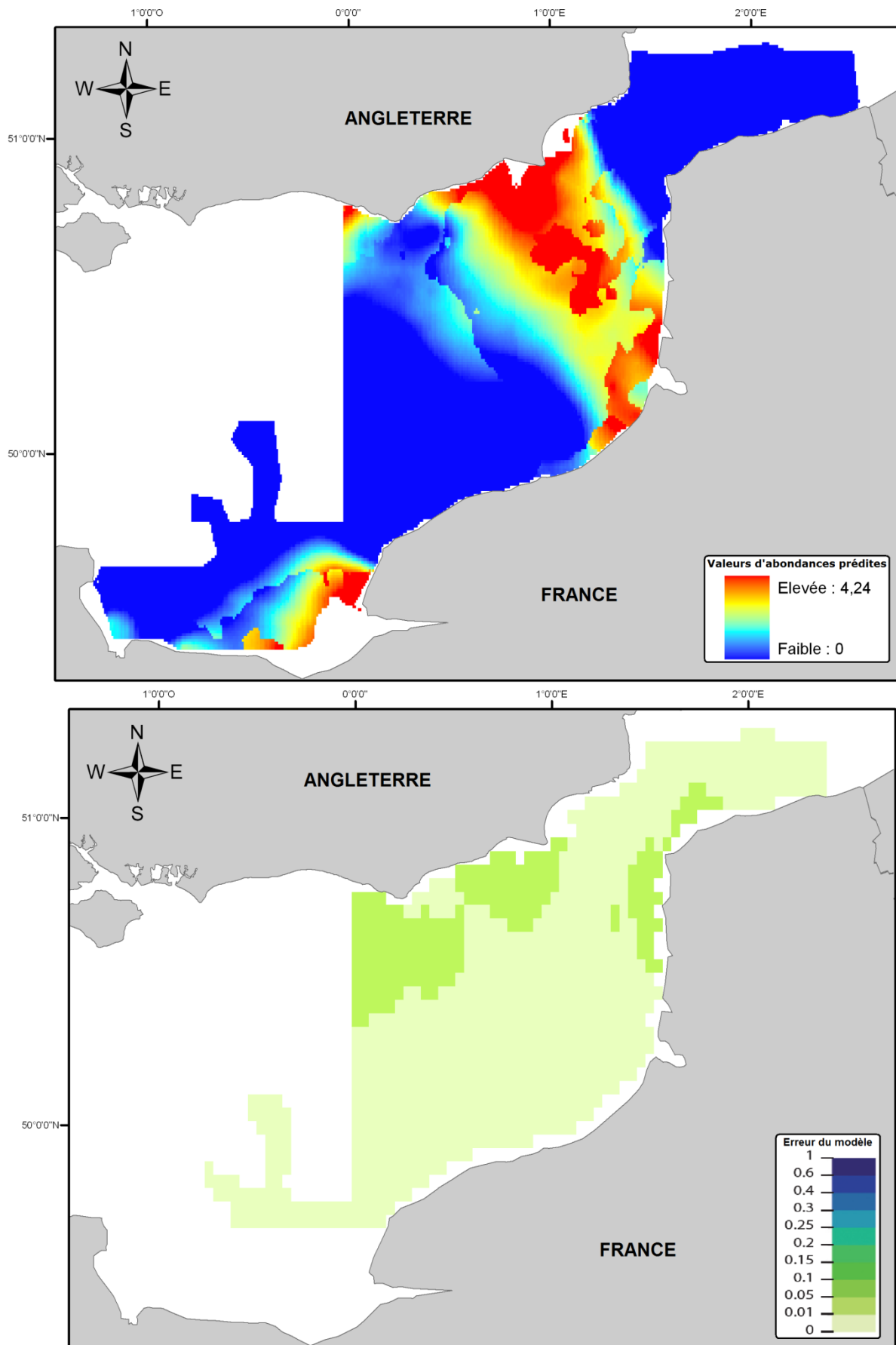


Figure 109 : Modèle d'habitat potentiel d'*Abra alba* et carte d'erreur du modèle.

***Paphia rhomboides* (Pennant, 1777)**

Embranchement : Mollusca
Classe : Bivalvia
Ordre : Euheterodonta incertae sedis
Famille : Veneridae



Description – Coquille solide et équivalve, de forme triangulaire à ovale. Peut mesurer jusqu'à 6,5 cm. Pérostracum fin et lisse. Possède trois dents cardinales dans chaque valve. De nombreuses stries concentriques marquées ornent la coquille. L'intérieur de la coquille est de couleur blanc brillant avec la marque du sinus palléal qui n'est pas profondément visible. Coloration du blanc crémeux au violet.

Biologie – Vit enfouie dans le sédiment en position verticale ; son pied musclé lui servant d'ancre pour s'enfouir. Ses siphons affleurent à la surface du sédiment.

Sexes séparés. La ponte a lieu de mai à septembre avec un maximum entre juillet et septembre. Larves planctoniques.

Groupe trophique – Suspensivore. Elle possède un siphon inhalant et un siphon exhalant. Une circulation d'eau est permise par les tentacules siphonaux et les cils latéraux qui servent également de filtres de sélection de taille des particules. Au niveau des palpes labiaux, les particules sont ingérées ou rejetées (production de pseudofaeces).

Habitat benthique - Espèce vivant enfouie dans les sédiments grossiers.

Répartition géographique – De la Norvège au Maroc. Méditerranée.

Paphia rhomboides est une espèce affine des sédiments sablo-graveleux. Elle est présente sur tout le bassin oriental de la Manche et au sud de la mer du Nord (Figure 110).

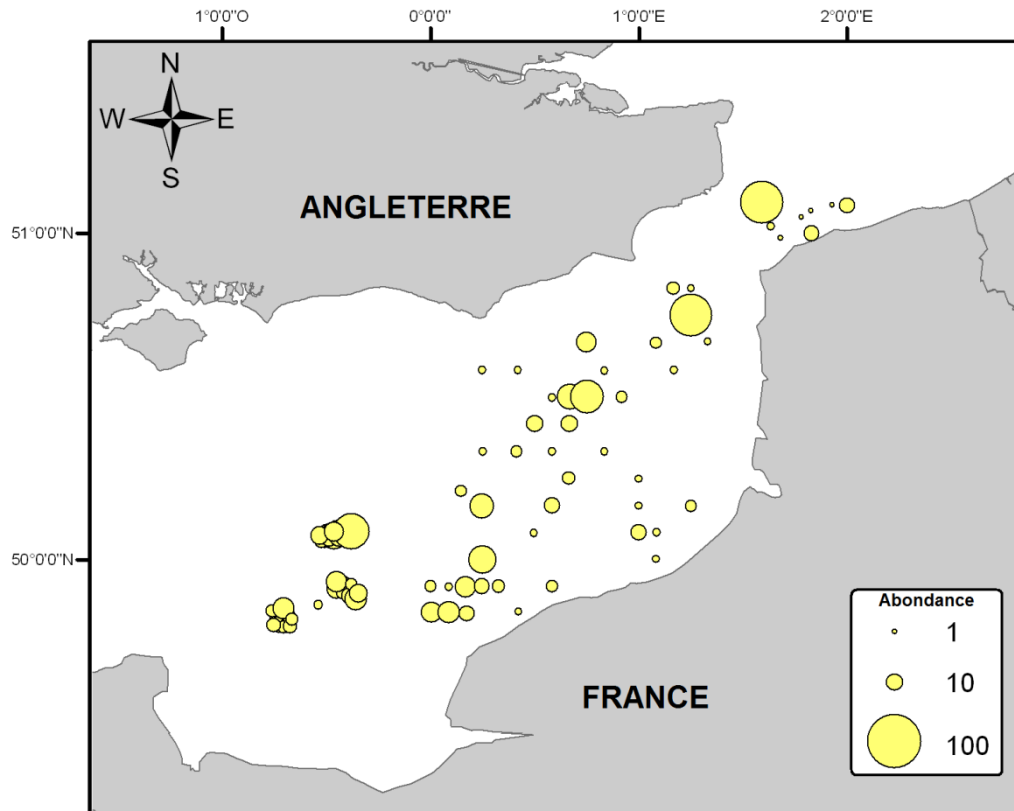


Figure 110 : Répartition des abondances de *Paphia rhomboides* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel de *Paphia rhomboides* souligne l'importance de la zone ouest du bassin oriental de la Manche et en partie de la Manche centrale (Figure 111). Cependant, il néglige les zones du détroit du Pas de Calais dans lesquelles des observations de cette espèce ont été réalisées. L'erreur associée à ce modèle est faible.

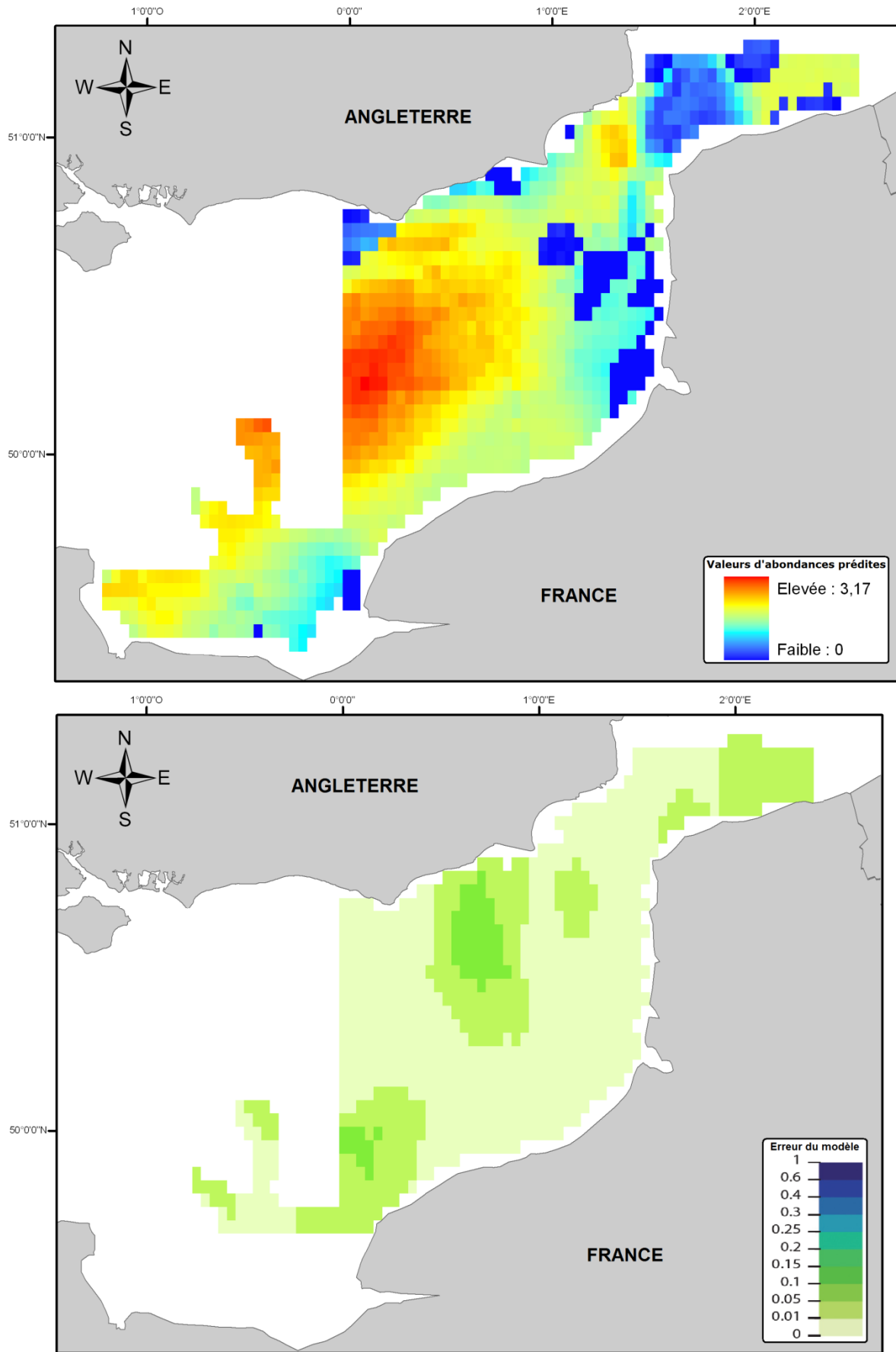


Figure 111 : Modèle d'habitat potentiel de *Paphia rhomboides*.

Asterias rubens Linnaeus, 1758

Astérie rouge, Etoile de mer commune

Embranchement : Echinodermata

Classe : Stellerioidea

Ordre : Forcipulatida

Famille : Asteriidae



Description - Jusqu'à 52 cm de diamètre (mais communément entre 20 et 30 cm). Disque petit. Cinq bras (parfois plus en cas de régénération). La face dorsale est molle, contenant le délicat réseau du squelette. De courtes épines, entourées de pédicellaires, sont dispersées sur la surface, laissant de grandes surfaces nues. La face ventrale comprend les pieds ambulacraires. Couleur brun-rougeâtre, orange ou violet avec des épines plus claires.

Biologie - Le caprellidé *Pariambus typicus* est souvent trouvé attaché à ses épines. L'astérie peut se trouver à plus de 800 ind.m⁻².

Groupe trophique - Omnivore (surtout carnivore).

Habitat benthique - Sur des sables, des graviers et des roches, souvent colonisés par des moules.

Répartition géographique - De l'Arctique à l'Afrique de l'ouest.

Asterias rubens est une espèce ubiquiste qui se rencontre sur différents types sédimentaires dans le bassin oriental de la Manche (cailloutis, graviers, sables), avec cependant une préférence pour les cailloutis (Figure 112).

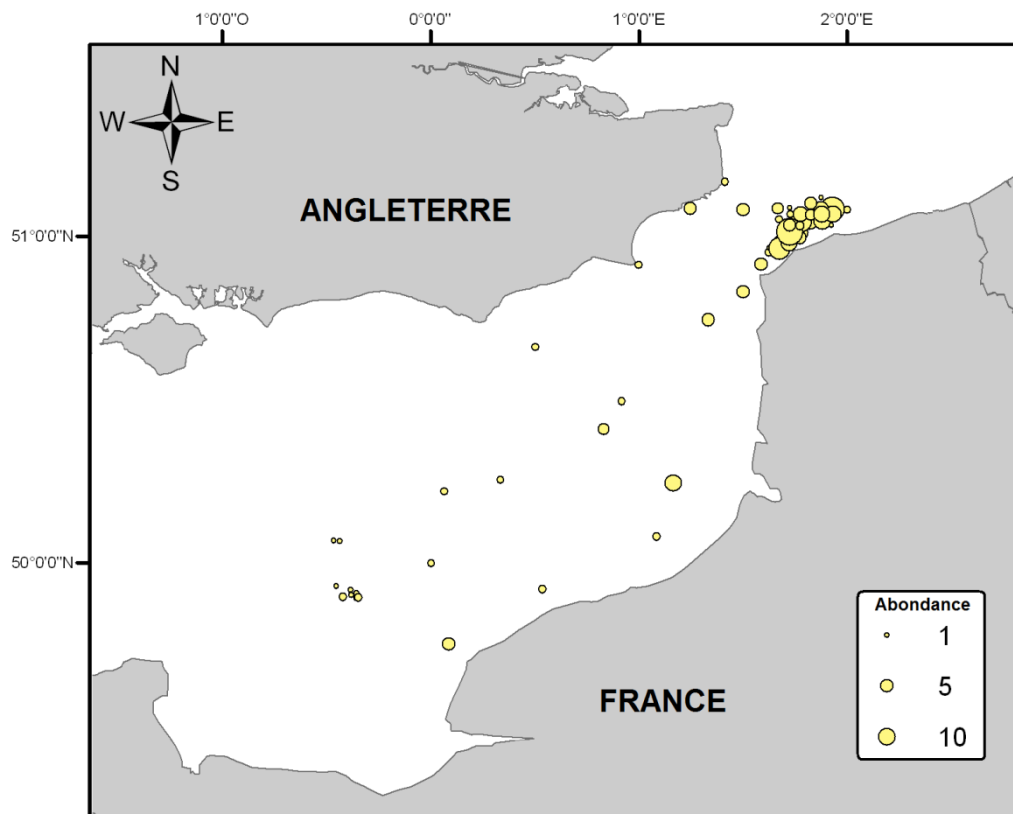


Figure 112 : Répartition de l'abondance d'*Asterias rubens* dans le bassin oriental de la Manche.

Du fait de cette répartition ubiquiste, il n'a pas été possible de construire le modèle d'habitat potentiel pour cette espèce.

***Echinocardium cordatum* (Pennant, 1777)**

Oursin cœur

Embranchement : Echinodermata

Classe : Echinoidea

Ordre : Clypeasteroidea

Famille : Spatangidae



Description - Oursin irrégulier en forme de cœur de taille moyenne. Test (squelette) lisse avec de petites épines, et des épines plus grandes en face dorsale. Il peut atteindre 90 mm et est de couleur jaune-marron.

Biologie - *E. cordatum* est un oursin irrégulier vivant enfoui dans le sable jusqu'à environ 10 cm. Un à deux centimètres de croissance par an. Longévité probable d'une dizaine d'années. Sexes séparés. Larves pélagiques se métamorphosant 39 jours après la fertilisation. Recrutement sporadique. Souvent associé aux ophiures *Amphiura filiformis* et *Ophiura albida* et aux astéries *Asterias rubens* et *Astropecten johnstoni*. Commensal avec l'amphipode *Urothoe marina* et le bivalve *Tellimya ferruginosa*.

Groupe trophique - Dépositivore de sub-surface

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables. On le trouve principalement en zone intertidale (zone de balancement des marées), mais aussi en subtidal jusqu'à 230 m de profondeur.

Répartition géographique - Communs sur les côtes britanniques et françaises. Espèce cosmopolite : de la Norvège à l'Afrique du Sud, Méditerranée, Japon, Australie.

Cette espèce affine des sables propres se retrouve dans les zones de bancs sableux du sud du détroit du Pas de Calais et du sud de la mer du Nord (Figure 113).

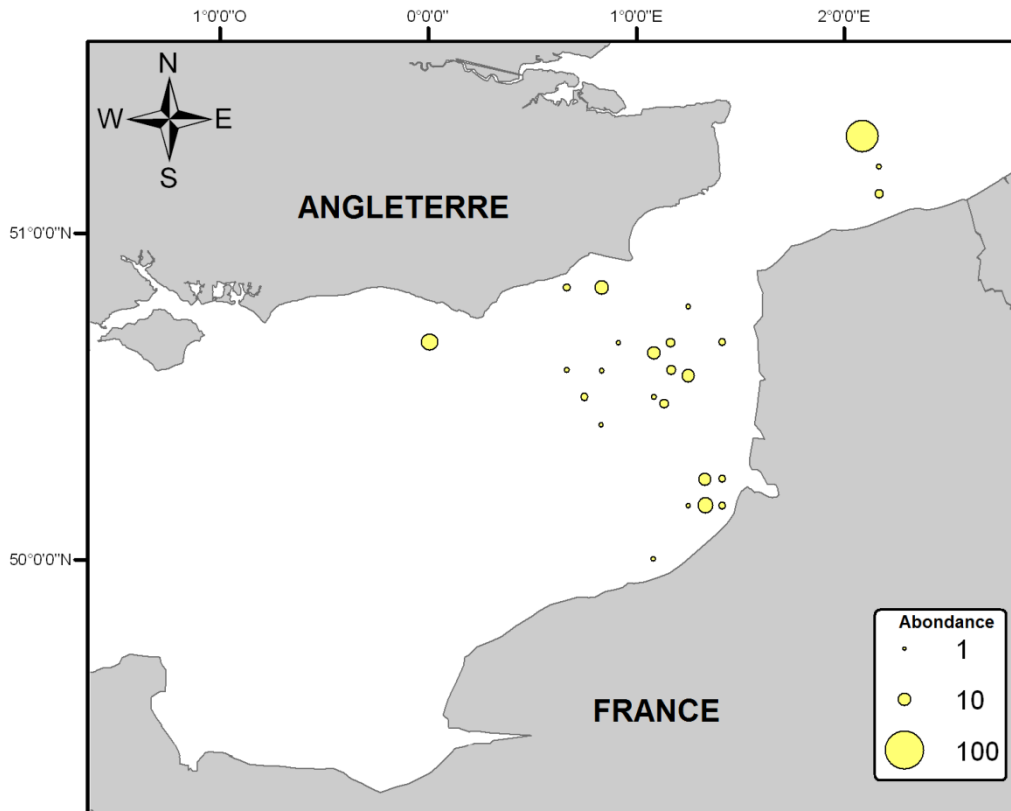


Figure 113 : Répartition de l'abondance d'*Echinocardium cordatum*.

Le modèle d'habitat potentiel développé pour cette espèce respecte ce patron de distribution, l'étendant néanmoins quelque peu au sud de la mer du Nord (Figure 114). Il se base pour cela sur de faibles tensions de cisaillement, de faibles profondeurs et des sédiments de sables moyens. Il prévoit également la possibilité de trouver cette espèce dans les zones de sables grossiers jouxtant les sables moyens dunaires. De plus, l'erreur du modèle est faible.

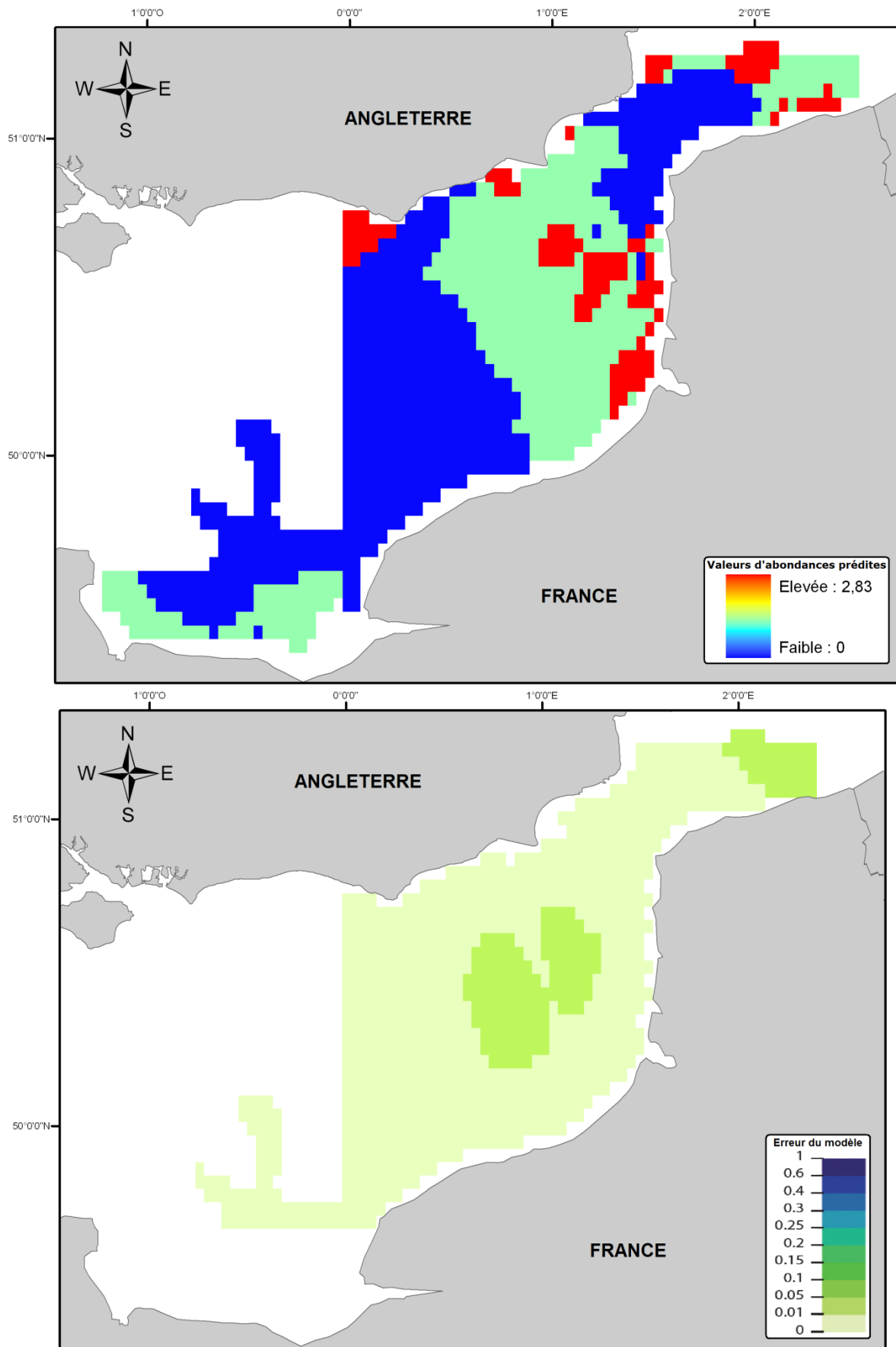


Figure 114 : Modèle d'habitat potentiel d'*Echinocardium cordatum*.

***Echinocyamus pusillus* (O.F. Müller, 1776)**

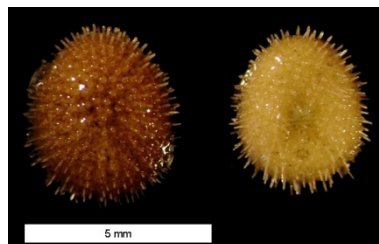
Fève de mer

Embranchement : Echinodermata

Classe : Echinoidea

Ordre : Clypeasteroidea

Famille : Fibulariidae



Description - Petit oursin irrégulier, de forme ovale, avec la bouche et l'anus sur la face inférieure (face orale ; l'anus étant situé en position postérieure par rapport à la bouche). Plus précisément, le test (squelette) est de forme pentagonale (voire elliptique), parfois pointu vers la terminaison antérieure, et est fortement renflé sur la face dorsale. Il est de petite taille (au maximum 1.5 cm). Les épines sont relativement petites et proches du corps, donnant à l'animal un aspect duveteux. Deux sortes d'épines se distinguent cependant : des épines "longues" et pointues et d'autres plus petites se finissant en une couronne dentelée. Cet oursin est de couleur blanche à jaune verdâtre-brunâtre. Il a la particularité de tourner au vert vif quand il est endommagé (comme par exemple quand il est remonté en surface).

Biologie - C'est une espèce spécialisée, et non primitive comme certains auteurs le pensent (la différenciation des épines et de la ciliation commune à tous les Clypeasteroidea, laisse penser que *Echinocyamus* est une forme ancestrale des vrais oursins des sables). Sa petite taille est certainement due à une adaptation à la vie dans les interstices du sédiment, souvent remanié.

Groupe trophique - Dépositivore de sub-surface (mange des détritiques et des foraminifères qu'il trouve dans les interstices du sédiment). Il a un mécanisme de nutrition atypique pour les Clypeasteroidea, puisqu'il choisit les particules de sédiment utiles à sa nutrition.

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables grossiers à graviers fins.

Répartition géographique - Commun en Manche. Se retrouve dans la mer Baltique, en Islande, Afrique (Sud et Ouest) ; Açores et Méditerranée.

Echinocyamus pusillus est un petit oursin qui se trouve en fortes abondances dans les zones de sédiments grossiers, plus particulièrement les graviers. Dans le bassin oriental de la Manche, il peut être trouvé en grandes abondances dans la veine centrale et aux abords du détroit du Pas de Calais (Figure 115).

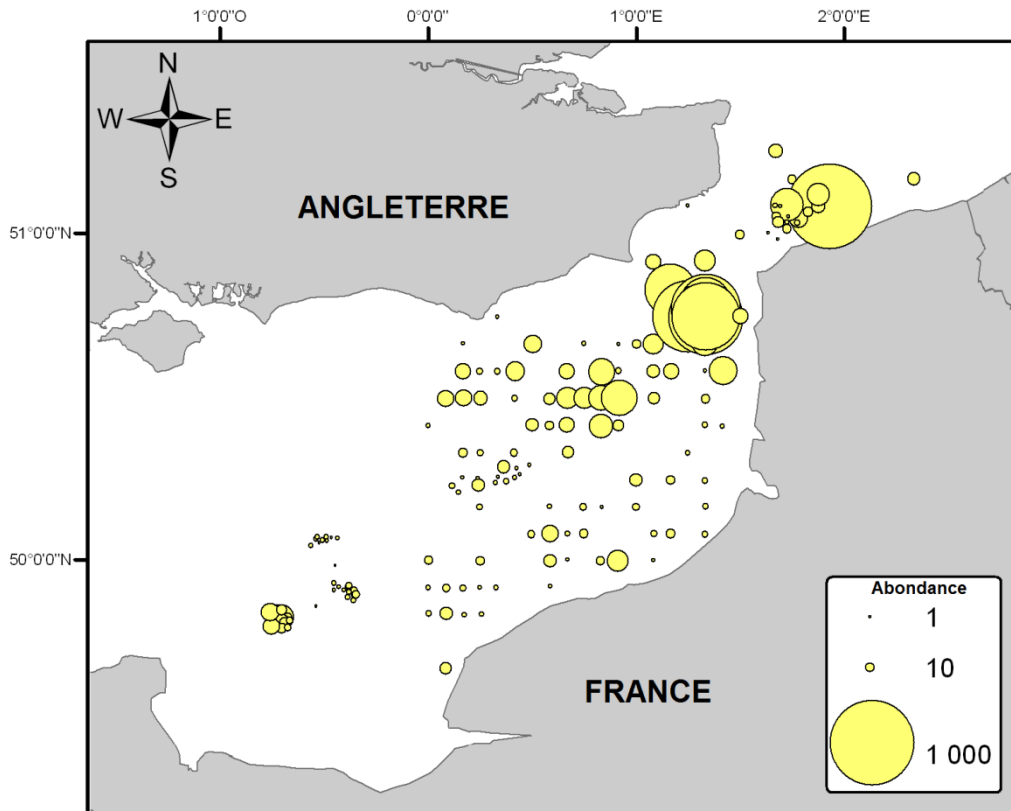


Figure 115 : Répartition de l'abondance d'*Echinocyamus pusillus*.

Le modèle d'habitat potentiel exclut strictement *Echinocyamus pusillus* des zones de sables (Figure 116). Par contre, il a tendance à diminuer son abondance dans les zones de sables grossiers, contrairement à ce qui peut être observé en abondances réelles. Il se base sur la tension de cisaillement, la profondeur et les sédiments graveleux pour établir cette répartition. L'incertitude du modèle est relativement faible pour cette espèce sur la zone d'étude.

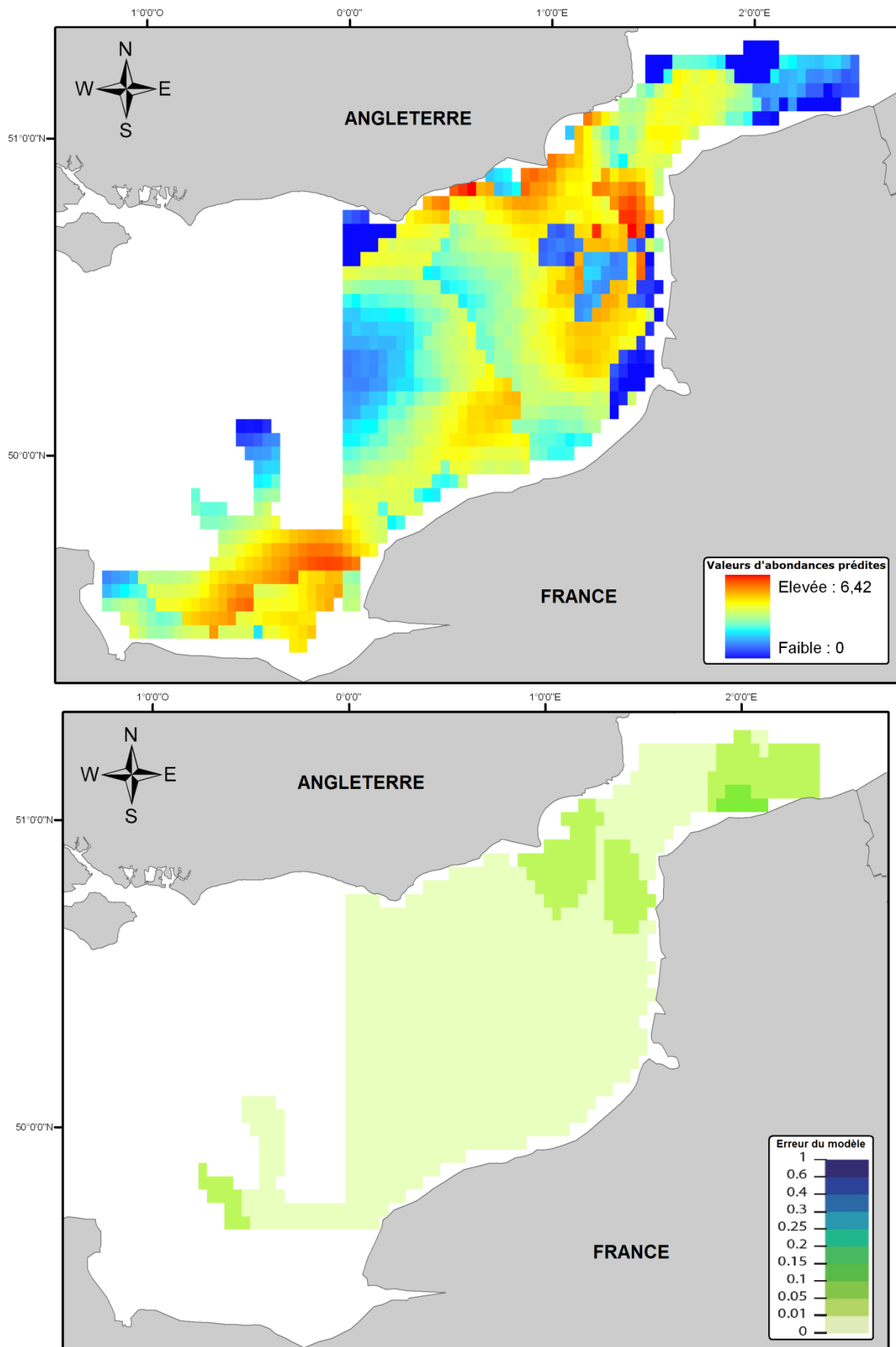


Figure 116 : Modèle d'habitat potentiel d'*Echinocyamus pusillus*.

Ophiothrix fragilis (Abilgaard, 1789)

Ophiure fragile

Embranchement : Echinodermata
Classe : Ophiuroidea
Ordre : Ophiurida
Famille : Ophiothricidae



Description - Une grande ophiure avec de longs bras : un disque jusqu'à 20 mm de diamètre et des bras jusqu'à 100 mm. Les bras sont couverts d'épines longues et courtes, sauf sur de larges plaques radiales, souvent nues. Les bras sont très fragiles, souvent cassés. Les plaques du dessus des bras sont nues, les épines ne se situant que sur les côtés. Espèce polychromique selon les variétés (du blanc au violet, en passant par le verdâtre), les bras sont souvent striés de bandes noires.

Biologie - Cette espèce se rencontre à l'état solitaire (niveaux inférieurs des plages) ou sous forme de bancs très denses (plus de 5 000 ind. /m²). Elle se déplace par reptation sur le fond, les bras effectuant des mouvements dans le seul plan horizontal.

Groupe trophique - Suspensivore, microphage (pour se nourrir, elle dresse les bras verticalement pour capter les particules en suspension lors des périodes de plus faible courant).

Habitat benthique - Espèce affine des cailloutis.

Répartition géographique - Très commune sur les côtes françaises et britanniques. Distribution large dans l'Atlantique est (de la Norvège au Cap de Bonne Espérance).

Ophiothrix fragilis est une espèce grégaire qui peut former d'importants patches de plusieurs milliers d'individus. Dans le bassin oriental de la Manche, elle est trouvée sur les sédiments grossiers, notamment les cailloutis du détroit du Pas de Calais (Figure 117), où elle approche les 10 000 individus.

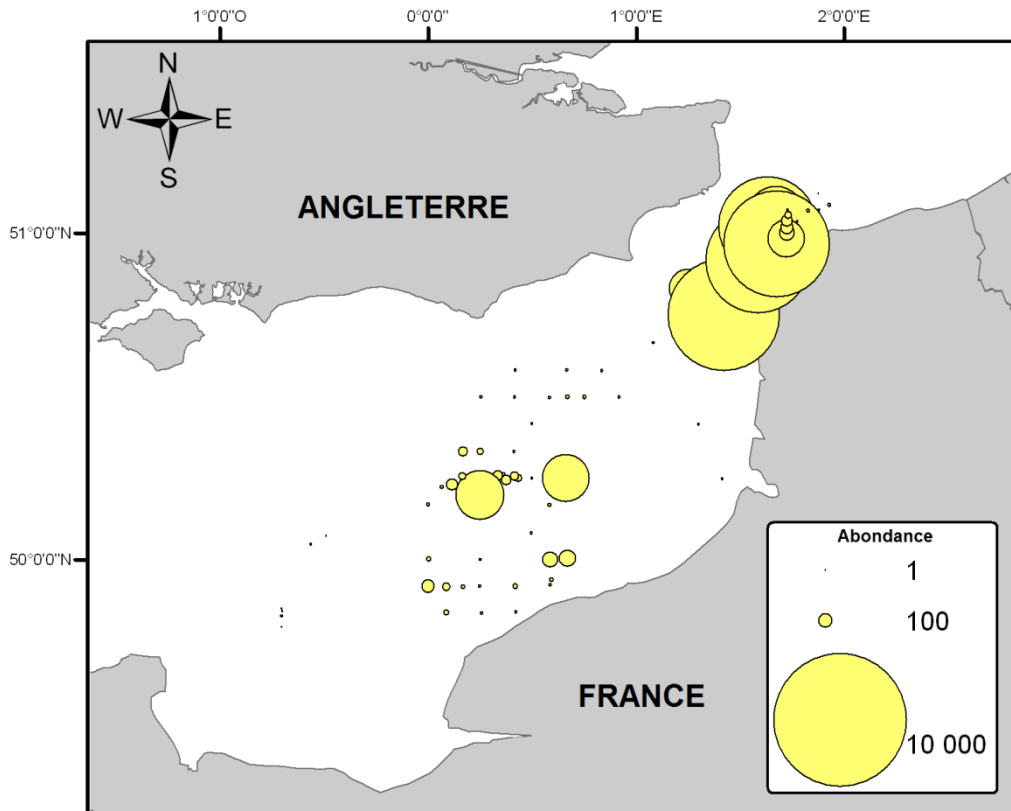


Figure 117 : Répartition des abondances d'*Ophiothrix fragilis* dans le bassin oriental de la Manche.

Ce modèle est construit en se basant de la température, de la tension de cisaillement et des sédiments graveleux. Le modèle d'habitat potentiel d'*Ophiothrix fragilis* est optimiste et souligne bien les fortes abondances de cette espèce dans le détroit du Pas de Calais (Figure 118). Mais en plus, il prédit une zone d'habitat pour cette espèce dans le centre de la Manche avec de fortes abondances au large de la baie de Seine. Il minimise la présence de cette espèce sur les zones de sédiments plus fins. De plus, l'incertitude du modèle est faible pour cette espèce.

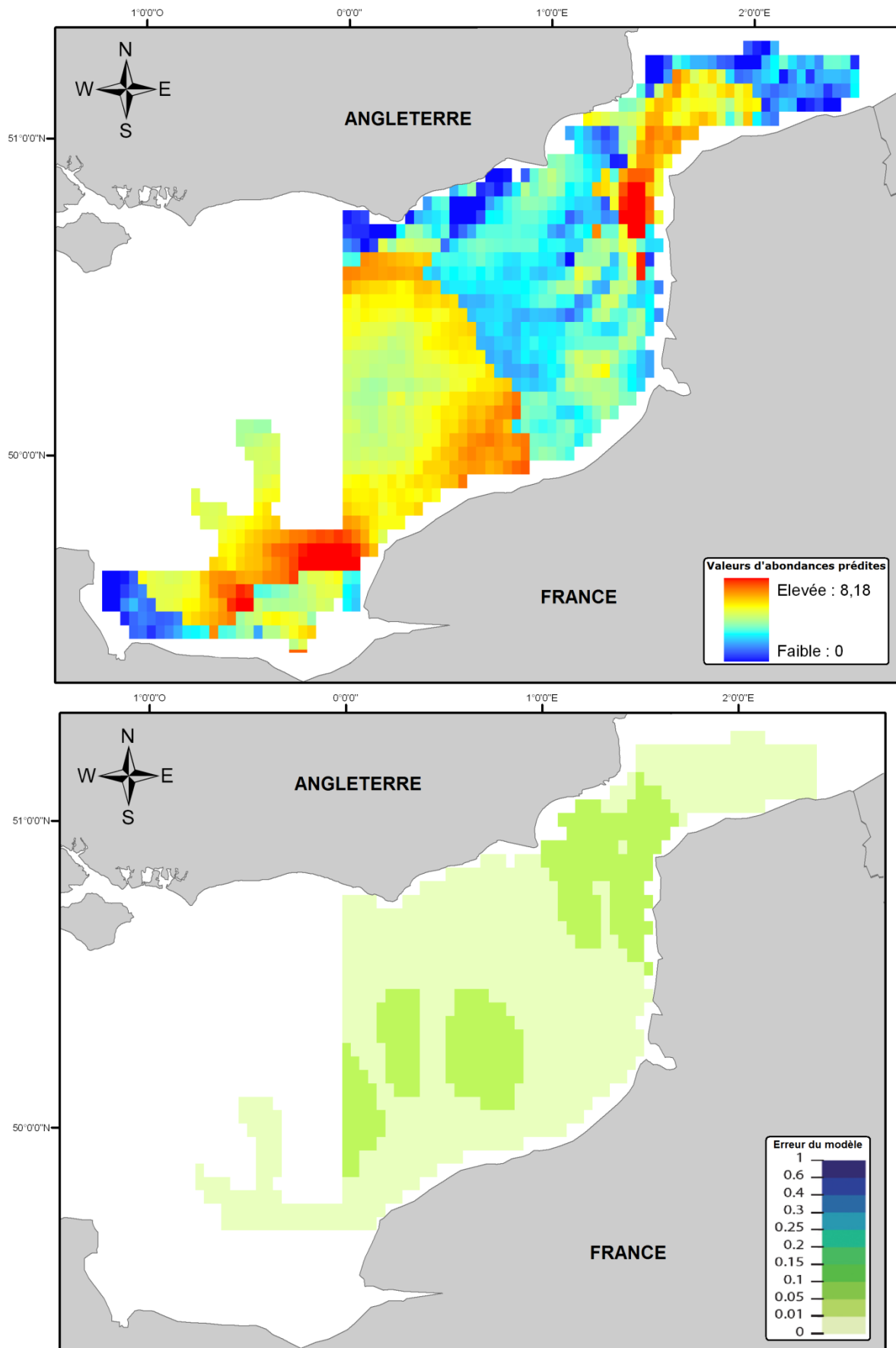
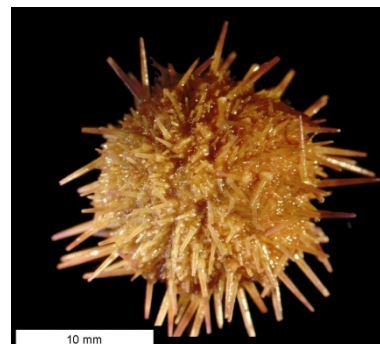


Figure 118 : Modèle d'habitat potentiel d'*Ophiothrix fragilis* dans le bassin oriental de la Manche.

***Psammechinus miliaris* (P.L.S. Müller, 1771)**

Oursin vert

Embranchement : Echinodermata
Classe : Echinoidea
Ordre : Echinoidea
Famille : Echinidae



Description - Oursin régulier, la bouche est située sur la face inférieure et l'anus sur la face supérieure de l'animal. Le test (squelette) d'un diamètre maximum de 50 mm est de couleur gris-vert. Les piquants sont courts et épais à pointe violette.

Biologie - Il se déplace sur les rochers pour se nourrir en broutant la surface. Cet oursin a peu de prédateurs ; seuls certains poissons sont capables de broyer son test. Sexes séparés. Fécondation externe. Reproduction d'avril à septembre avec un pic en juin-juillet. La durée de vie des larves planctoniques est de deux semaines. Lors de la métamorphose, les petits oursins font 2-3 mm de diamètre. Associé à la polychète *Flabelligera affinis* qui vit parmi ses piquants.

Groupe trophique - Herbivore et déposivore de surface.

Habitat benthique - Espèce vivant sur les fonds très grossiers à rocheux. Cet oursin de petite taille se rencontre depuis la zone intertidale jusqu'à une profondeur de 100 m.

Répartition géographique - Espèce fréquente en Manche. Distribuée de l'Islande jusqu'au Maroc et aux Açores (espèce absente de Méditerranée).

Psammechinus miliaris se rencontre principalement dans les zones de cailloutis du détroit du Pas de Calais et du pays de Caux (Figure 119). Il peut également être présent dans les zones de graviers.

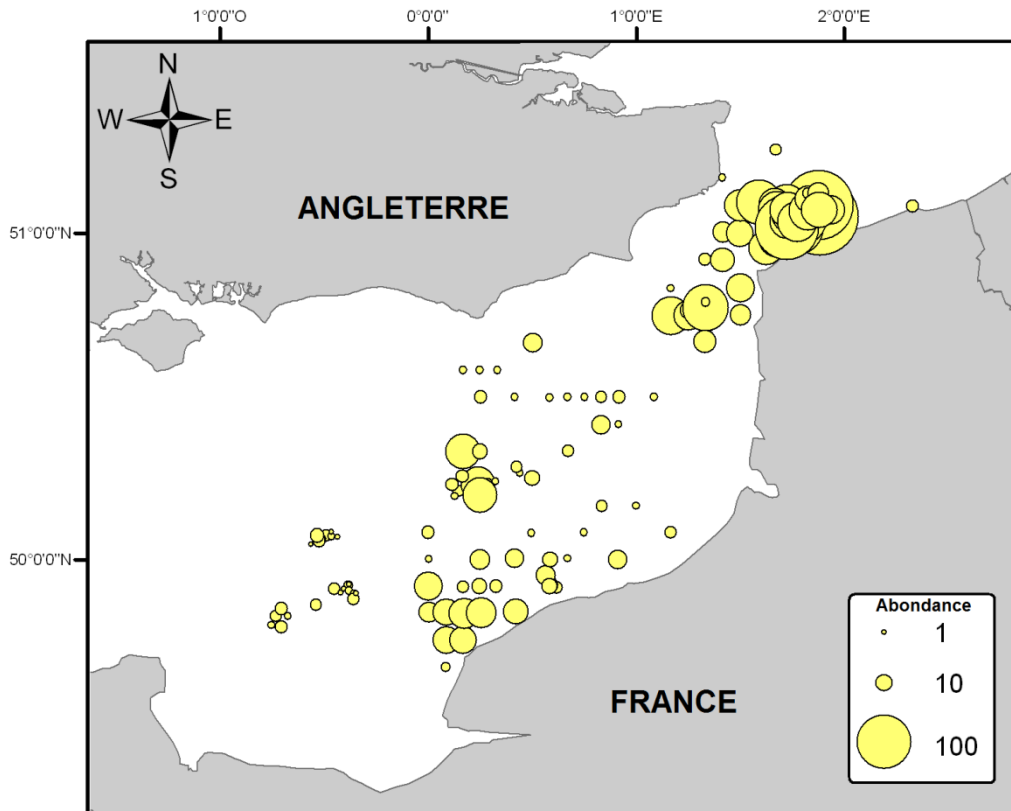


Figure 119 : Répartition des abondances de *Psammechinus miliaris* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel de *Psammechinus miliaris* (basé sur la tension de cisaillement, la profondeur et les sédiments grossiers) prédit des zones de fortes abondances qui sont en adéquation avec les observations réelles (Figure 120), aussi bien pour les cailloutis que pour les graviers. L'erreur du modèle est plus forte dans les zones de plus grande occurrence (notamment au niveau du détroit du Pas de Calais) mais faible dans les autres zones, signifiant qu'il y a peu d'incertitude concernant l'étendue des zones d'absence de cette espèce.

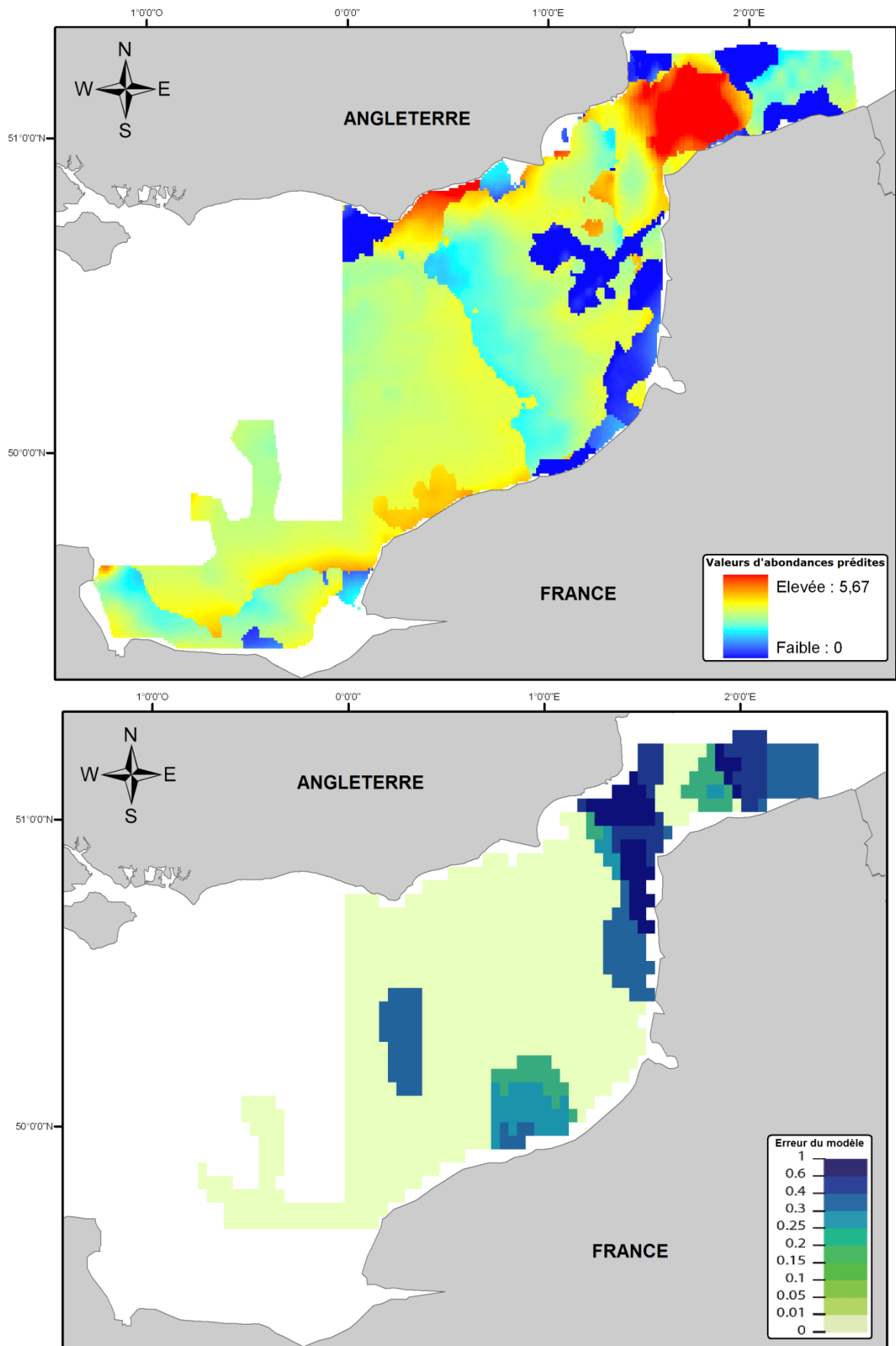


Figure 120 : Modèle d'habitat potentiel de *Psammechinus miliaris*.

***Branchiostoma lanceolatum* Pallas, 1774**

Amphioxus

Embranchement : Cephalocordata

Classe : Leptocardii

Famille : Branchiostomidae



Description - Long de 5 à 6 cm, l'Amphioxus possède une nageoire continue qui se trouve sur la ligne dorsale médiane et se termine ventralement. Une série de blocs de fibres musculaires striées séparés par des feuillets de tissu conjonctif est bien visible sur la totalité du corps. L'Amphioxus possède une corde (ébauche embryonnaire de la colonne vertébrale) s'étendant tout le long du corps jusque dans la tête mais sans cerveau caractérisé.

Biologie - Cet invertébré ressemblant à un poisson se tient planté verticalement dans le gravier de façon à ce que seule la bouche sorte du sédiment.

Groupe trophique – Suspensivore.

Habitat benthique - Graviers grossiers propres ("Gravelle à *Amphioxus*").

Distribution géographique - Présent sur toutes les côtes européennes, du nord des îles britanniques jusqu'à la mer Noire en passant par les côtes espagnoles et de Méditerranée.

Branchiostoma lanceolatum se trouve dans les zones de sédiments graveleux (plus ou moins ensablés) du bassin oriental de la Manche et du sud de la mer du Nord (Figure 121). De plus, les plus fortes abondances pour cette espèce se trouvent en zone côtière.

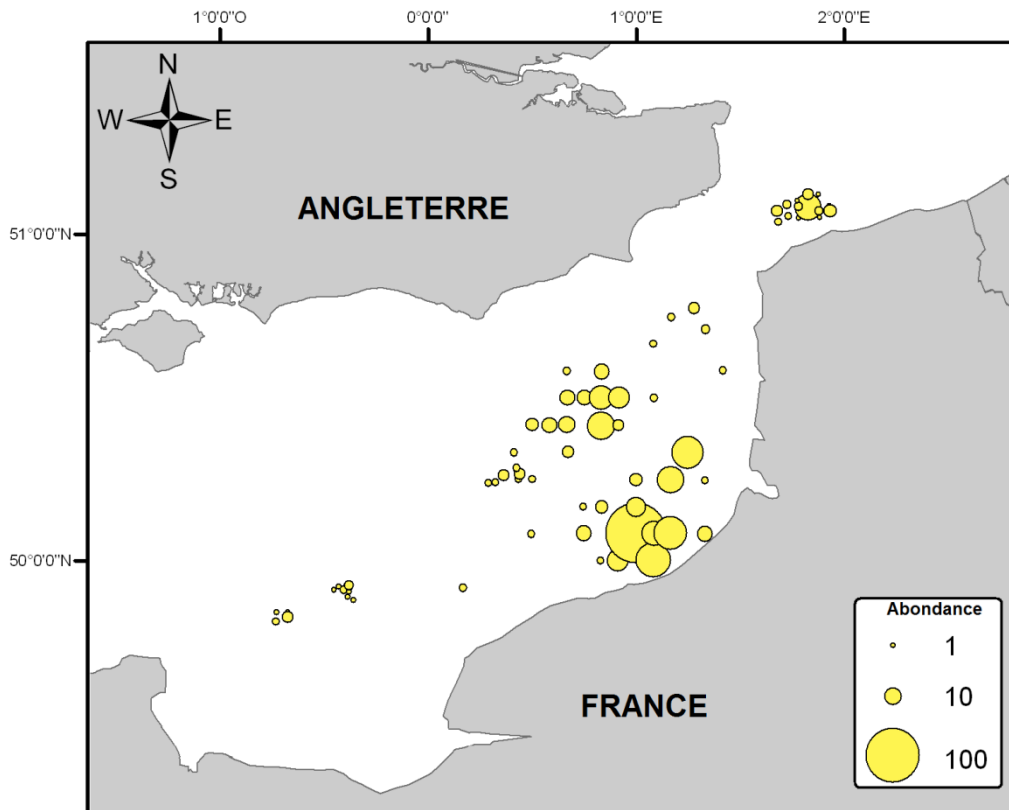


Figure 121 : Répartition de l'abondance de *Branchiostoma lanceolatum* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel développé pour cette espèce souligne une distribution de cette espèce en zone côtière (Figure 122). Il se base pour cela sur l'écart de température et sur les sédiments de type sables grossiers et graviers. Il faut noter qu'il sous-estime néanmoins la présence de cette espèce dans certaines zones un peu plus au large. D'ailleurs, l'incertitude du modèle est légèrement plus forte dans cette zone, ainsi que dans les zones de plus forte occurrence mais reste faible par ailleurs.

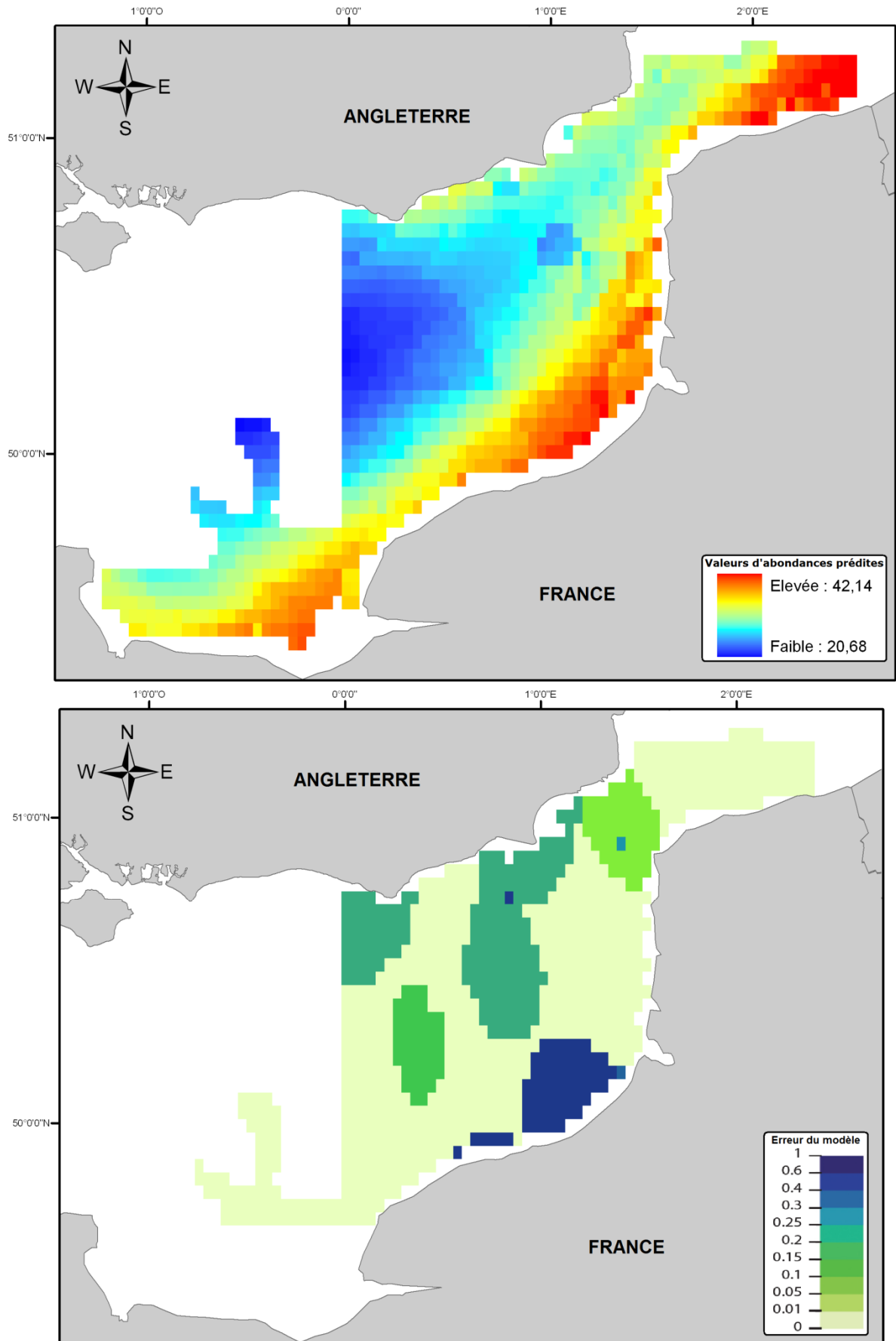


Figure 122 : Modèle d'habitat potentiel de *Branchiostoma lanceolatum*.

Bathyporeia elegans Watkin, 1938

Embranchement : Arthropoda
Classe : Malacostraca
Ordre : Amphipoda
Famille : Pontoporeiidae



Description - Corps assez mince et allongé, aplati sur le côté. Segment 4 du pléon fortement convexe dorsalement avec une paire de soies dirigées antérieurement et de petites épines dirigées postérieurement. Plaque épimérale 3 arrondie, avec 3 groupes d'épines sur la marge distale. Jusqu'à 6 mm de long. Tête sans rostre avec des yeux bien visibles (larges et ovales chez les femelles, réniformes chez les mâles). Antennes posées sur une excroissance de la tête. Souvent sans pigments.

Biologie - Cette espèce vit une année. Elle a une reproduction gonochorique, qui intervient tout au long de l'année. Le développement des juvéniles est direct.

Groupe trophique - Dépositivore

Habitat benthique - Espèce affine des sables fins ou envasés. Vit de 0 à 40 mètres de profondeur.

Répartition géographique - Atlantique nord-est. Mer du Nord. Toutes les côtes européennes depuis la Norvège. Afrique du Nord ; Madère ; Canaries.

Bathyporeia elegans est présente, en petites abondances sur les zones de bancs de sables (Figure 123).

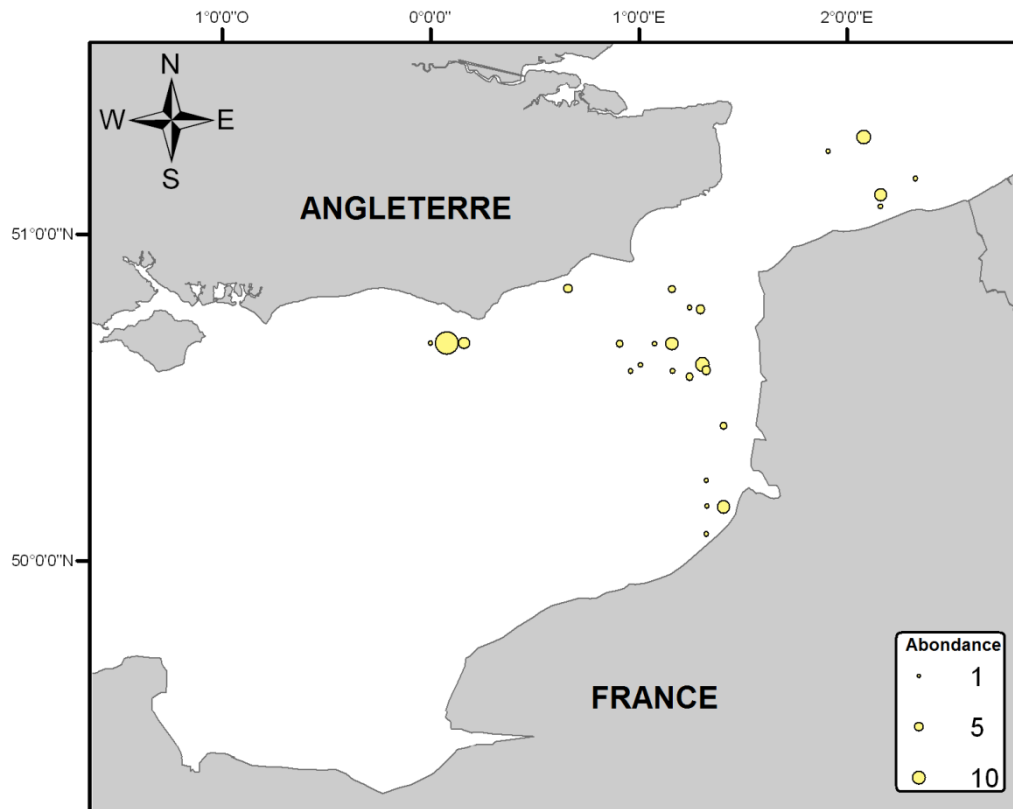


Figure 123 : Répartition des abondances de *Bathyporeia elegans* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel souligne les mêmes zones d'habitat potentiel que ceux actuellement occupés par *Bathyporeia elegans*, à savoir les zones de bancs sableux (Figure 124). L'erreur du modèle est faible.

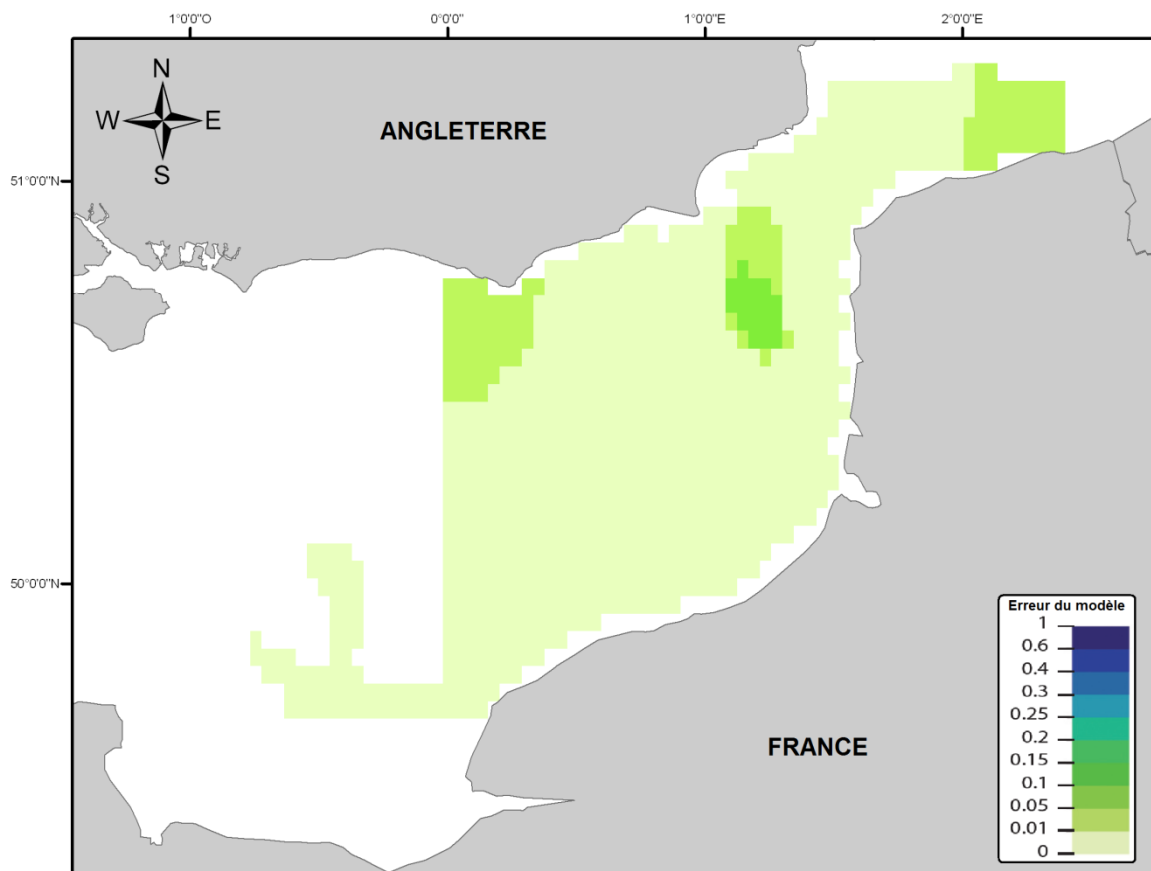
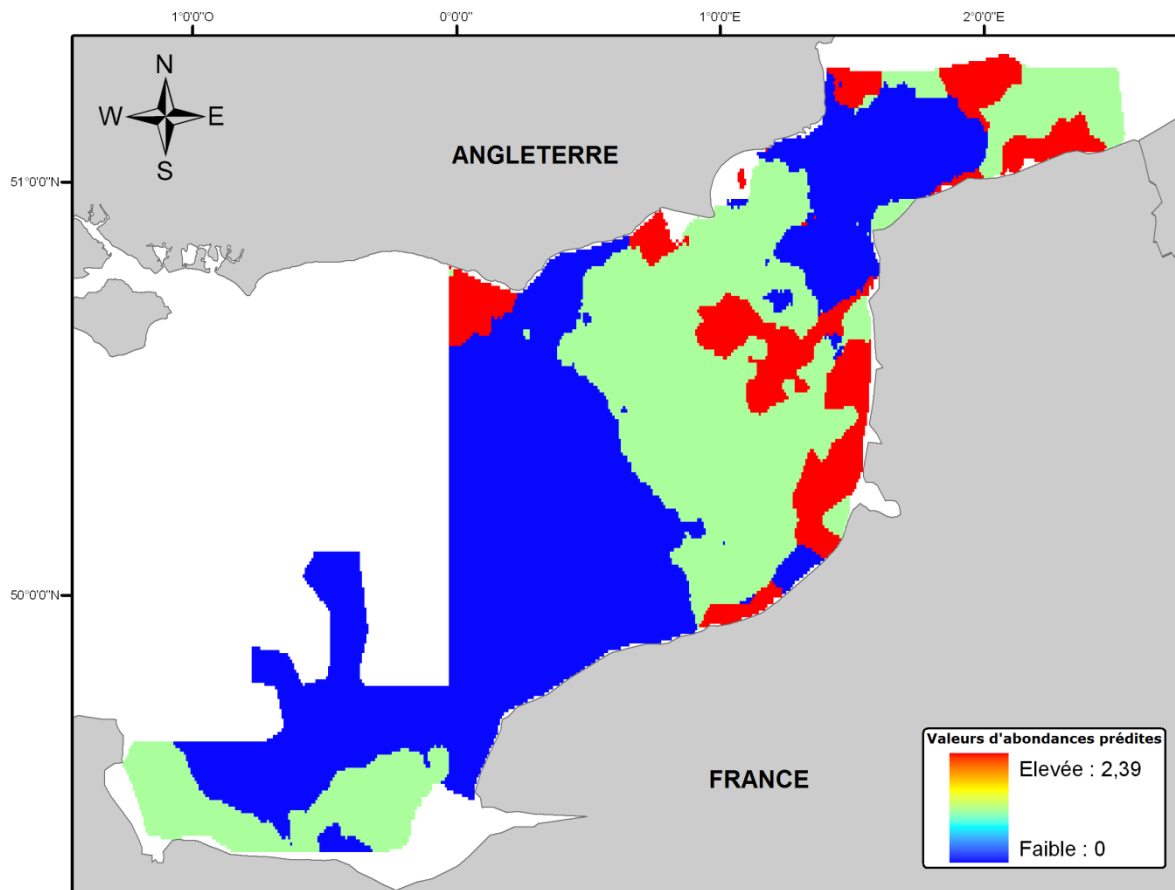


Figure 124 : Modèle d'habitat potentiel de *Bathyporeia elegans*.

***Corophium sextonae* Crawford, 1937**

Embranchement : Arthropoda

Classe : Malacostraca

Ordre : Amphipoda

Famille : Corophiidae



Description – Espèce dont la taille peut aller jusqu'à 5 mm. Tête avec un rostre triangulaire prononcé et des lobes latéraux proéminents. L'antenne 1 est partiellement couverte de soies et l'article 1 du pédoncule porte entre 4 et 6 épines. Dimorphisme mâle/femelle.

Biologie – Espèce naturellement native des côtes de la Nouvelle-Zélande (Hurley, 1954). Introduite à Plymouth dans les années 1930 (Crawford, 1937), et à la fin des années 70 en Irlande (peut-être par des moyens naturels) (Costello, 1993). Actuellement trouvée sur les côtes européennes du sud de la Norvège à la Méditerranée.

Groupe trophique - Détritivore.

Habitat benthique - Espèce construisant des tubes de vase sur les algues (en particulier, les crampons de laminaires), les hydraires et les éponges. De l'intertidal jusqu'à 50 mètres.

Répartition géographique - Mer du Nord, Manche. De sud de la Norvège jusqu'à la Méditerranée.

Cette espèce introduite vit quasiment exclusivement sur les zones de cailloutis (les plus fortes abondances se trouvent dans le détroit du Pas de Calais). D'autres occurrences existent sur les sédiments graveleux (Figure 125).

Le modèle d'habitat potentiel, basé sur la tension de cisaillement, la profondeur et les sédiments grossiers, est quelque peu optimiste, notamment en ce qui concerne l'étendue des *Corophium sextonae* vers les graviers (Figure 126). Cependant, l'incertitude du modèle reste faible sur la zone étudiée pour cette espèce.

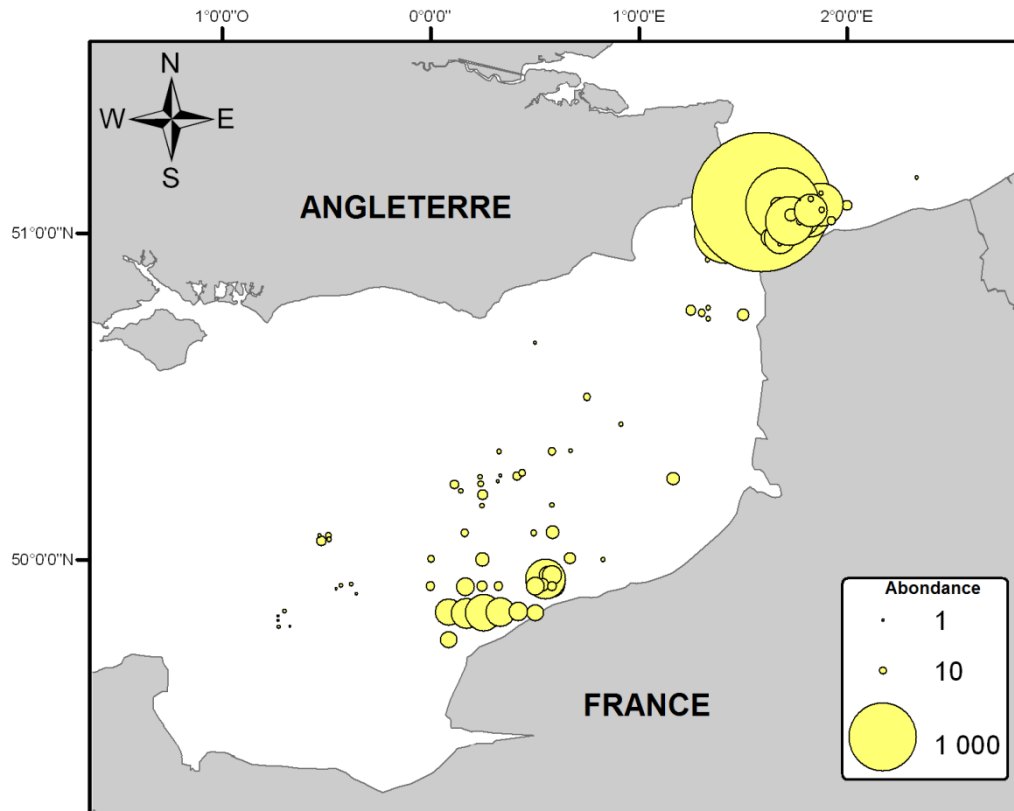


Figure 125 : Répartition des abondances de *Corophium sextonae* dans le bassin oriental de la Manche.

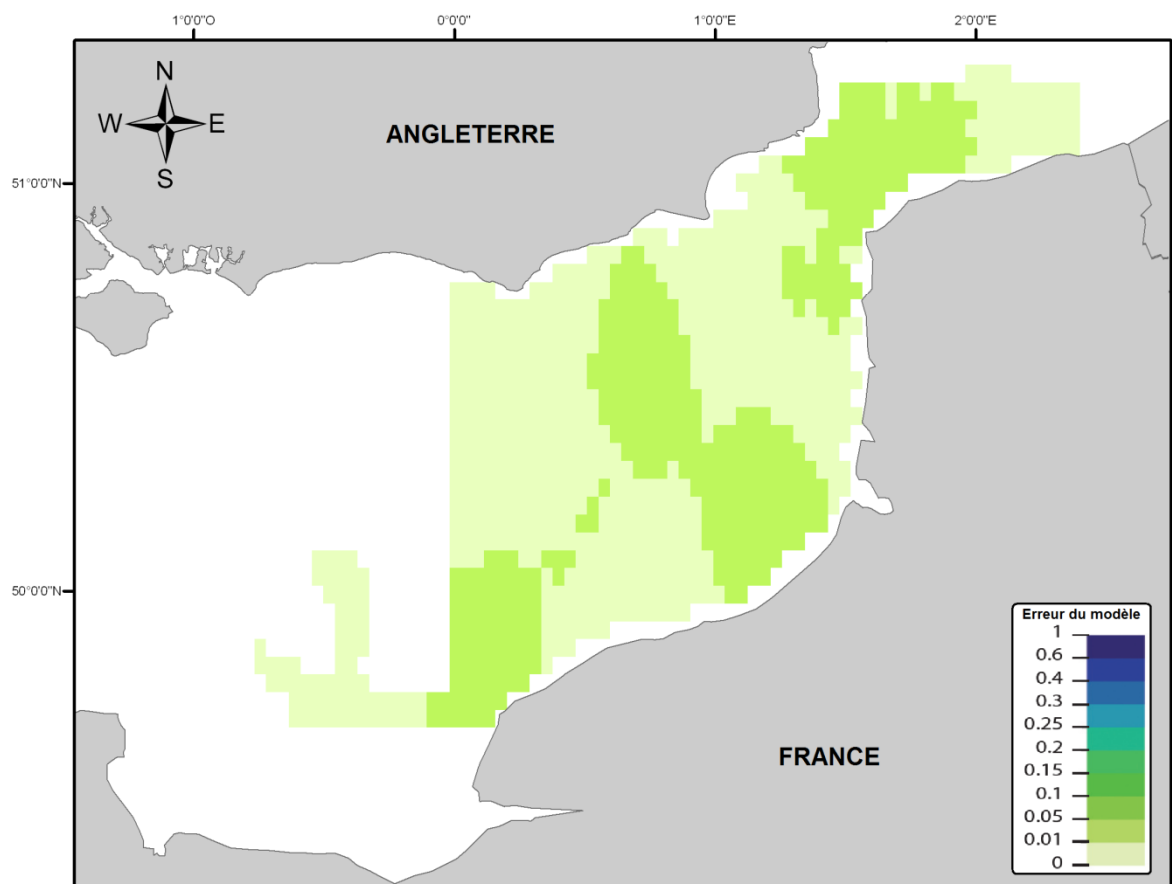
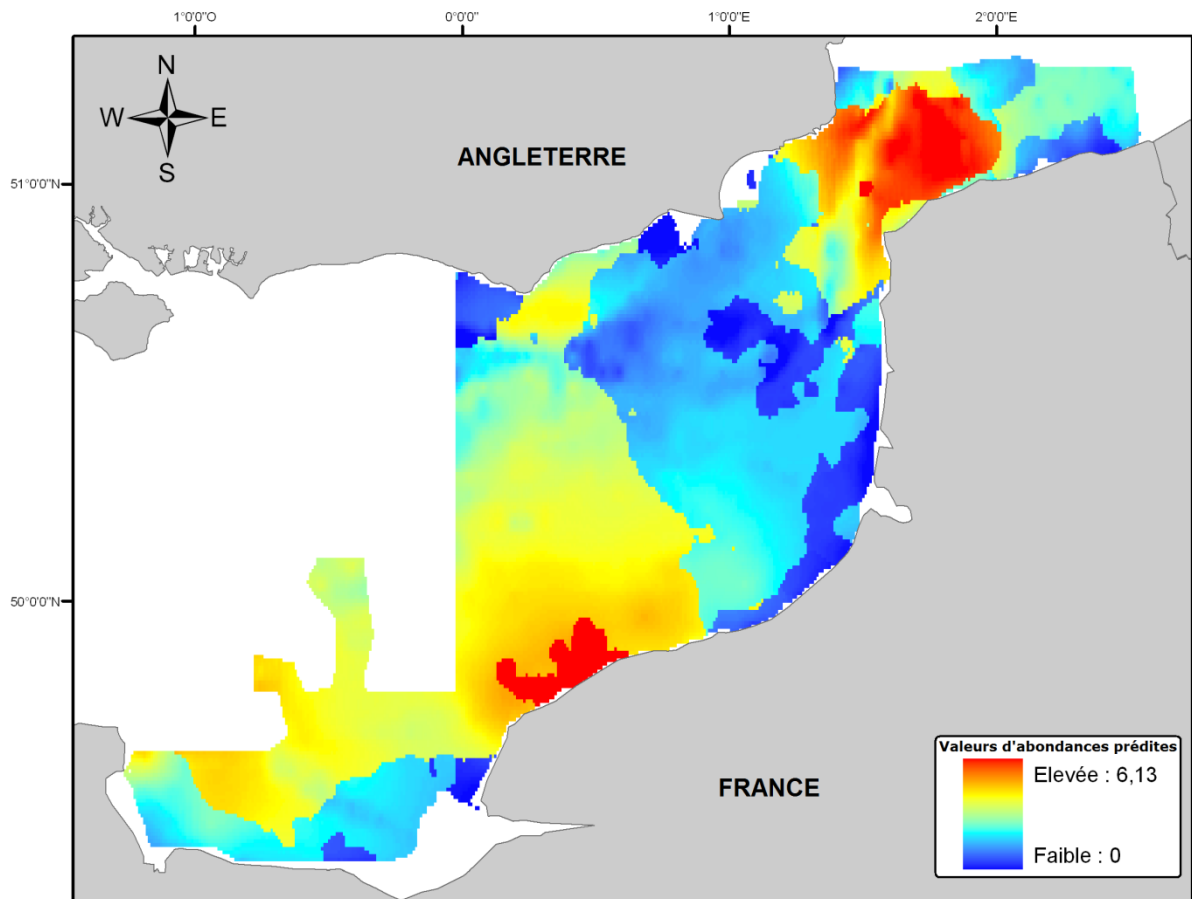


Figure 126 : Modèle d'habitat potentiel de *Corophium sextonae*.

***Galathea intermedia* Liljeborg, 1851**

Petite galathée, galathée naine

Embranchement : Arthropoda

Classe : Malacostraca

Ordre : Decapoda

Famille : Galatheidæ



Description - Espèce de petite taille (de 12 à 20 mm). C'est la plus petite galathée connue en Europe du nord-ouest. Sa carapace possède des stries transverses ciliées. Les marges latérales ont de nombreuses épines. Le rostre est terminé par une forte pointe et est bordé par quatre petites épines. Elle est reconnaissable aux deux épines sur le segment basal de l'antennule (les autres galathées en possédant trois). Cette espèce va du jaune au brun-rouge, en passant par le rose, parfois avec des points bleus.

Biologie - Elle peut se rencontrer en assez grand nombre (elle est souvent trouvée avec les *Pisidia longicornis* : le nombre de *Galathea* étant souvent inversement proportionnel au nombre de *Pisidia*, observations non publiées). Elle peut vivre sur les sédiments grossiers. Les femelles sont ovigères de mars à juillet ; les larves se trouvent dans le plancton de février à décembre (avec un maximum d'abondance de juin à septembre).

Groupe trophique - Omnivore (surtout carnivore)

Habitat benthique - Espèce vivant sur des substrats grossiers et cailloutis.

Répartition géographique - Très commune sur les côtes françaises et britanniques. De la Norvège au Sénégal. Méditerranée.

Galathea intermedia se trouve en fortes abondances dans tous les sédiments caillouteux et graveleux du bassin oriental de la Manche (Figure 127).

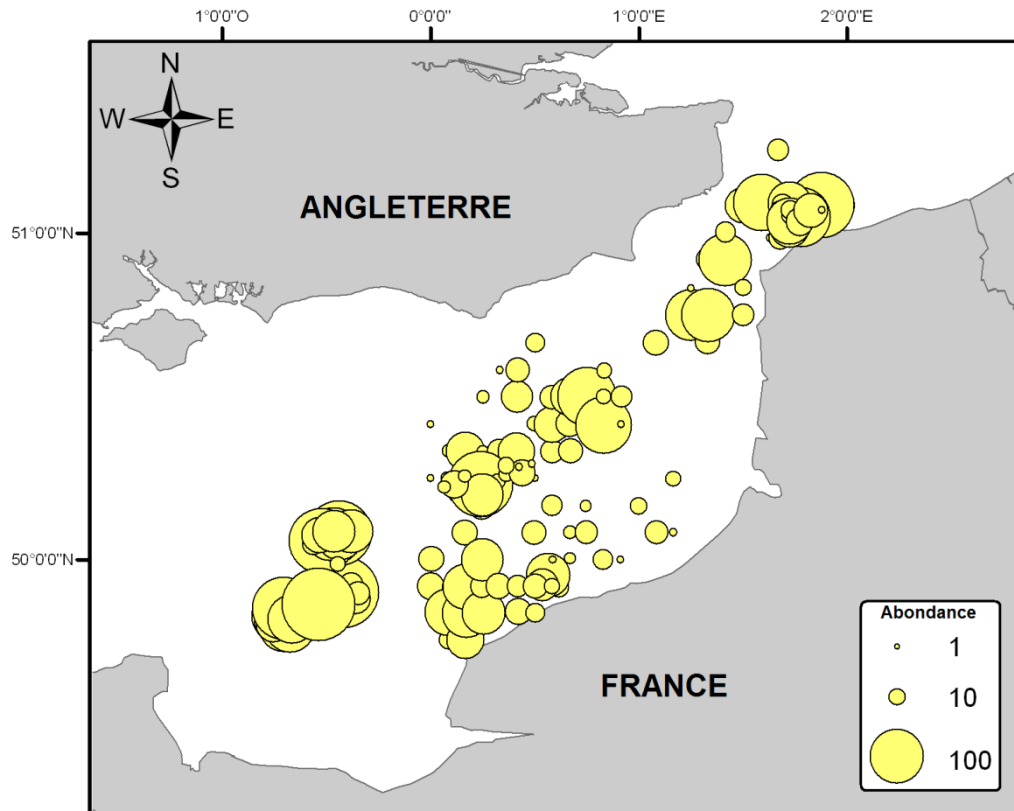


Figure 127 : Répartition de l'abondance de *Galathea intermedia* dans le bassin oriental de la Manche.

Pour cette espèce, il n'a pas été possible d'établir un modèle d'habitat potentiel.

Gastrosaccus spinifer (Goës, 1864)

Embranchement : Arthropoda
Classe : Malacostraca
Ordre : Mysida
Famille : Mysidae



Description - Long d'environ 21 mm, ce petit crustacé à l'allure de crevette est très facilement reconnaissable par son abdomen étroit avec, au niveau du cinquième segment, la présence d'une épine caractéristique en position dorsale. L'animal est transparent avec quelques pigments rouge ou jaune diffus.

Biologie - Cette espèce de mysidacé vit en majorité sur le fond, partiellement enfoui dans le sable et les herbiers de zostères. Ce sont des animaux suprabenthiques. En effet, cette espèce effectue des migrations régulières de cycle journalier : pendant les heures de jour elle reste sur le fond puis migre vers la surface pendant les heures d'obscurité.

Groupe trophique - Omnivore (surtout carnivore)

Habitat benthique - Sables fins à moyens propres à *Ophelia borealis*.

Distribution géographique - Très fréquente du nord de la Norvège jusqu'aux côtes marocaines, Méditerranée et mer Noire.

La carte de répartition de l'abondance de *Gastrosaccus spinifer* souligne que cette espèce se trouve principalement aux abords du détroit du Pas de Calais, dans les zones des bancs sableux (Figure 128). De plus, cette espèce est souvent présente en faibles abondances.

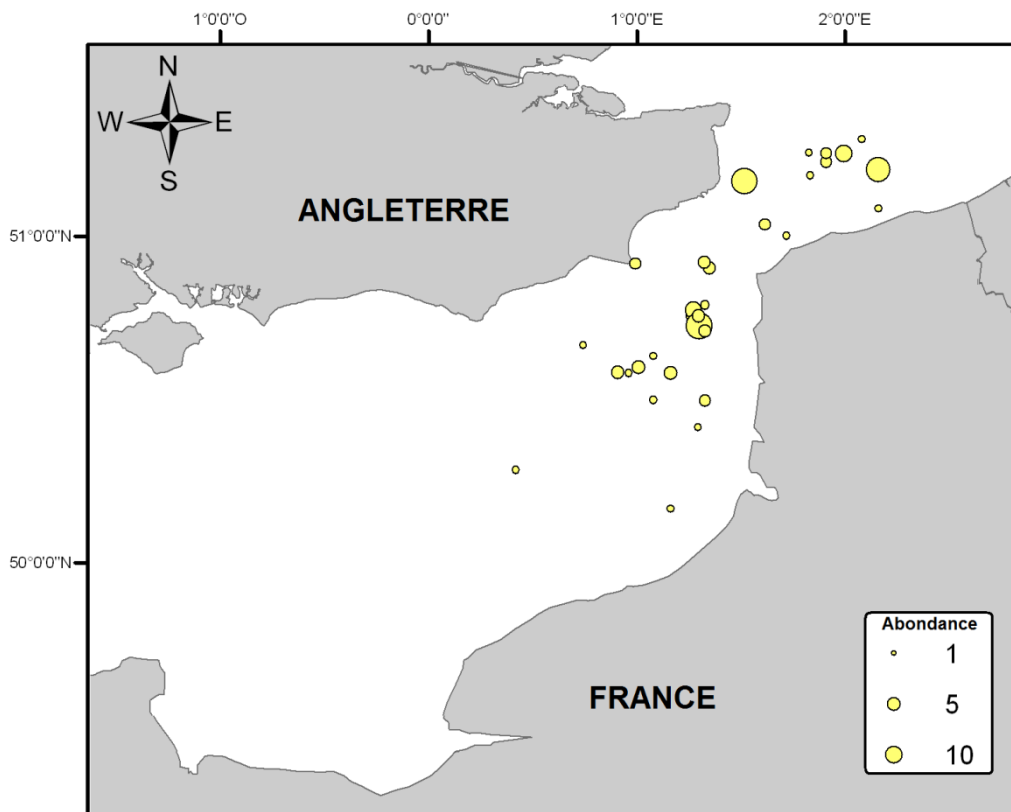


Figure 128 : Répartition de l'abondance de *Gastrosaccus spinifer* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel pour cette espèce se base sur les données de profondeur et les sédiments de sables grossiers, de graviers hétérogènes et dans une moindre mesure de sables moyens. Le modèle d'habitat potentiel est optimiste et prévoit les plus fortes abondances de *Gastrosaccus spinifer* dans les sables grossiers et les sables moyens, l'excluant des zones de sédiments grossiers (Figure 129). Cette distribution est partiellement en accord avec la répartition des abondances réelles. L'incertitude du modèle est faible pour cette espèce (elle est légèrement plus élevée dans les zones de faible occurrence).

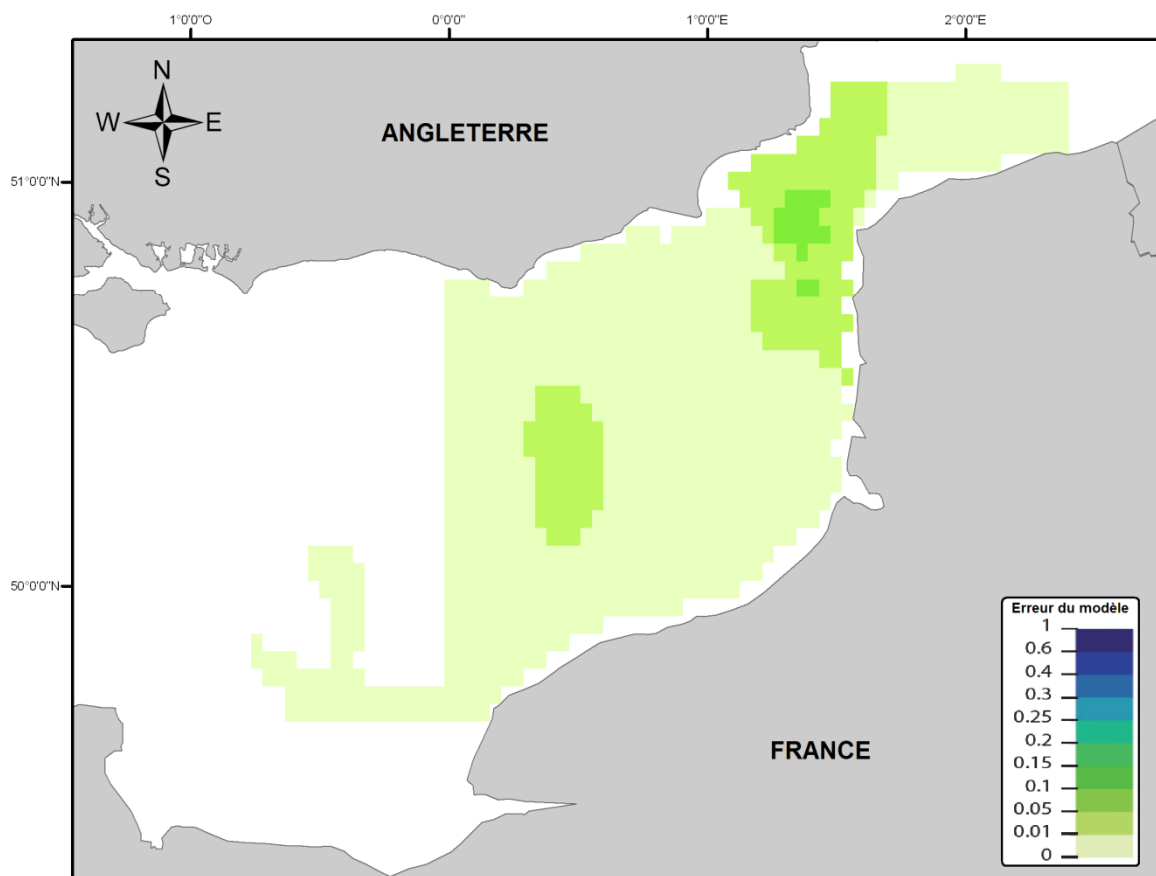
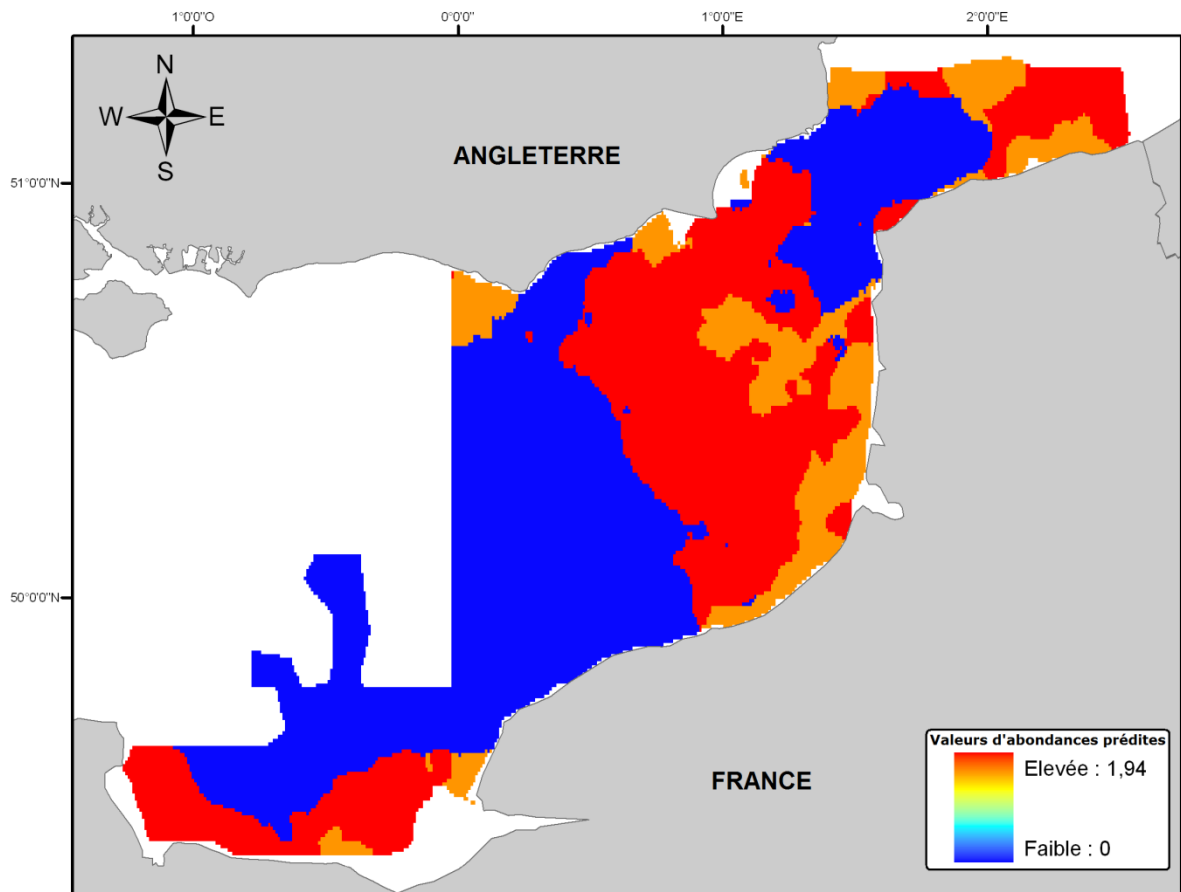


Figure 129 : Modèle d'habitat potentiel de *Gastrosaccus spinifer*.

***Pisidia longicornis* (Linnaeus, 1767)**

Crabe porcelaine

Embranchement : Arthropoda
Classe : Malacostraca
Ordre : Decapoda
Famille : Porcellanidae

Description - Petit crabe d'environ 9 mm, possédant des pinces et une carapace lisse.

Biologie - Espèce de petite taille incapable de nager. Peut exister jusqu'à des densités de 640 ind.m². Pourrait avoir une longévité de 3 ans. Sexes séparés. La reproduction est sporadique au cours de l'année. Les œufs sont présents de mars à septembre. Larves planctoniques, s'installant après 1 à 2 mois.

Groupe trophique - Suspensivore (mais considéré nécrophage par certains auteurs)

Habitat benthique - Cailloutis et galets. Très commun sur les estrans rocheux, *P. longicornis* peut vivre jusqu'à 100 m de profondeur.

Distribution géographique - Abondant sur les côtes britanniques et françaises. Distribué de la Norvège à l'Angola, les Canaries et la Méditerranée.



Ce crabe est inféodé aux zones de cailloutis sur lesquelles il se trouve en très fortes abondances (Figure 130). Dans une moindre mesure, il peut être trouvé sur les zones de graviers.

Le modèle d'habitat potentiel correspond bien aux observations faites sur les données d'abondances récoltées (Figure 131). Il positionne également les *Pisidia* sur les graviers, les excluant des sédiments fins. L'erreur du modèle est faible pour cette espèce.

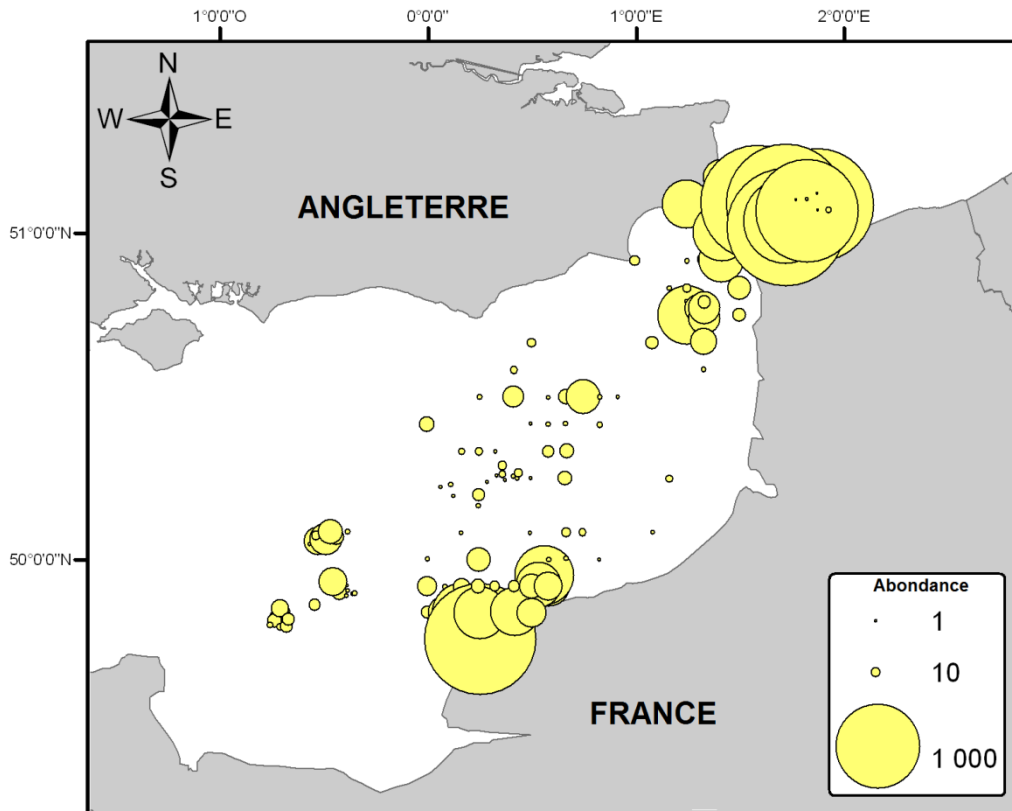


Figure 130 : Répartition des abondances de *Pisidia longicornis* dans le bassin oriental de la Manche.

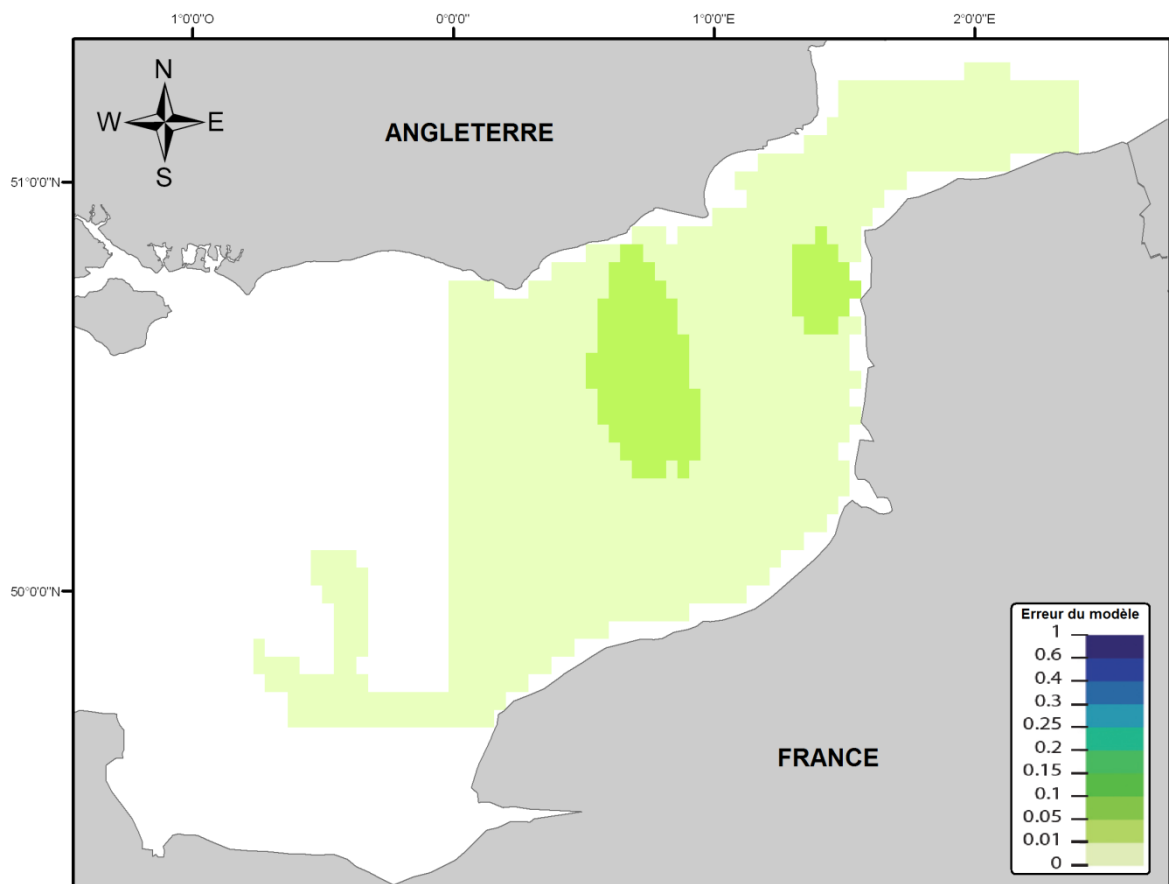
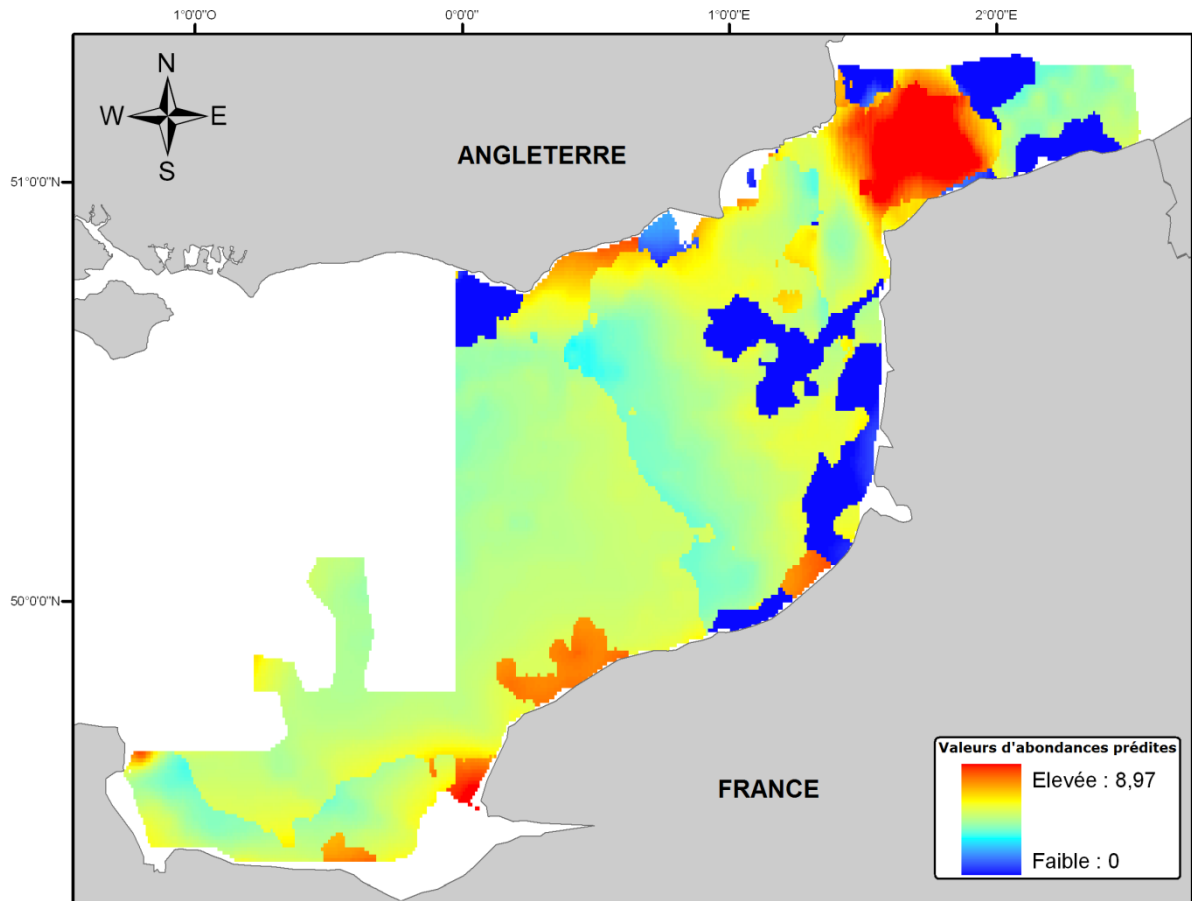


Figure 131 : Modèle d'habitat potentiel de *Pisidia longicornis*.

Nephtys cirrosa (Ehlers, 1868)

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Phyllodocida

Famille : Nephtyidae



Description – Espèce au corps grêle pouvant mesurer jusqu'à 10 cm de long (90-95 segments). Tête petite portant quatre petites antennes. Yeux difficilement distinguables. Large proboscis couvert de papilles proéminentes, qu'il projette pour s'enfouir dans le sédiment (notamment quand il est dérangé). Parapodes à ramées écartées, la dorsale étant un peu plus courte que la ventrale. L'étude détaillée des parapodes et des soies (Rainer, 1991) permet l'identification de *Nephtys cirrosa*, notamment par l'absence de cirres dorsaux. Branchies (rouge vif) du 4^{ème} sétigère jusqu'à l'extrémité postérieure. De couleur blanc jaunâtre, avec un prostomium généralement de couleur jaune.

Biologie – Sa reproduction a lieu entre mars et août. Larves planctoniques.

Groupe trophique - Carnivore. Prédateur de petits invertébrés (Hartmann-Schröder, 1971, Wolff, 1973, Fauchald et Jumars, 1979, Olive et Morgan, 1991).

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables moyens propres et les sables légèrement envasés.

Répartition géographique – De l'Ecosse jusqu'à la Méditerranée.

Nephtys cirrosa est une espèce affine des sables moyens dunaires. C'est d'ailleurs sur ce type de sédiments qu'elle est récoltée en Manche (Figure 132).

Le modèle d'habitat potentiel de *Nephtys cirrosa* est plus optimiste puisqu'il étend l'habitat potentiel de *Nephtys cirrosa* aux sables grossiers du bassin oriental de la Manche (Figure 133). Cependant, les maxima d'abondances prédits se situent toujours au niveau des zones de bancs sableux. L'incertitude du modèle est plus forte dans les zones de plus grande occurrence mais très faible dans les autres zones, signifiant qu'il n'y a pratiquement aucune incertitude concernant l'étendue des zones d'absence de cette espèce.

Il existe un autre modèle d'habitat développé pour *Nephtys cirrosa* dans la partie sud de la mer du Nord (Meißner *et al.*, 2008). Ce modèle fait intervenir quatre variables prédictives : la teneur en vases, la profondeur, le diamètre des grains et la salinité, cette dernière étant de moindre importance.

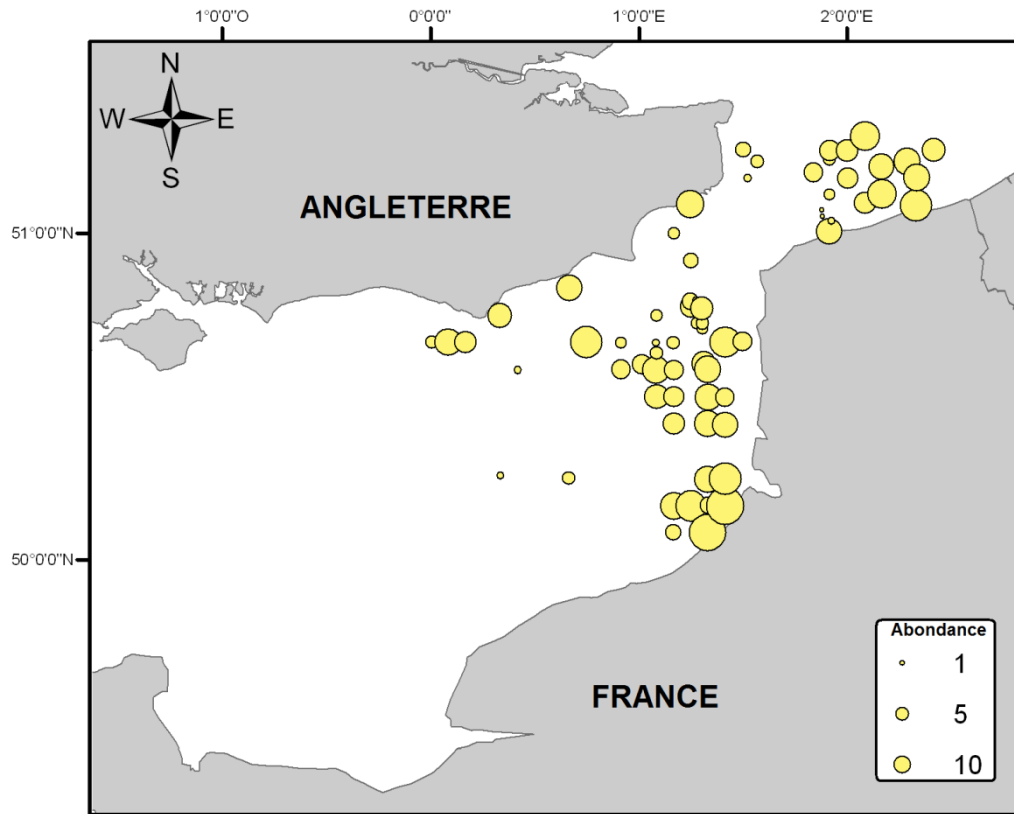


Figure 132 : Répartition des abondances de *Nephtys cirrosa* dans le bassin oriental de la Manche.

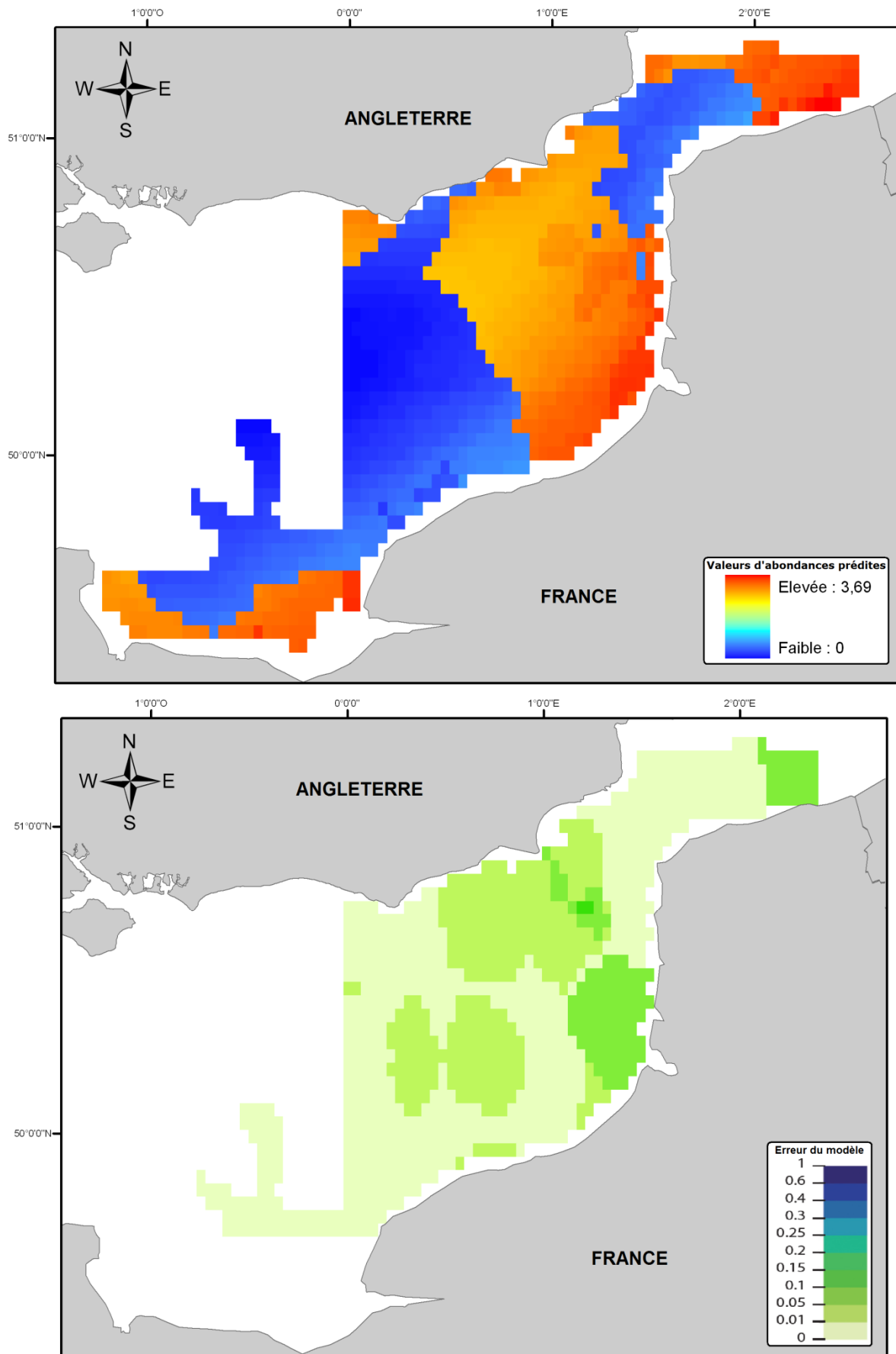


Figure 133. : Modèle d'habitat potentiel de *Nephtys cirrosa*.

Nephtys hombergii Savigny in Lamarck, 1818

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Phyllodocida

Famille : Nephtyidae



Description – Espèce au corps tétragonal de 90 à 200 segments (soit jusqu'à 20 cm). Tête petite portant quatre petites antennes. 2 petits yeux. Large proboscis couvert de papilles proéminentes, qu'il projette pour s'enfouir dans le sédiment (notamment quand il est dérangé). Parapodes à ramées écartées. L'étude détaillée des parapodes et des soies (Rainer, 1991) permet l'identification de *Nephtys hombergii*, notamment par la combinaison d'absence de cirres dorsaux, de lobes parapodiaux incisés et de grandes branchies recourbées (trouvées du 4^{ème} sétigère jusqu'à l'extrémité postérieure). De couleur blanc nacré ou gris rosé irisé.

Biologie – Les sexes sont séparés. Les femelles, mûres la seconde année, se reproduisent une fois tous les ans. La reproduction a lieu entre avril et juin. Larves planctoniques. C'est une espèce qui peut vivre potentiellement cinq ans (détermination faite par le comptage des stries de croissance annuelle dans les mâchoires). Des études en mer de Wadden ont montré que cette espèce est sensible aux hivers rigoureux (Hartmann-Schröder, 1971, Wolff, 1973, Kirkegaard, 1978, Beukema, 1979, Fauchald et Jumars, 1979, Beukema et Essink, 1986, Mathivat-Lallier et Cazaux, 1991, Olive et Morgan, 1991, Rainer, 1991). Il semble supporter des zones à concentration faible en oxygène (de façon régulière ou permanente).

Groupe trophique – Omnivore. Il est prédateur de petits mollusques, de crustacés, d'autres polychètes mais également de diatomées et de détritus.

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables fins et envasés.

Répartition géographique – De la mer de Barents jusqu'à l'Afrique du Sud. Méditerranée.

Nephtys hombergii est présente dans très peu de stations dans le bassin oriental de la Manche et en très petits nombres (Figure 134).

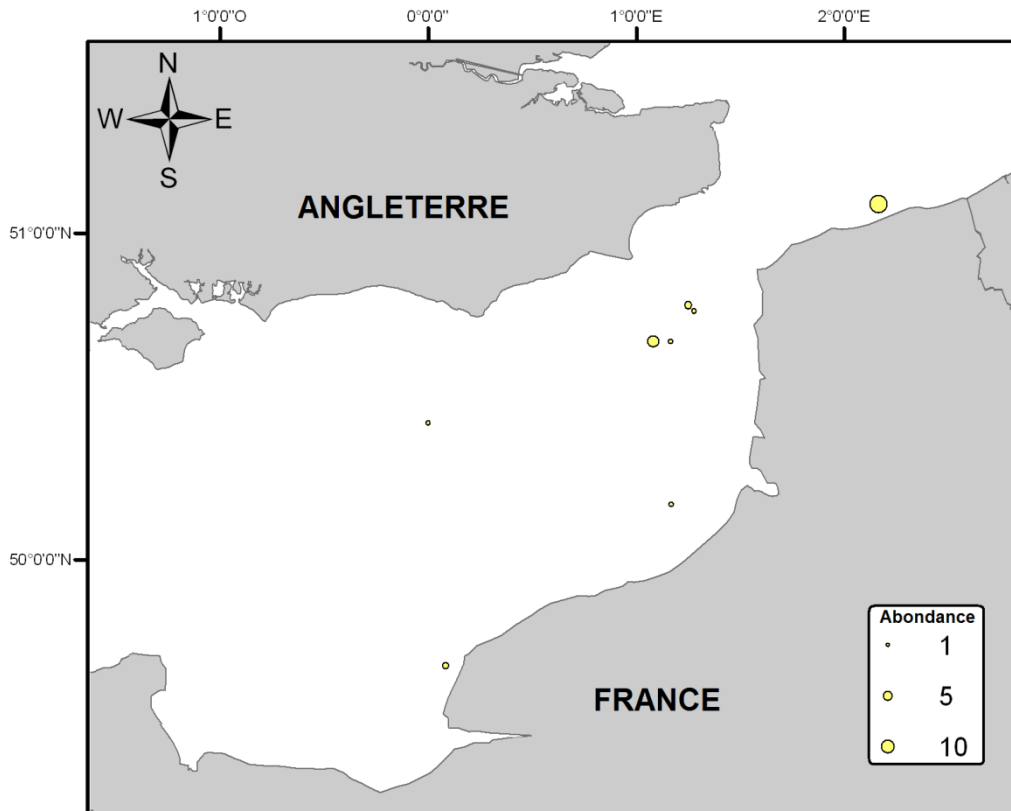


Figure 134 : Répartition des abondances de *Nephtys hombergii* dans le bassin oriental de la Manche.

Ce faible nombre d'observations fait qu'un modèle d'habitat potentiel n'a pas pu être créé pour *Nephtys hombergii*.

Ophelia borealis Quatrefages, 1866

Ophélie boréale

Embranchement : Annelida
Classe : Polychaeta
Ordre : Opheliida
Famille : Opheliidae



Description - Corps fusiforme court (5 cm) et épais possédant une gouttière ventrale très marquée. La tête est pointue sans appendice. Sa couleur varie du rose au rouge brique.

Biologie - L'espèce vit dans les sédiments à dominance sableuse (sables moyens à grossiers) dépourvus de pélites. Elle ingère le sédiment et la matière organique déposée et digère le microphytobenthos, les protozoaires, etc. vivant dans le sédiment.

Groupe trophique - Dépositivore

Habitat benthique - Sables fins à moyens propres.

Distribution géographique - Côtes atlantiques européennes.

Cette espèce est affine des zones de sables, dans lesquelles elle peut être trouvée en fortes abondances (Figure 135), notamment aux abords du détroit du Pas de Calais et au sud de la mer du Nord.

Le modèle d'habitat potentiel développé pour cette espèce est optimiste et simule une distribution de l'espèce dans les sables moyens et les sables grossiers (Figure 136). Il l'exclut fortement des zones à sédiments grossiers. Pour construire cette distribution, il se base sur la tension de cisaillement, la température, les sables grossiers et les sables moyens. L'incertitude du modèle est néanmoins plus forte dans les zones de faible occurrence, signifiant qu'il existe de l'incertitude sur les zones d'absence de cette espèce.

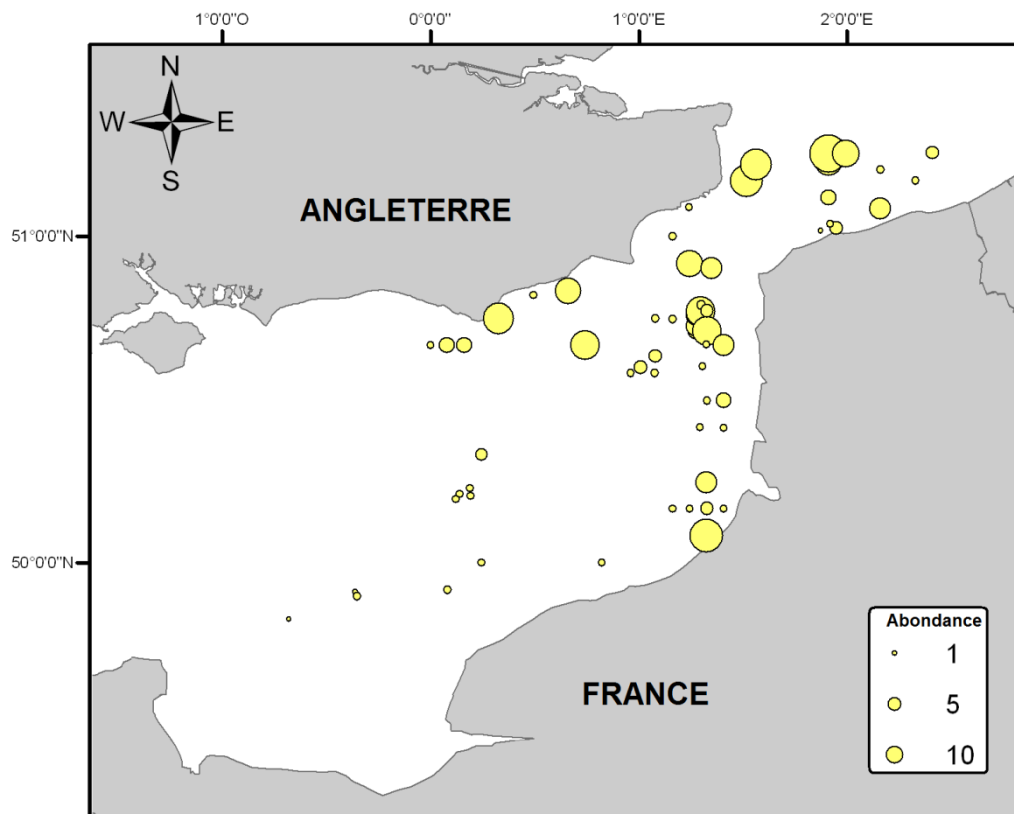


Figure 135 : Répartition des abondances d'*Ophelia borealis* dans le bassin oriental de la Manche.

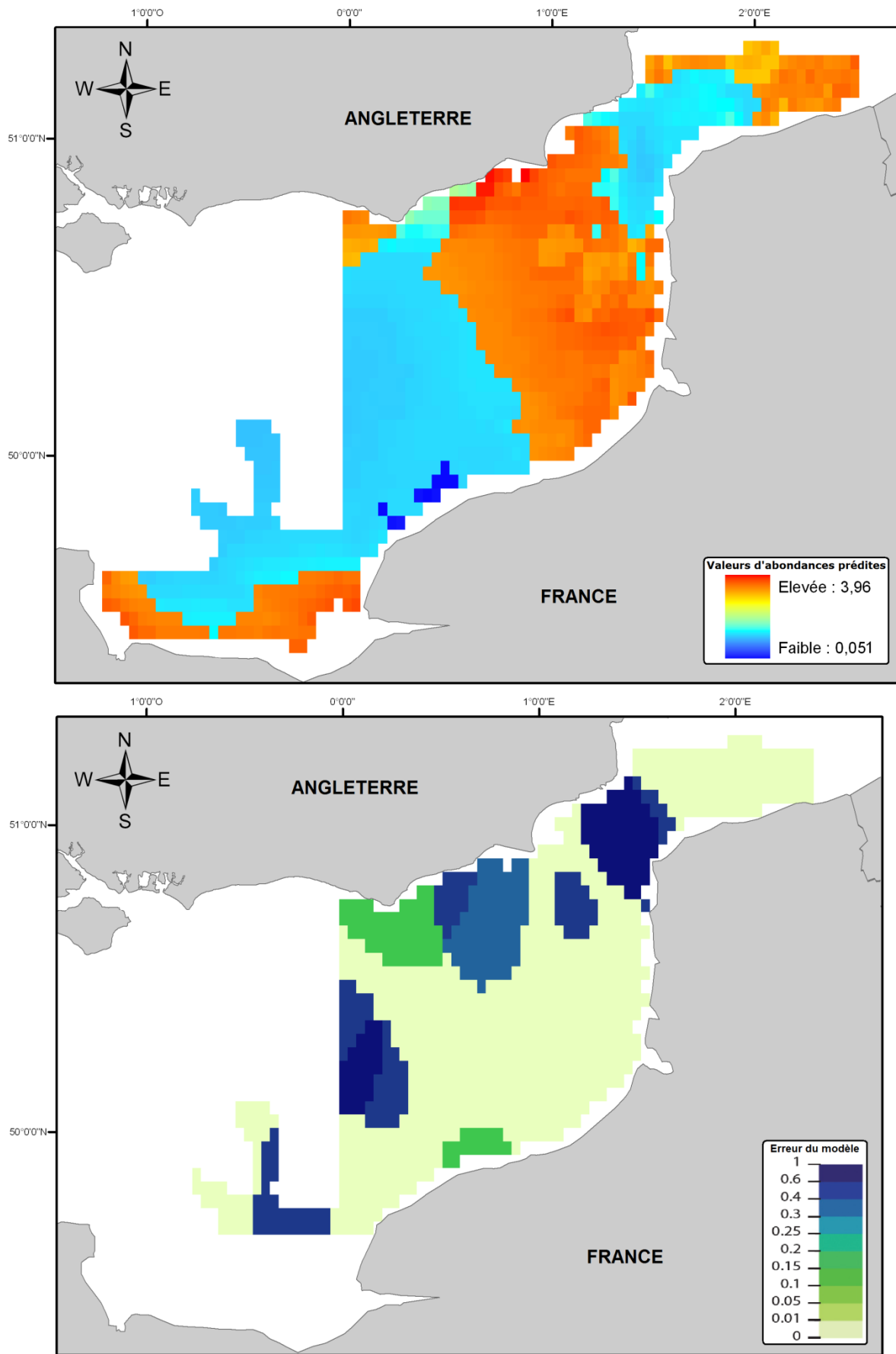


Figure 136 : Modèle d'habitat potentiel d'*Ophelia borealis*.

Owenia fusiformis Delle Chiaje, 1844

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Oweniida

Famille : Oweniidae



Description – Polychète vivant dans un tube membraneux, recouvert d'une imbrication de grains de sable et de débris de coquilles (Fager, 1964, Hartmann-Schröder, 1971, Hayward et Ryland, 1990). Il possède un corps rigide, épais et cylindrique de 20 à 30 segments (soit jusqu'à 10 cm de long). Le prostomium un peu enflé porte une couronne tentaculaire de six branchies courtes et échancrées (réduites à un simple entonnoir échancré chez les juvéniles). 2 taches oculaires à la base des branchies. Segments thoraciques ne portant que des soies capillaires dorsales (sauf le premier segment, segment buccal, achète). Segments abdominaux portant des soies capillaires dorsales épineuses et des tores uncinifères. Sétigères antéanaux sans soies capillaires. Pygidium bilobé. De coloration jaunâtre ou verdâtre, avec des bandes transversales plus claires.

Biologie – La principale période de ponte est courte (Juin-Juillet). Les larves restent dans le plancton pour 4 semaines. Espèce pouvant adapter sa stratégie reproductive à différentes conditions environnementales. Dans les eaux plus tempérées, elle produit un type particulier de larves planctotrophiques et la reproduction a lieu en automne.

Le tube dans lequel elle vit est partiellement enfoui dans le sédiment ; l'autre partie s'étendant à l'extérieur. Il peut vivre dans des zones à faible concentration en oxygène pendant des temps courts.

Groupe trophique – Mixte. Espèce choisissant de façon sélective les particules en suspension ou déposées qu'elle ingère. Elle se nourrit par l'intermédiaire de sa couronne tentaculaire, tantôt dressé, tantôt courbé sur la surface du sédiment, exposant ainsi sa partie supérieure. Il est souvent retrouvé dans les estomacs des poissons plats, des flétans et des morues (Hartmann-Schröder, 1971, Wolff, 1973, Curtis, 1977, Fauchald et Jumars, 1979, Gentil *et al.*, 1990).

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables fins envasés, jusqu'à 30 m de fond.

Répartition géographique - De la mer du Nord jusqu'à l'Afrique du Sud. Méditerranée.

Owenia fusiformis est présente sur des stations de sédiments hétérogènes du bassin oriental de la Manche (Figure 137). Elle a également tendance à être un peu plus présente le long des côtes anglaises que des côtes françaises.

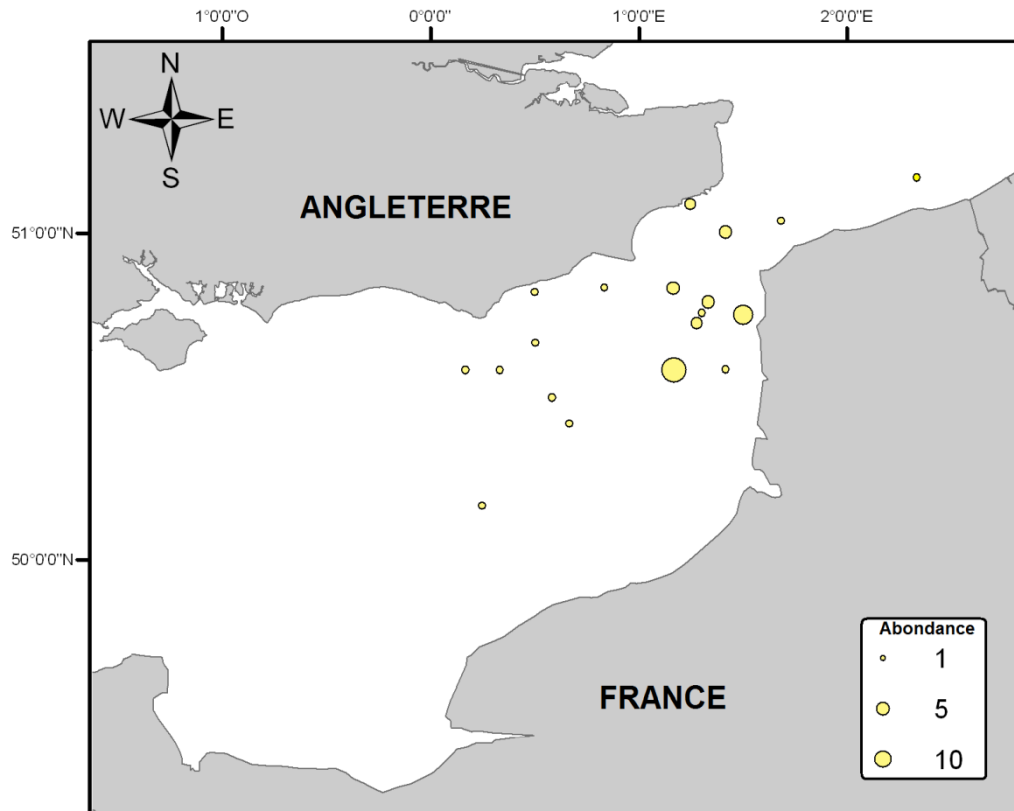


Figure 137 : Répartition des abondances d'*Owenia fusiformis* dans le bassin oriental de la Manche.

Il n'a pas été possible de bâtir un modèle d'habitat potentiel pour cette espèce.

***Pectinaria (Lagis) koreni* (Malmgren, 1866)**

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Terebellida

Famille : Pectinariidae

Description – Espèce vivant dans un tube conique allongé, faiblement arqué, formé de petits grains de sable et de débris coquilliers, de la couleur du sédiment dans lequel vit l'animal, souvent prolongé par un petit tube muqueux. L'animal est petit et a un corps de forme conique, composé de 15 segments à soies dorsales capillaires dont 12 uncinigères (du 4^e au 15^e sétigère). Il peut mesurer jusqu'à 5 cm de long. Tête portant un voile céphalique découpé en de nombreuses papilles effilées. De chaque côté se trouvent 10-15 palées dorées, flexibles à l'extrémité et souvent enroulées vers le dos. Deux paires de branchies rouge carmin viennent compléter ces éléments distinctifs de l'espèce. De couleur blanc irisé de rose, avec les branchies rouge carmin et un vaisseau ventral rouge visible par transparence. (Hartmann-Schröder, 1971, Holthe, 1986, Hayward et Ryland, 1990).



Biologie – Sexes séparés. La reproduction a lieu entre le printemps et l'été. Larves pélagiques. Espèce pouvant vivre 1 an et se reproduisant une fois dans sa vie. Croissance rapide après le recrutement, ce qui caractérise les espèces vivant dans des milieux instables. Peut former des patches.

Groupe trophique – Dépositivore. Il vit la « tête en bas », creusant le sédiment avec ses soies et triant le sédiment avec ses tentacules. Pendant cette action, le tube est orienté verticalement ou de façon diagonale, avec l'extrémité projetée vers la surface. L'espèce se nourrit dans les 10 premiers centimètres de sédiments. Des galeries en U sont formées lorsque l'animal vit dans des sédiments anoxiques.

Habitat benthique - Espèce vivant dans différents types de sédiments (de la vase au sable grossier) mais préférant les sédiments fins. Peut être trouvée dans les sédiments anoxiques, au milieu des huîtres et parmi les tubes de *Sabellaria* (Hartmann-Schröder, 1971, Holthe, 1986, Irlinger *et al.*, 1991).

Répartition géographique – Atlantique nord-est, Manche, Mer du Nord. Méditerranée.

Parmi les stations échantillonnées dans le bassin oriental de la Manche, *Pectinaria (Lagis) koreni* a essentiellement été récoltée à proximité des côtes anglaises, avec des stations à plus fortes abondances près de la pointe de Dungeness (Figure 138).

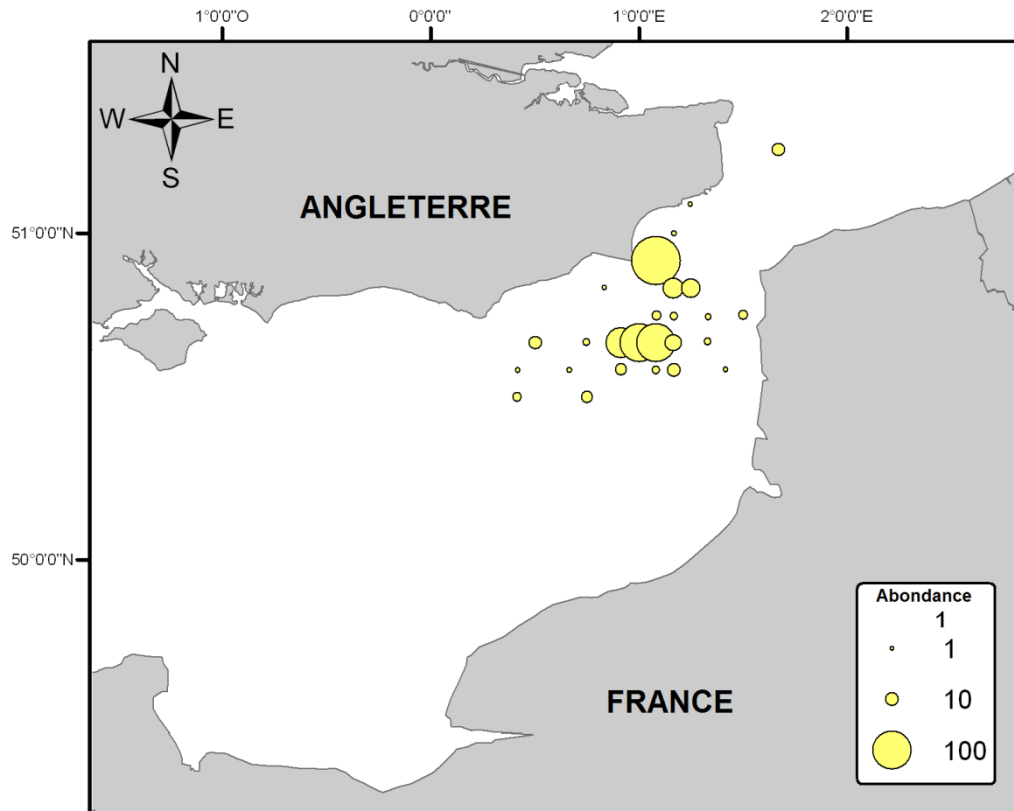


Figure 138 : Répartition des abondances de *Pectinaria (Lagis) koreni* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel pour cette espèce est plus optimiste (Figure 139): il étend aux zones de bancs sableux la présence de cette espèce, ainsi qu'en baie de Seine (cette zone doit posséder des sédiments semblables à la zone de la pointe de Dungeness). Les erreurs du modèle sont un peu plus élevées dans les zones de plus faible occurrence de cette espèce, traduisant de l'incertitude les zones d'absence de cette espèce.

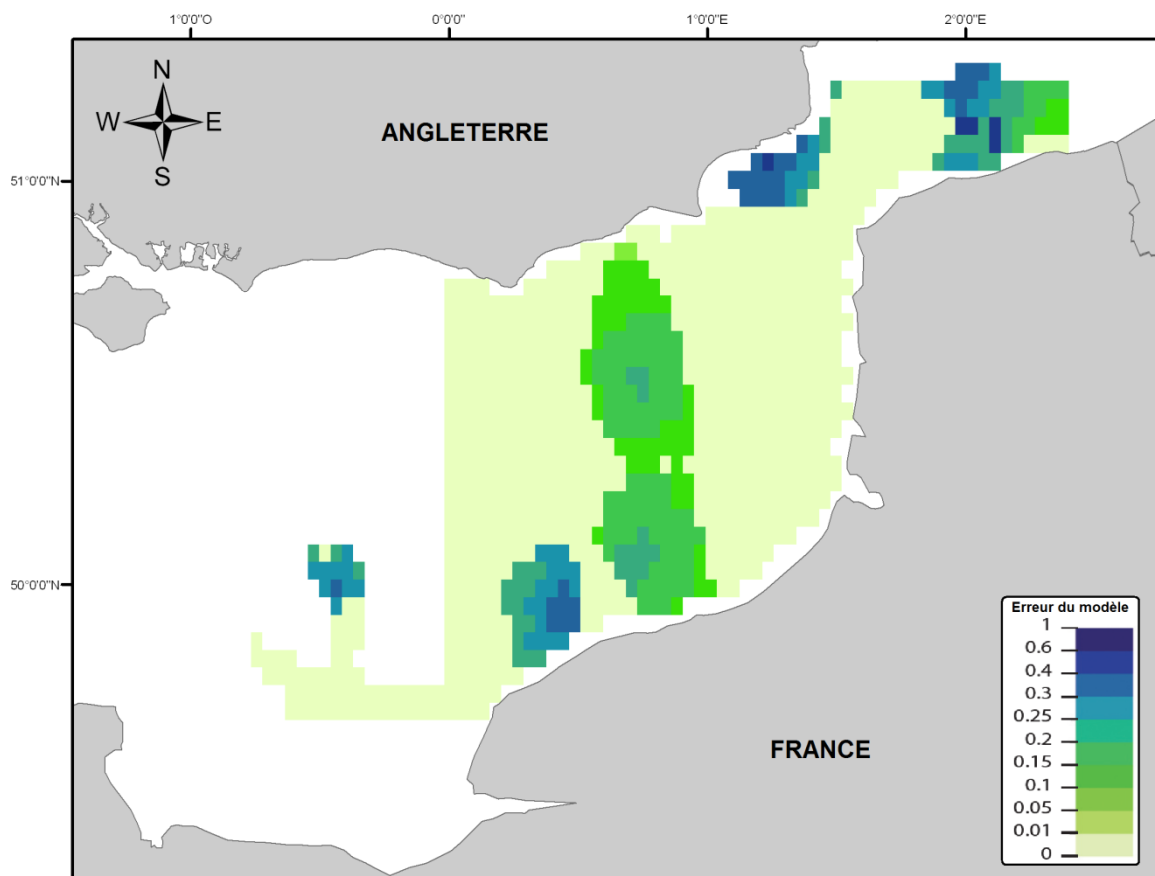
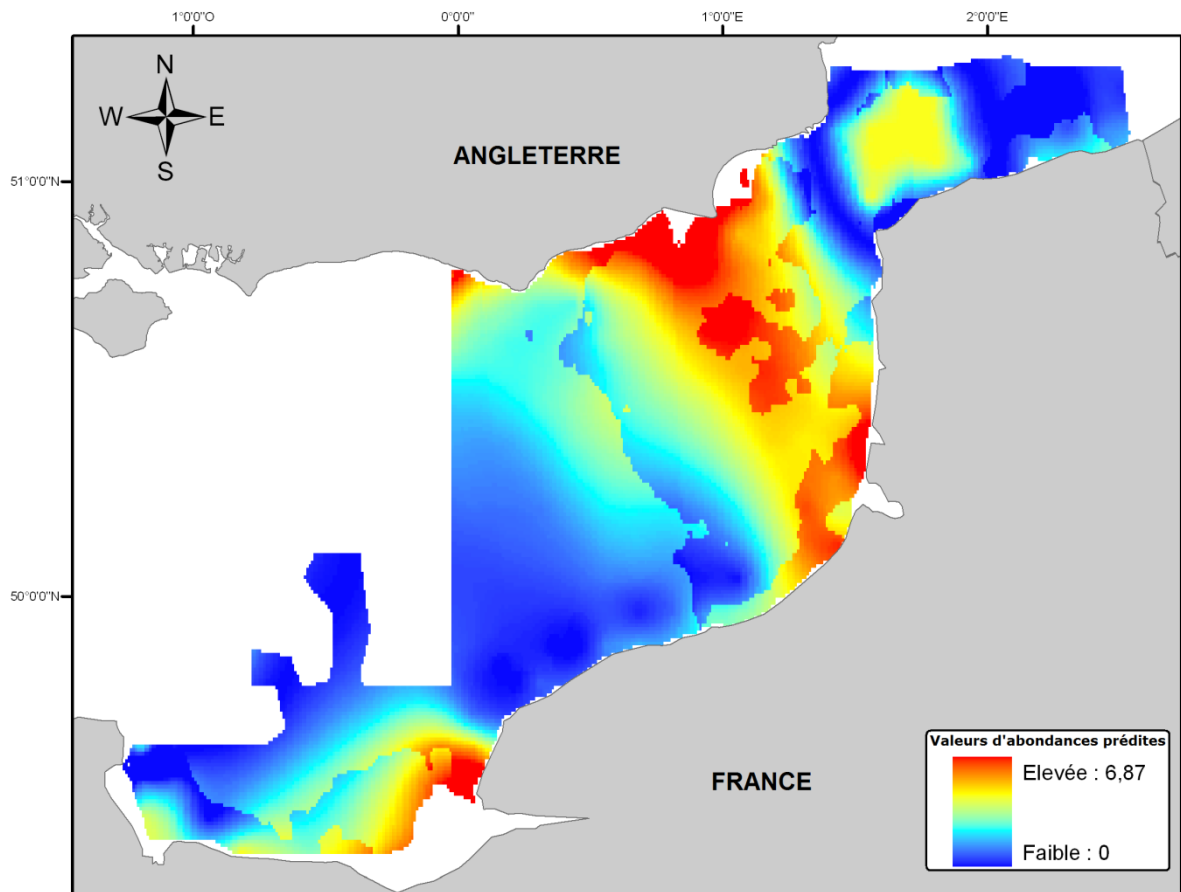


Figure 139 : Modèle d'habitat potentiel de *Pectinaria (Lagis) koreni*.

Pisone remota (Southern, 1914)

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Phyllodocida

Famille : Pisionidae



Description – Espèce au corps long et étroit, très effilé postérieurement, pouvant mesurer jusqu'à 6 cm. Prostomium indistinct du segment buccal. 2 paires d'yeux coalescents. Mâchoires en forme de croissant, visible par transparence. Cirre ventral du 2^e sétigère long et mince, cirre dorsal sphérique avec un petit bouton allongé. Parapodes allongés à extrémité bilobée ; cirres ventraux et dorsaux globuleux, pédiculés surmontés d'une papille ciliée. Incolore ou rose pâle.

Biologie – Larves planctoniques après une copulation interne (Stecher, 1968).

Groupe trophique – Dépositivore.

Habitat benthique - Vit dans les sables grossiers.

Répartition géographique – Atlantique nord.

Pisone remota est rencontrée dans le bassin oriental de la Manche dans les zones de sables grossiers qui jouxtent les zones de bancs sableux du sud du détroit du Pas de Calais et du sud de la mer du Nord (Figure 140). Cette espèce est également retrouvée dans quelques stations de sédiments sablo-graveleux en centre Manche.

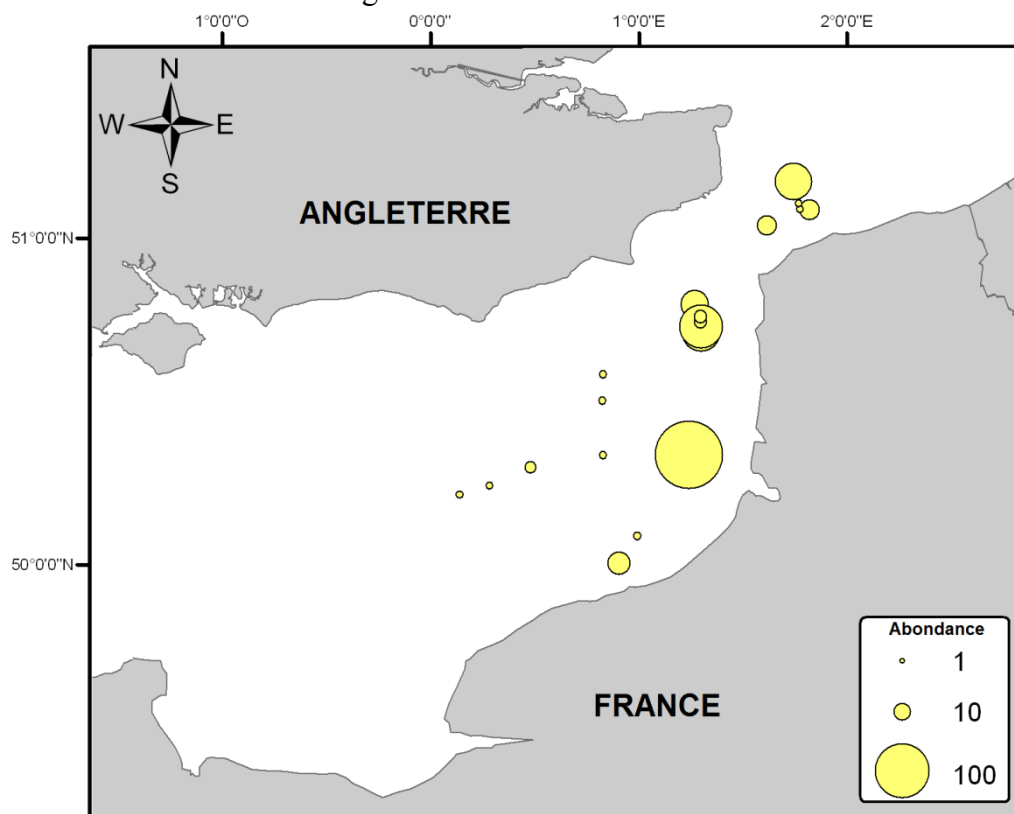


Figure 140 : Répartition des abondances de *Pisone remota* dans le bassin oriental de la Manche.

Il n'a pas été possible pour cette espèce d'obtenir un modèle d'habitat potentiel.

Pomatoceros Philippi, 1844

Embranchement : Annelida

Classe : Polychaeta

Ordre : Sabellida

Famille : Serpulidae



Description – Vit dans un tube calcaire pouvant atteindre 3,5 mm de large et jusqu'à 25 mm de long, blanc, lisse et irrégulièrement incurvé. Une arête médiane (parfois complétée par des arêtes latérales) se termine par une projection au-delà de l'ouverture. L'animal possède un opercule différent en fonction des espèces (conique et concave chez *P. triqueter*, portant le plus souvent trois pointes ; convexe et avec un nombre de pointes variables - maximum trois - chez *P. lamarcki*). La coloration du corps est lumineuse mais variable (souvent jaunâtre). La couronne de tentacules (radioles) est striée avec des couleurs variables (bleu, verdâtre, entièrement blanche...).

Biologie - Il est encroûtant. Le recouvrement des substrats peut être supérieur à 70 % de la surface étudiée. La reproduction est de type hermaphrodite protandre et a lieu toute l'année.

Groupe trophique - Suspensivore

Habitat benthique - Sur toutes sortes de sédiments grossiers, cailloutis et sur les coquilles.

Répartition géographique - Commun et largement répandu sur les côtes françaises et britanniques. Se trouve sur les côtes de l'Atlantique est (de l'Islande à la Mauritanie) et en mer Méditerranée.

Pomatoceros est un taxon qui peut se trouver sur n'importe quel type de substrats durs (des coquilles jusqu'aux cailloutis). De plus, c'est une espèce qui peut s'avérer résistante à la présence de sable. C'est pourquoi elle se retrouve principalement sur les zones de cailloutis (déroit du Pas de Calais, Pays de Caux), sur les graviers mais aussi à proximité des zones de sables s'il existe une proportion non négligeable de coquilles (Figure 141).

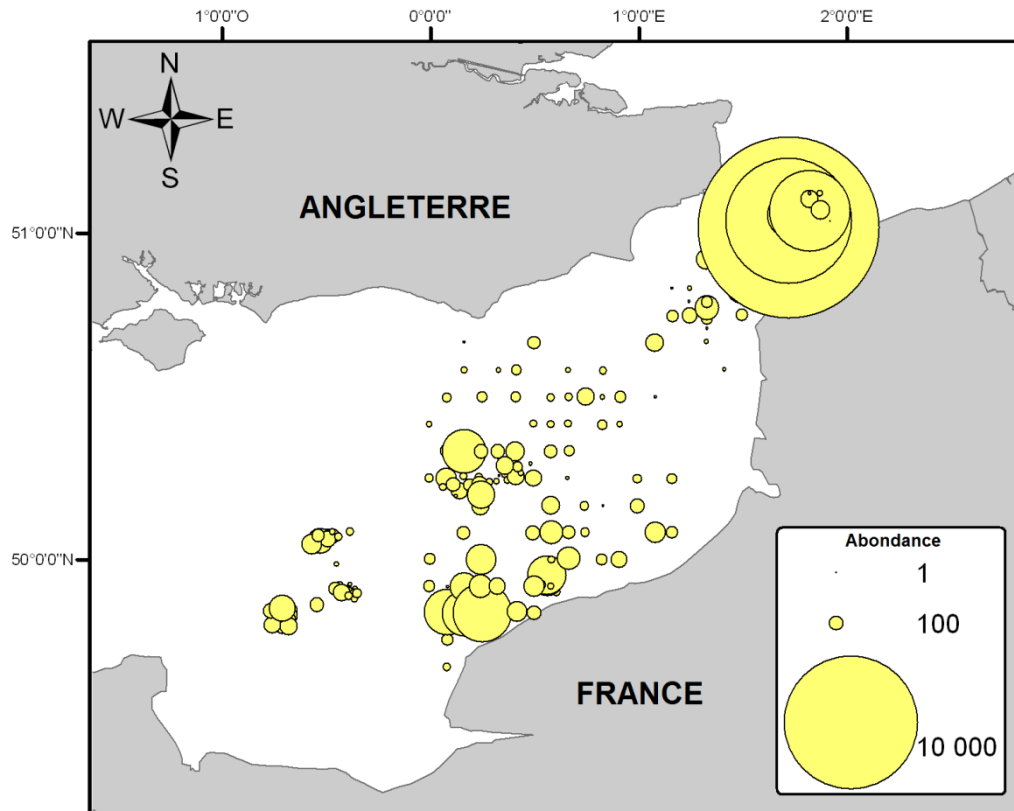


Figure 141 : Répartition des abondances de *Pomatoceros* dans le bassin oriental de la Manche.

Cette distribution naturelle assez étendue de *Pomatoceros* fait qu'il n'a pas été possible de développer un modèle d'habitat potentiel.

Polygordius lacteus Schneider, 1868

Embranchement : Annelida
Classe : Polychaeta canalipalpata (Incertae sedis)
Famille : Polygordiidae



Description - Archiannélide vermiforme sans segmentation apparente adapté à la vie interstitielle, pouvant atteindre une taille de 6 cm pour un diamètre de 1 à 2 mm. Les seuls appendices visibles sont deux antennes situées sur la tête.

Biologie - Espèce hermaphrodite produisant des larves benthiques. L'habitat préférentiel est constitué de sables grossiers propres dans lesquels l'animal se déplace par reptation. Il se nourrit aux dépens de copépodes benthiques et de larves de poissons. Ses principaux prédateurs sont les poissons plats.

Groupe trophique -

Habitat benthique - Espèce affine des sables grossiers propres.

Répartition géographique - Manche, mer du Nord.

Dans le bassin oriental de la Manche, *Polygordius lacteus* se trouve à proximité des zones de cailloutis du détroit du Pas de Calais et dans les zones de sables grossiers.

Le modèle d'habitat potentiel de *Polygordius lacteus*, basé sur la température, la profondeur et les sables grossiers, met en relief les zones de sables grossiers comme habitat potentiel de *Polygordius lacteus*, ce qui est en accord avec les données récoltées sur le terrain (Figure 143). L'erreur du modèle reste faible pour cette espèce.

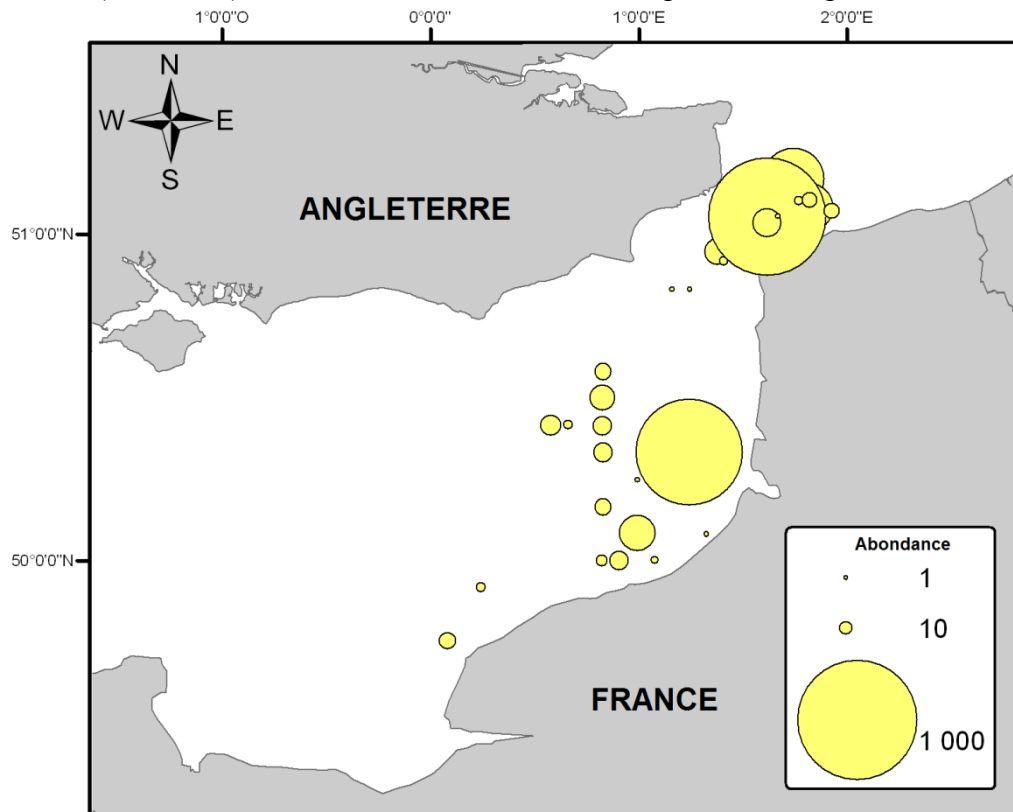


Figure 142 : Répartition des abondances de *Polygordius lacteus* dans le bassin oriental de la Manche.

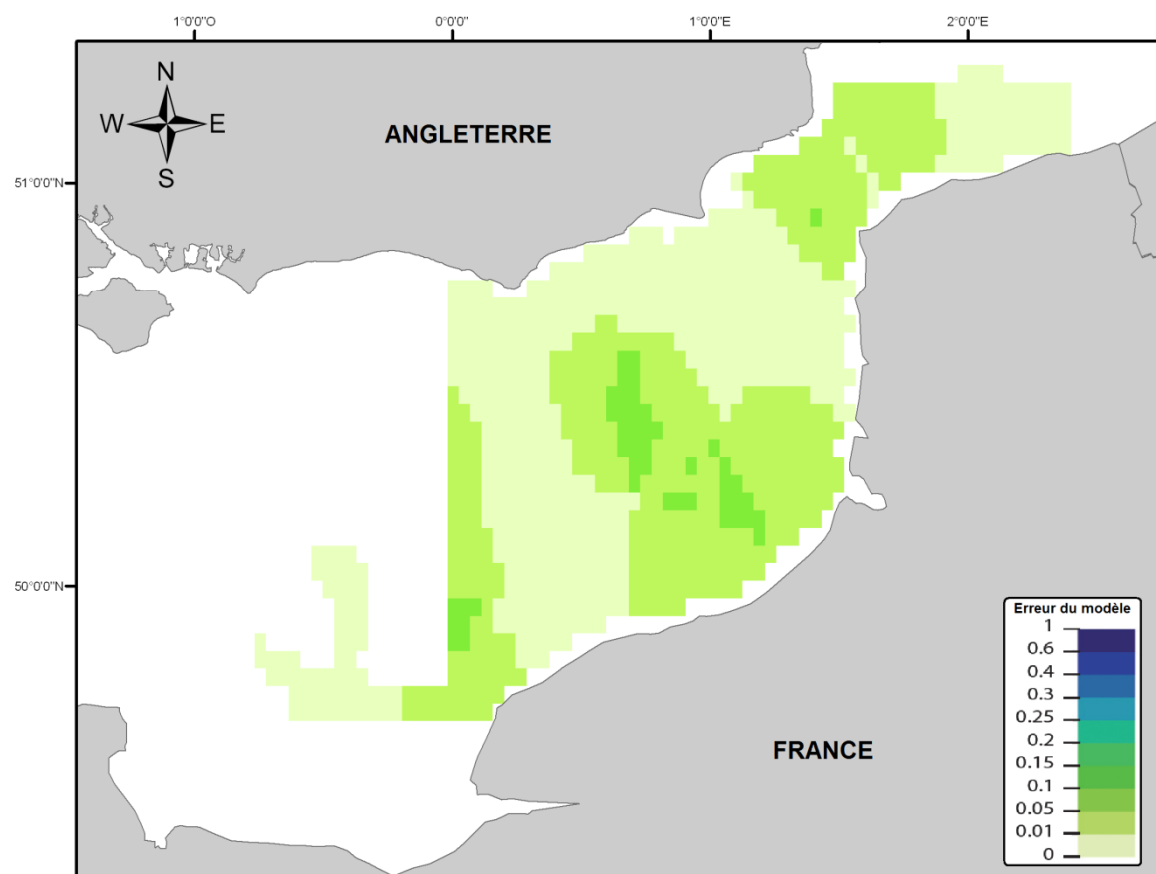
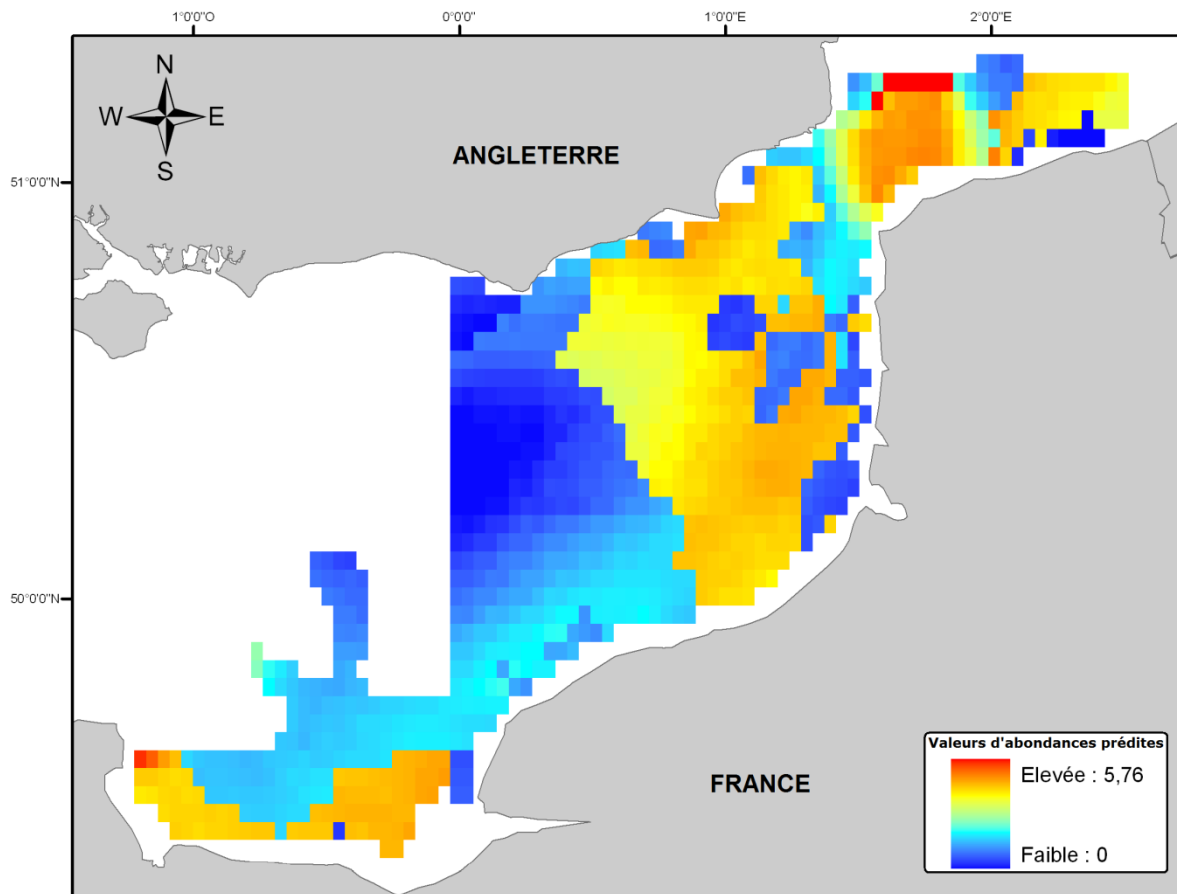


Figure 143 : Modèle d'habitat potentiel de *Polygordius lacteus*.

Spiophanes bombyx (Clarapède, 1870)

Embranchement : Annelida
Classe : Polychaeta
Ordre : Spionida
Famille : Spionidae



Description – Espèce au corps filiforme, un peu aplati dorsalement avec des bourrelets transversaux ciliés, comportant 180 sétigères au maximum (soit jusqu'à 6 cm). Tête portant deux cornes frontales et une troisième corne pointue sur le dos, ainsi que deux gros palpes courts, ne dépassant pas le 10^e sétigère. 4 yeux en carré. Pas de branchies. Le premier sétigère porte par une longue soie incurvée, signe distinctif de l'espèce. Les lobes dorsaux des parapodes sont particulièrement pointus. D'une coloration rose vif antérieurement, devenant brun verdâtre ou rouge vineux dans la partie postérieure. L'espèce construit des tubes rigides, composés de grains de sable (Hartmann-Schröder, 1971, Hayward et Ryland, 1990).

Biologie – Larves planctoniques observées entre avril et décembre, avec un maximum en mai-juin et août-septembre.

Groupe trophique – Mixte : dépositivore sélectif et suspensivore. Il ingère des particules de sédiments, des organismes planctoniques et des organismes méiobenthiques (Hartmann-Schröder, 1971, Wolff, 1973, Fauchald et Jumars, 1979, Dauer *et al.*, 1981, Hayward et Ryland, 1990). Pendant la phase suspensivore, les particules capturées sont accumulées dans un canal cilié avant d'être transportées jusqu'au pharynx (c'est ce que Dauer *et al.*, 1981 appellent le « basal food groove accumulation behaviour »). C'est le seul Spionidae qui a ce comportement alimentaire.

Habitat benthique - Espèce vivant dans les sables fins, parfois légèrement envasés. Rencontrée jusqu'à 60 m de fond.

Répartition géographique – Atlantique nord-est. Méditerranée. Pacifique nord.

Dans le bassin oriental de la Manche, *Spiophanes bombyx* est présente dans les sables moyens dunaires de la zone des bancs sableux au sud du détroit du Pas de Calais, et également dans quelques stations le long des côtes anglaises et au sud de la mer du Nord (Figure 144).

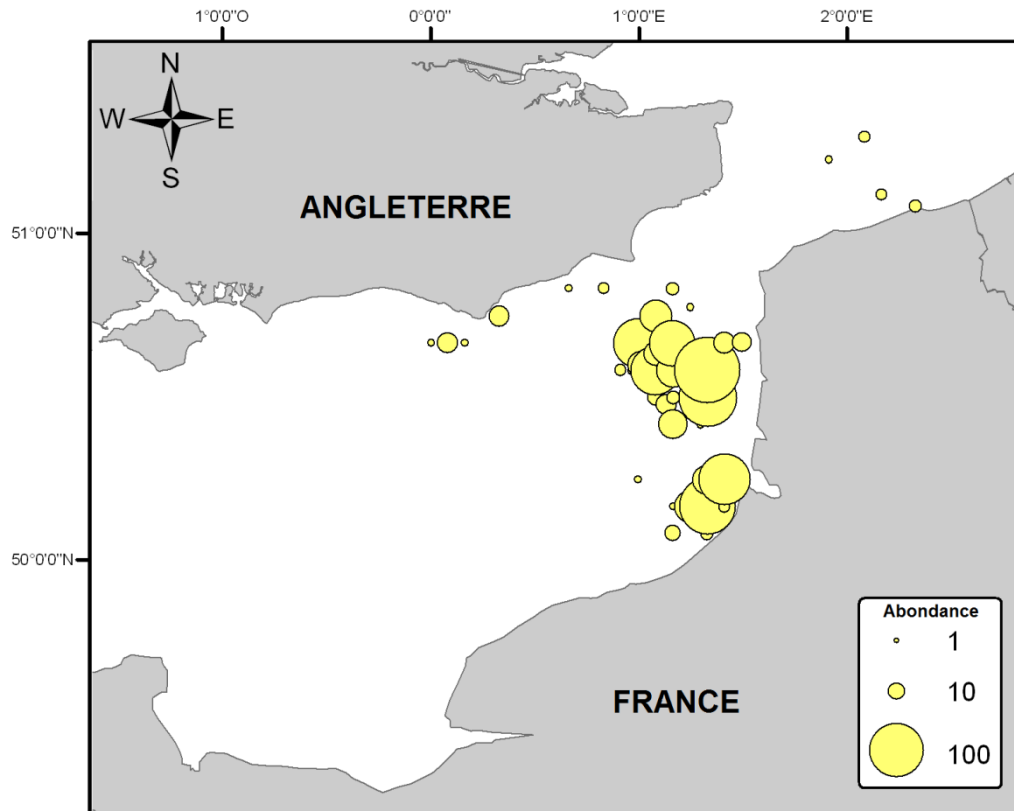


Figure 144 : Répartition des abondances de *Spiophanes bombyx* dans le bassin oriental de la Manche.

Le modèle d'habitat potentiel bâti pour *Spiophanes bombyx* étend les zones d'habitat des sableux moyens dunaires jusqu'aux sables grossiers (Figure 145). Il exclut les zones de sédiments grossiers. L'incertitude du modèle est faible pour cette espèce.

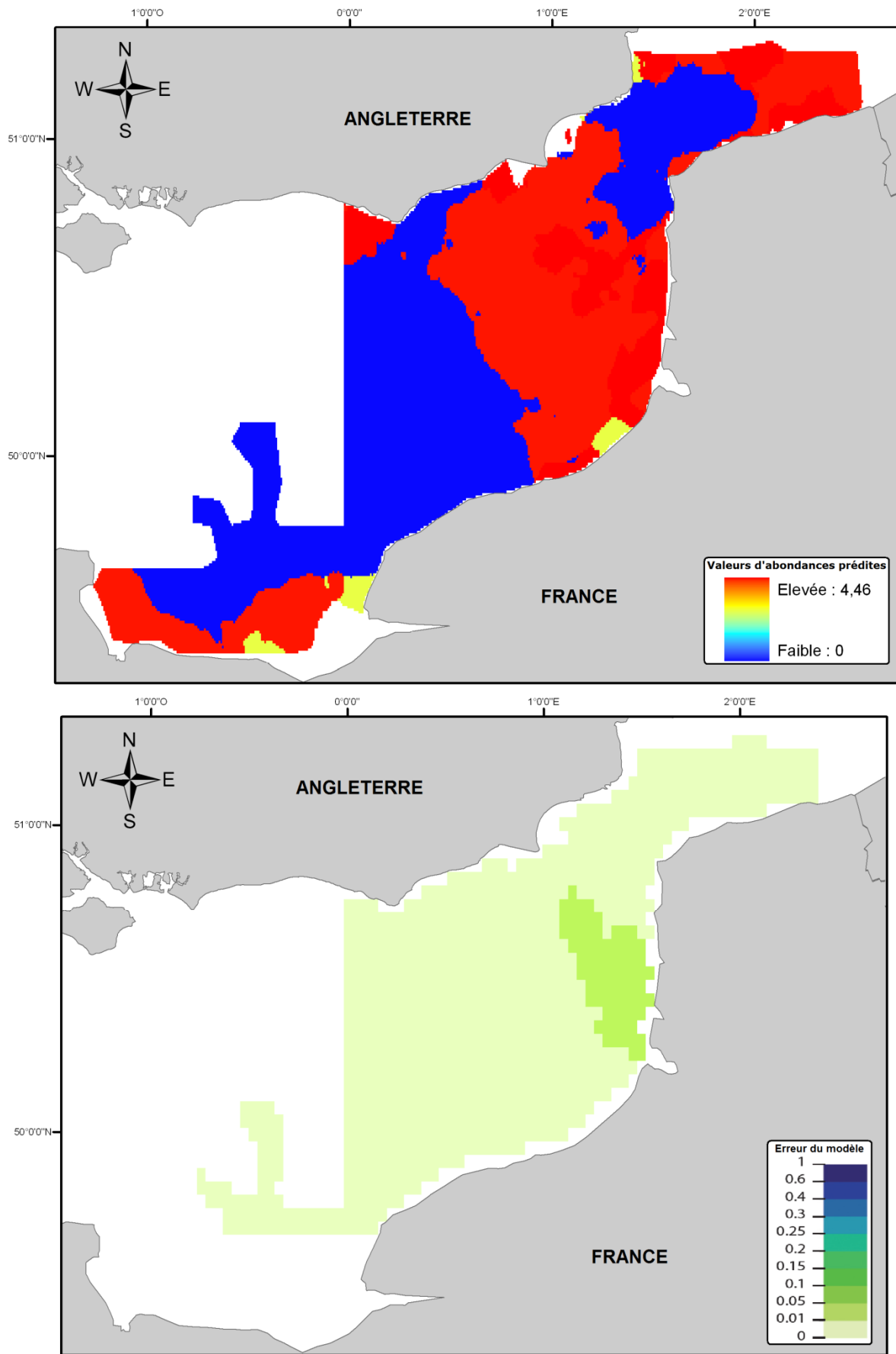


Figure 145 : Modèle d'habitat potentiel de *Spiophanes bombyx*.

VI.2. Discussion

Les modèles présentés ci-avant ont été construits par régression quantile. Cette méthode estime les limites supérieures imposées par l'environnement dans la réponse espèce/habitat (Cade et Noon, 2003). L'analyse de la réponse des bornes supérieures du descripteur (ici, l'abondance) en fonction des facteurs environnementaux permet d'estimer les effets limitants de ces derniers sur la distribution d'une espèce (Cade *et al.*, 1999, Hiddink et Kaiser, 2005).

Pour les 22 espèces pour lesquelles il a été décidé d'établir un modèle d'habitat par régression quantile, le facteur environnemental le plus limitant est le type sédimentaire. En effet, comme il a déjà été évoqué dans le chapitre III, la structure du sédiment, sa teneur en matière organique, sa stabilité sont des facteurs qui conditionnent la distribution des espèces et qui, dans certains cas, favorisent ou non l'installation des larves (Snelgrove et Butman, 1994).

Le second facteur qui revient le plus souvent dans la construction des modèles est la tension de cisaillement. Celle-ci traduit l'action des courants, qui entrent en jeu dans la capacité des larves à se fixer (Crisp, 1955) ou à se redisséminer au cas où le substrat ne serait pas favorable (Olivier *et al.*, 1996). En fonction de son intensité, la tension de cisaillement met donc en relief des zones sur lesquelles l'installation des espèces est favorisée ou non. Ainsi, des espèces sensibles à la stabilité sédimentaire ou de petite taille ne s'installeront pas dans une zone de fortes tensions de cisaillement, synonyme d'érosion sédimentaire et donc de difficultés à maintenir une position dans le sédiment. En fonction de leur mode de nutrition, certaines espèces choisiront également des zones de plus fortes tensions de cisaillement car elles sont synonymes de disponibilité en nourriture (cas des suspensivores).

Le troisième facteur qui entre dans la construction des modèles et qui peut être limitant est la profondeur. Celle-ci conditionne en partie la production microphytobenthique, essentielle pour la nutrition de nombreux invertébrés benthiques.

Le quatrième facteur à intervenir dans la construction des modèles est la température. Dans le cadre de ce travail, il a été choisi de considérer l'amplitude thermique de ce facteur, c'est-à-dire l'écart thermique que pouvait subir une espèce en un lieu donné. Dans le contexte actuel du changement climatique, il est judicieux d'ajouter ce facteur à la construction d'un modèle. Ainsi, il est possible de tester différents scénarii d'évolution de ce facteur sur la distribution des espèces.

Un des avantages à utiliser la régression quantile dans l'estimation des effets limitants d'un habitat est que ces modèles tendent à décrire l'habitat potentiel de l'espèce étudiée, c'est-à-dire l'habitat maximal que peut occuper une espèce. Pour la plupart des 22 espèces choisies, il a été observé que les modèles d'habitats ne dérivent pas beaucoup de la distribution réelle observée au travers des distributions d'abondance. Les espèces pour lesquelles une forte extension de l'habitat utilisable a été mise en évidence appartiennent à la communauté des sables moyens et à celle des sables fins (*Abra alba*, *Gastrosaccus spinifer*, *Spiophanes bombyx*...). Les différents modèles bâtis pour ces espèces suggèrent une extension de l'habitat vers les zones adjacentes des sables plus grossiers.

L'intérêt des modèles ainsi formés est qu'ils peuvent servir dans les plans de gestion. Bien que de plus en plus demandés dans les plans de gestion, les cartes de distribution spatiale à large échelle sont généralement manquantes (Young, 2007). Souvent, les données sont restreintes à des points d'observations (les stations). Les modèles prédictifs d'habitat permettent de produire de façon objective des cartes de distribution qui ne sont limitées que par la disponibilité et la résolution des données environnementales (Degraer *et al.*, 2008),

parfois moins chères à collecter que les données biologiques. Cependant, prédire la distribution spatiale d'une espèce avec de tels modèles ne signifie pas qu'il soit possible de donner précisément la composition faunistique en un point donné à un instant précis. En effet, même si un habitat est jugé favorable pour les espèces d'une communauté benthique, il est possible que celles-ci soient localement ou temporairement absentes à cause de la variabilité du recrutement, de comportements migratoires et de la compétition interspécifique, mais aussi d'autres facteurs, tels que des perturbations physiques ou chimiques, la variabilité de la teneur en matière organique et de sa composition qualitative, ...

L'utilisation des modèles d'habitat dans les plans de gestion du domaine marin est double : elle permet de servir de ligne de base au plan de conservation et également de servir de signal d'alerte en cas de perturbations. Ainsi, les zones où un fort potentiel existe (stock d'espèces pour la recolonisation par exemple) peuvent être évitées dans les projets d'installations d'activités anthropiques en mer (champs d'éoliennes, zones d'extraction de granulats marins,...). Cependant, il faut garder à l'esprit que ces modèles d'habitats doivent être considérés comme des outils complémentaires aux observations directes de l'écosystème considéré.

CONCLUSION GENERALE ET ELEMENTS DE PERSPECTIVE

Ce travail propose une nouvelle description des assemblages macrobenthiques à l'échelle du bassin oriental de la Manche au début des années 2000.

Au travers d'un échantillonnage de 318 stations, l'étude a d'abord porté sur la caractérisation de la couverture sédimentaire de la zone, qui a été comparée avec celle obtenue grâce aux données historiques (période 1971-1976). Il a été montré que la couverture sédimentaire a peu évolué dans cette partie de la Manche, excepté dans des endroits situés à proximité des zones de bancs sableux ou aux abords des estuaires. Cette évolution, bien que faiblement perceptible à une échelle humaine, est néanmoins visible et montre donc que le bassin oriental de la Manche peut être considéré comme un système ouvert (sur le bassin occidental et la mer du Nord) d'un point de vue sédimentaire.

La suite de l'étude a porté sur la détermination et la caractérisation des assemblages macrobenthiques pour la période 2004-2007 et la comparaison avec les assemblages déterminés à partir des données acquises durant la période 1971-1976. Sept grands assemblages benthiques caractérisent les fonds du bassin oriental de la Manche au début des années 2000 (Figure 65). Les analyses n'ont cependant pas permis de réaliser une comparaison stricte entre les assemblages récents et les assemblages historiques. Cette difficulté de comparaison pourrait être en partie imputable aux différences importantes qui existent entre les deux stratégies d'échantillonnage. Sans doute aurait-il été préférable d'échantillonner toutes les stations avec l'aide simultanée de deux engins : la drague Rallier du Baty afin de pouvoir effectuer la comparaison des assemblages entre les deux périodes, et la benne Hamon pour ne pas perdre l'apport que constituent les données quantitatives sur la macrofaune benthique à l'échelle du bassin oriental de la Manche. Il pourrait être également envisagé de mener une étude *in situ* du fonctionnement de la drague Rallier du Baty pour statuer sur le caractère qualitatif (uniquement pour les présences/absences) ou semi-quantitatif (en abondances par unité de volume) de cet engin, afin de savoir si les comparaisons menées avec les données d'autres engins de prélèvements sont possibles et si un tel mode d'échantillonnage fournit des données reproductibles.

Malgré ces difficultés méthodologiques, il a été possible de montrer que, parmi tous les assemblages benthiques identifiés, quatre restent relativement pérennes dans le temps d'un point de vue spatial et d'un point de vue qualitatif : (1) l'assemblage des sables moyens dunaires ; (2) l'assemblage des cailloutis ; (3) l'assemblage des graviers plus ou moins ensablés et (4) l'assemblage de transition des sables grossiers.

Ce travail révèle toute la richesse et la diversité faunistique des communautés macrobenthiques du bassin oriental de la Manche. En particulier, cette étude a révélé que l'assemblage des graviers ensablés est un assemblage riche et non pas monotone comme pouvait le laisser penser les études antérieures. La richesse spécifique du bassin oriental de la Manche est importante. Il a été dénombré au moins 70 espèces par station dans près de la moitié d'entre elles et l'indice de Shannon présente des valeurs très élevées, jusqu'à des valeurs avoisinant les 6 bits. De plus, l'emploi d'estimateurs non-paramétriques de la diversité, tels que les indices Chao1 et Chao2, montre que la richesse spécifique reste encore sous-estimée. L'analyse de l'évolution de la richesse spécifique le long d'un axe orienté sud-ouest/nord-est montre qu'il existe une extension de l'aire de distribution de certaines espèces, comme la polychète *Lumbrineriopsis paradoxa* ou le bryozoaire *Rhynchozoon bispinosum*, sur ce même axe depuis 30 ans. Un phénomène de « mid-domain model » a également été révélé, c'est-à-dire que les limites du bassin oriental de la Manche engendrent un profil unimodal de la richesse spécifique avec un maximum observé au milieu de la zone étudiée.

Enfin, la modélisation des habitats potentiels de 22 espèces d'invertébrés benthiques a été développée. Globalement, les modèles d'habitats potentiels conçus sont en accord avec les observations faites sur le terrain : la plupart des espèces choisies pour ce travail

(exceptions faites pour les espèces de l'assemblage des sables moyens et celles de l'assemblage des sables fins) occupent donc au mieux leur habitat potentiel.

Les données récoltées durant cette thèse ont déjà fait l'objet d'une valorisation dans le cadre du projet franco-britannique INTERREG IIIA CHARM phase 2. Les résultats ont été partiellement publiés dans un atlas intitulé « Atlas des habitats des ressources marines de la Manche Orientale » (Carpentier *et al.*, 2009), dans un livre publié par ESRI (Breman, 2010) et dans un article dans *Aquatic Living Resources* (Martin *et al.*, 2009) afin de présenter de façon illustrée la démarche suivie durant les trois années de travail effectuées dans le bassin oriental de la Manche. Dans l'atlas, ce sont 23 espèces ou groupes d'espèces d'invertébrés benthiques qui ont été présentés et pour lesquels sont fournis, outre la taxonomie, des informations sur l'écologie des espèces et les distributions spatiales commentées pour les périodes 1971-1976 et 1998-2007. Pour 16 d'entre elles, un focus sur la distribution spatiale des abondances en baie de Seine a été effectué et commenté. Enfin, pour les espèces d'invertébrés benthiques récoltées au cours des campagnes halieutiques organisées par l'IFREMER, des modèles d'habitats préférentiels et potentiels ont été ajoutés pour compléter l'information fournie.

Des résultats issus de ce travail ont également été présentés à deux conférences :

- la première conférence, de niveau international, s'intitulait « World Conference on Marine Biodiversity » et a eu lieu à Valence en Espagne du 11 au 15 novembre 2008. Pour cette conférence, les données relatives aux sédiments grossiers du bassin oriental de la Manche ont été sélectionnées et les méthodes de calculs de la biodiversité développées par John S. Gray ont été appliquées (courbes aire-espèce, distribution des espèces en fonction du nombre de stations, ...) et l'évolution de la biodiversité selon un axe artificiel sud-ouest/nord-est a été présentée. Ce travail a montré : (1) que le bassin oriental de la Manche possède une forte richesse taxonomique, avec 75 % des taxa appartenant à l'épifaune vagile et l'endofaune et 25 % appartenant à l'épibiose sessile montrant ainsi que ce compartiment ne peut être négligé dans les études sans perdre une part substantielle de l'information ; (2) que selon qu'un même effort d'échantillonnage ou qu'une même étendue de zone prospectée soient considérés pour étudier l'évolution de la richesse spécifique le long de l'axe artificiel, un gradient d'appauvrissement spécifique apparaissait d'ouest en est ou non ; (3) qu'en fonction du compartiment benthique choisi (épifaune vagile, endofaune ou épibiose sessile), des changements s'opèrent dans la représentation des assemblages.

- la seconde conférence était de niveau national et s'intitulait « CARHAMB'AR - Cartographie des habitats marins benthiques : de l'acquisition à la restitution » et a eu lieu à Brest du 3 au 5 février 2009. Après y avoir expliqué la stratégie d'échantillonnage développée dans le cadre de ma thèse, j'y avais présenté l'évolution de la couverture sédimentaire du bassin oriental de la Manche puis la méthode de détermination des assemblages benthiques via le calcul de Ratkowsky et leur caractérisation. Les premiers modèles d'habitats réalisés ont également été présentés lors de cette conférence, où, en conclusion, une réflexion méthodologique sur le niveau de coupure des dendrogrammes a été formulée, avec un questionnement, tant technique que scientifique, sur les limites à se fixer pour effectuer une typologie.

L'intérêt du présent travail est d'apporter une connaissance quantitative à vaste échelle du compartiment macrobenthique du bassin oriental de la Manche, connaissance nécessaire à de futurs travaux sur les réseaux trophiques par exemple. La stratégie employée qui a consisté à choisir les stations à étudier à partir d'une étude de la couverture sédimentaire s'est révélée efficace et ne peut être que recommandée pour d'autres études de la faune benthique. Elle a permis d'optimiser le ratio coût/quantité de l'information en adoptant le meilleur compromis possible entre représentativité de la zone d'étude et gestion

du temps passé au laboratoire. Il faut également envisager d'utiliser un engin qui permette d'échantillonner dans le plus grand nombre de types sédimentaires possibles. A ce titre, la benne Hamon semble être un engin adapté. Enfin, bien qu'étant une transformation drastique du jeu de données, il semblerait que l'utilisation des données faunistiques en présence/absence permette de dégager les grandes structures macrobenthiques. En effet, les assemblages obtenus en présence/absence sans épifaune sessile sont similaires à ceux obtenus avec les données en abondances. De plus, le traitement des données en présence/absence permet de prendre en compte l'épifaune sessile qui est soit indénombrable ou du moins très difficilement. C'est un point important, surtout quand on sait que la prise en compte de l'épifaune sessile amène à une vision différente de ces assemblages benthiques et qu'elle représente un taxon sur quatre dans le bassin oriental de la Manche.

Une valorisation des données de cette thèse est prévue dans plusieurs articles.

1. Tout d'abord, une note méthodologique sera produite sur la comparaison des méthodes et les problèmes liés à des stratégies d'échantillonnage différentes dans la caractérisation des communautés.

2. Puis, cette note sera complétée par un article sur le choix du (ou des) compartiment(s) benthique(s) (épibiose sessile, épifaune vagile, endofaune) dans la caractérisation des assemblages benthiques et la classification des habitats.

3. Des notes faunistiques concernant (a) les nouvelles espèces rencontrées dans le bassin oriental de la Manche et (b) les espèces de l'épibiose sessile, viendront ensuite.

4. Un article sur la biodiversité dans le bassin oriental de la Manche, qui évoquera la notion de mid-domain model sera ensuite rédigé.

5. Un article sur l'application en milieu marin de la théorie développée par Pearman et Weber (Pearman et Weber, 2007) sera ensuite réalisée, examinant ainsi si la richesse spécifique des espèces « communes » ou facilement identifiables peut être un bon proxy de la richesse spécifique du macrobenthos en milieu marin et en examinant aussi la contribution des espèces « rares » à cette richesse.

6. Enfin, une approche originale se référant à l'écologie paysagère sera conduite en collaboration avec Nicolas Desroy, benthologue à l'Ifremer et Jérôme Fournier, écologue du paysage au CRESCO, à partir du jeu de données acquis. L'objectif est d'analyser les distributions des communautés benthiques sous l'angle de leur degré de fragmentation, de connectivité et d'interspersion (relations spatiale avec les communautés voisines) au début des années 2000 et de les comparer avec celles observées au cours des années 1970.

De plus, les données récoltées vont pouvoir aussi être prochainement utilisées au travers d'une approche écosystémique de la Manche (programme CHARM3). Au cours de ce programme, des modèles d'habitats pourront être établis et portés à la connaissance de tous pour d'autres espèces benthiques que celles présentées ici.

Il est envisagé de revisiter une partie des stations échantillonnées, en Manche occidentale cette fois, par L. Cabioch et ses collaborateurs au cours d'une campagne pluridisciplinaire en 2012 dans le cadre du Défi Manche. Il est prévu d'y suivre qu'un nombre limité d'espèces (environ 50), structurantes et facilement identifiables. Les résultats seront couplés à des acquisitions de données halieutiques, sédimentologiques et hydrologiques. L'un des buts de cette future campagne est d'obtenir une cartographie actualisées des assemblages benthiques et de compléter les démarches entreprises en Manche est.

Les conclusions de ce travail pourraient également servir à l'élaboration de plans de gestion dans le bassin oriental de la Manche, notamment en ce qui concerne la définition de

zones de conservation, en étant par exemple intégrées dans les démarches de planification spatiale développée actuellement. Les données pourraient également être interprétées en termes de distribution biogéographique des espèces.

Les différentes voies d'exploitation des données de cette thèse montrent que des modifications, qualitatives et quantitatives, des assemblages benthiques peuvent avoir lieu à une échelle inférieure à 30 ans. Par conséquent, il est nécessaire d'actualiser les connaissances existantes sur le compartiment benthique à vaste échelle afin de disposer d'états actualisés adéquats pour évaluer l'impact d'évènements actuels (pollution, aménagements...) et de compléter les données déjà existantes sur l'état écologique du milieu marin.

Ce type de travaux sur les évolutions spatio-temporelles des communautés benthiques est relativement peu répandu à l'échelle de nos mers européennes mais demeure une préoccupation dans les mers à forte pression anthropique comme la Manche. A titre de comparaison, toujours pour le macrobenthos, plusieurs études ont été menées à l'échelle de la mer du Nord (Reiss *et al.*, 2010) et de la mer d'Irlande (Mackie *et al.*, 1995, Wilson *et al.*, 2001, Oliver et Killeen, 2002, Mackie *et al.*, 2006, Robinson *et al.*, 2009a, Robinson *et al.*, 2009b). Dans les deux cas, les cartographies spatiales du macrobenthos à méso-échelle correspondaient à des mers où les efforts de la pêche aux arts traînants sont particulièrement forts. A l'issue du DEFIMANCHE, il sera intéressant de tester si en Manche, où l'hydrodynamisme est particulièrement fort pour la structuration des communautés benthiques, l'impact de la pêche est aussi déterminant que dans les deux autres sites avec des changements faunistiques aboutissant à un accroissement confirmé des nécrophages et carnivores au détriment des suspensivores.

BIBLIOGRAPHIE

- Adjeroud, M. (2000). Zonation des communautés macrobenthiques le long de deux baies d'un écosystème corallien insulaire (Moorea, Polynésie française). *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la vie*, 323: 305-313.
- AFNOR (2005). Qualité de l'eau-Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles. *Norme ISO/FDIS 16 665* 34 p.
- Agoumi, A., Enderlé, M. J. et Gras, R. A. (1983). Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6: 393-406.
- Alastair Graham, F. R. S. (1988). Molluscs: Prosobranch and pyramidellid gastropods. E.J. Brill/ Dr W. Backhuys, London. 662 p.
- Alizier, S. (2005). Evolution spatio-temporelle de l'épifaune vagile et de l'endofaune du peuplement des cailloutis à épibiose sessile dans le Déroit du Pas de Calais. *DSR - Océanologie biologique* de l'Université des Sciences et Technologies de Lille - Station Marine de Wimereux, Wimereux. 99 p.
- Alzieu, C. (2000). Dragages et environnement marin. IFREMER, Brest. 223 p.
- Anderson, M. J. (2008). Animal-sediment relationships re-visited: Characterising species' distributions along an environmental gradient using canonical analysis and quantile regression splines. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366: 16-27.
- Anonyme (2007). Données économiques maritimes françaises. Ifremer, 88 p.
- Anonyme (1986). Fifth report on the Benthos Ecology Working Group. *CM L:27*. I.C.E.S., Ostende. 33 p.
- Anthony, E. J. et Héquette, A. (2007). The grain-size characterisation of coastal sand from the Somme estuary to Belgium: Sediment sorting processes and mixing in a tide- and storm-dominated setting. *Sedimentary Geology*, 202: 369-382.
- Arzul, G. (2002). Aquaculture, Environment and Marine Phytoplankton. Ifremer, 248 p.
- Auffret, J.-P., Alduc, D., Larssonneur, C. et Smith, A. J. (1980). Cartographie du réseau des paléovallées et de l'épaisseur des formations superficielles meubles de la Manche Orientale. *Annales de l'Institut Océanographique, Paris*, 56: 21-35.
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200: 1-19.
- Bachelet, G. (1990). The choice of a sieving mesh size in the quantitative assessment of marine macrobenthos: a necessary compromise between aims and constraints. *Marine Environmental Research*, 30: 21-35.
- Bahé, S. (2008). Evaluation du trafic maritime dans la Manche. <http://atlas-transmanche.certic.unicaen.fr/commun/lecteur2f/page.php?base=atlas&idlangue=fr&idpage=416>. Consulté le 03-10-2009.
- Bailly du Bois, P., Rozet, M., Thorat, K. et Salomon, J.-C. (1996). Improving knowledge of water-mass circulation in the English Channel using radioactive tracers. In Germain, P., Guary, J. C., Guéguéniat, P. et Métivier, H. (ed.) *Radionucléides in the Oceans. RADOC 96-97, Proceedings Part 1. Inventories, behaviour and processes. Natural and artificial radionucléides in the study of water movements in coastal dan open ocean systems*, Cherbourg-Octeville. 63-69.
- Bailly du Bois, P. et Dumas, F. (2005). Fast hydrodynamic for medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers. *Ocean Modelling*, 9: 169-210.
- Bamber, R. N. et Spencer, J. F. (1984). The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 64: 603-623.

- Bamber, R. N. (1990). Power station thermal effluents and marine crustaceans. *Journal of Thermal Biology*, 15: 91-96.
- Barnay, A.-S. (2003). Structure des peuplements fins plus ou moins envasés en Manche : échelles spatiales et biodiversité. de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Paris. 244 p.
- Bassindale, R. et Clark, R. B. (1960). The Gann flat, Dale : studies on the ecology of a muddy beach. *Field Studies, London*, 1: 1-22.
- Beck, C., Clabaut, P., Dewez, S., Vicaire, O., Chamley, H., Augris, C., Hoslin, R. et Caillot, A. (1991). Sand bodies and sand transport paths at the English Channel-North Sea border: morphology, hydrodynamics and radioactive tracing. *Oceanologica Acta*, sp 11: 111-121.
- Belgrano, A., Vincx, M., Dewarumez, J.-M., Richard, A., Craeymeersch, J. A. et Heip, C. (1990). Recruitment of meroplanktonic larvae in the southern Bight of the North Sea. *Océanis*, 16: 225-243.
- Belgrano, A. et Dewarumez, J.-M. (1995). The influence of tidal-induced variability on the distribution of meroplankton larvae in the Southern Bight of the North Sea. *Oceanologica Acta*, 18: 523-530.
- Belgrano, A., Legendre, P., Dewarumez, J.-M. et Frontier, S. (1995). Spatial structure and ecological variation of meroplankton on the French-Belgian coast of the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 128: 43-50.
- Belsher, T., Cabioch, J., L'Hardy-Halos, M. T., Castric-Fey, A. et Le Roux, A. (1997). Les algues macrophytes. In *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 229-242.
- Bentley, D. et Maillard-Quisthoudt, C. (1990). Caractéristiques physicochimiques de profils côte-large en Manche centrale. *Journal de la Recherche Océanographique*, 15: 135-141.
- Benzécri, J. P. (1976). L'analyse des données. Dunod, Paris. 616 p.
- Besio, G. et Losada, M. A. (2008). Sediment transport patterns at Trafalgar offshore windfarm. *Ocean Engineering*, 35: 653-665.
- Beukema, J. J. (1979). Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea: effects of a severe winter. *Netherlands Journal of Sea Research*, 13: 203-223.
- Beukema, J. J. et Essink, K. (1986). Common patterns in the fluctuations of macrozoobenthic species living at different places on tidal flats in the Wadden Sea. *Hydrobiologia*, 142: 199-207.
- Bhaud, M., Cha, J. H., Duchêne, J. C. et Nozais, C. (1995). Influence of temperature on the marine fauna: what can be expected from a climatic change. *Journal of Thermal Biology*, 20: 91-104.
- Blanchard, M. (1995). Origine et état de la population de *Crepidula fornicata* (Gastropoda Prosobranchia) sur le littoral français. *Haliotis*, 24: 75-86.
- Blanchet, H. (2004). Structure et fonctionnement des peuplements benthiques du bassin d'Arcachon. *Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux I de l'Université de Bordeaux 1*, 224 p.
- Bodineau, L., Thoumelin, G. et Wartel, M. (1999). Fluxes and seasonal changes in composition of organic matter in the English Channel. *Continental Shelf Research*, 19: 2101-2119.
- Boesch, D. F. (1973). Classification and community structure of macrobenthos in the Hampton Roads area, Virginia. *Marine Biology*, 21: 226-244.
- Boillot, G. et Musellec, P. (1975). Origine de la Manche d'après une carte géologique au 1:1 000 000e. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*, 279: 21-27.

- Bolam, S. G., Eggleton, J. D., Smith, R., Mason, C., Vanstaen, K. et Rees, H. L. (2008). Spatial distribution of macrofaunal assemblages along the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 88: 675-687.
- Bouchet, P. et Tardy, J. (1976). Faunistique et biogéographie des nudibranches des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche. *Annales de l'Institut Océanographique*, Paris, 52: 205-213.
- Bourillet, J.-F., Reynaud, J.-Y., Baltzer, A. et Zaragosi, S. (2003). The 'Fleuve Manche': the submarine sedimentary features from the outer shelf to deep-sea fans. *Journal of Quaternary Science*, 18: 261-282.
- Bray, J. R. et Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325-349.
- Breman, J. (2010). Ocean Globe. ESRI Press, Redlands, California. 276 p.
- Breton, E., Brunet, C., Sautour, B. et Brylinski, J.-M. (2000). Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. *Journal of Plancton Research*, 22: 1423-1440.
- Broström, G. (2008). On the influence of large wind farms on the upper ocean circulation. *Journal of Marine Systems*, 74: 585-591.
- Brunel, P., Besner, M., Messier, D., Poirier, L., Granger, D. et Weinstein, M. (1978). Le traîneau Macer-Giroq : appareil amélioré pour l'échantillonnage quantitatif étagé de la petite faune nageuse au voisinage du fond. *Intern. Rev. gessamten Hydrobiol.*, 63: 815-829.
- Brunet, C., Brylinski, J.-M., Bodineau, L., Thoumelin, G., Bentley, D. et Hilde, D. (1996). Phytoplankton dynamics during the spring bloom in the south-eastern English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 69-483.
- Brylinski, J.-M., Cabioch, L., Conti, P., Chabert d'Hières, G., Dupont, J.-P., Frontier, S., Guegueniat, P., Lafite, R., Lagadeuc, Y., Puskaric, E., Skiker, M. et Wartel, M. (1988). La notion de "fleuve côtier" dans les études océanographiques en Manche Orientale. *Journal de la Recherche Océanographique*, 13: 66-67.
- Brylinski, J.-M. et Lagadeuc, Y. (1990). L'interface eaux côtières/eaux du large dans le Pas-de-Calais (côte française) : une zone frontale. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 311: 535-540.
- Brylinski, J.-M., Lagadeuc, Y., Gentilhomme, V., Dupont, J.-P., Lafite, R., Dupeuble, P.-A., Huault, M.-F., Auger, Y., Puskaric, E., Wartel, M. et Cabioch, L. (1991). Le "fleuve côtier" : un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais. *Oceanologica Acta*, 11: 197-203.
- Brylinski, J.-M., Brunet, C., Bentley, D., Thoumelin, G. et Hilde, D. (1996). Hydrography and Phytoplankton Biomass in the Eastern English Channel in Spring 1992. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 507-519.
- 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*, 9: 493-720.
- Cabioch, L. et Gentil, F. (1975). Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 280: 571-574.

- Cabioch, L. et Gentil, F. (1997). Les biocénoses subtidales macrobenthiques de la Manche, conditions écologiques et structure générale. *In Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 68-78.
- Cabioch, L., Gentil, F., Glaçon, R. et Retière, C. (1976). Distribution de la faune benthique en Manche. Aspects climatique et édaphique. *In (ed.) Journées de la thermo-écologie.*, Centre Océanologique de Bretagne. 337-351.
- Cabioch, L., Gentil, F., Glaçon, R. et Retière, C. (1977). Le macrobenthos des fonds meubles de la Manche: distribution générale et écologie. *In Keegan, B. F., Ceidigh, P. O. et Boaden, P. J. S. (ed.) Biology of benthic organisms. 11th European symposium on marine biology* Galway. Pergamon Press, Oxford. 115-128.
- Cabioch, L. et Glaçon, R. (1975). Distribution des peuplements benthiques en Manche Orientale, de la Baie de Somme au Pas-de-Calais. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 280: 491-494.
- Cabioch, L. et Glaçon, R. (1977). Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la Baie de Somme. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 285: 209-213.
- Cade, B. S., Terrell, J. W. et Schroeder, R. L. (1999). Estimating effects of limiting factors with regression quantiles. *Ecology*, 80: 311-323.
- Cade, B. S. et Noon, B. R. (2003). A gentle introduction to quantile regression for ecologists. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1: 412-420.
- Carpentier, A., Vaz, S., Martin, C. S., Coppin, F., Dauvin, J.-C., Desroy, N., Dewarumez, J.-M., Eastwood, P. D., Ernande, B., Harrop, S., Kemp, Z., Koubbi, P., Leader-Williams, N., Lefèbvre, A., Lemoine, M., Loots, C., Meaden, G. J., Ryan, N. et Walkey, M. (2005). Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management (CHARM), Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche Orientale. INTERREG III A, 225 p p.
- Carpentier, A., Martin, C. S. et Vaz, S. (2009). Channel Habitat Atlas for marine Resource Management, final report / Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale, rapport final (CHARM phase II). Ifremer, Boulogne-sur-Mer. 626 p.
- Castel, J., Dauvin, J.-C. et Glémarec, M. (1997). Les conditions générales en Atlantique, Manche et Mer du Nord. *In Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 6-16.
- Chainho, P., Lane, M. F., Chaves, M. L., Costa, J. L. C., M.J. et Dauer, D. M. (2007). Taxonomic sufficiency as a useful tool for typology in a poikilohaline estuary. *Hydrobiologia*, 587: 63-78.
- Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11: 265-270.
- Chessel, D., Dufour, A.-B. et Dray, S. (2009). ade4: analysis of ecological data : exploratory and euclidean methods in environmental sciences.
- Chiffolleau, J.-F. (2001). La contamination métallique. 39 p.
- Clabaut, P. et Davoult, D. (1989). Interactions biocoenose benthique-sédiment en milieu infra-tidal à haute énergie. Exemple de la baie de Wissant (Manche Orientale). *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 308: 1249-1356.
- Clarke, K. R. et Gorley, R. N. (2006). PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. 190 p.
- Coggan, R. A., Populus, J., White, J., Sheehan, K., Fitzpatrick, F. et Piel, S. (2007). Review of standards and protocols for seabed habitat mapping. 210 p.

- Colwell, R. K. et Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B: Biological Sciences*, 345: 101-1118.
- Colwell, R. K. et Lees, D. C. (2000). The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology & Evolution*, 15: 70-76.
- Comité National des Pêches (2009). <http://www.comite-peches.fr>. Consulté le 12-02-2009.
- Connor, D. W., Allen, J., H., Golding, N., Howell, K. L., Liebernecht, L. M., Northen, K. O. et Reker, J. B. (2004). The marine habitat classification for Britain and Ireland. Version 04.05. Consulté le 01 septembre 2009.
- Costanza, R. (1999). The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics*, 31: 199-213.
- Costello, M. J. (1993). Biogeography of alien amphipods occurring in Ireland, and interactions with native species. *Crustaceana*, 65: 287-299.
- Cranford, P. J., Hargrave, B. T. et Doucette, L. I. (2009). Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*, 292: 189-196.
- Crawford, G. I. (1937). A review of the amphipod genus *Corophium*, with notes on the British species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 21: 589-630.
- Crisp, D. J. (1955). The behavior of barnacles cyprids in relation to water movement over surface. *Journal of Experimental Biology*, 32: 569-590.
- Curtis, M. A. (1977). Life cycles and population dynamics of marine benthic polychaetes from the Disko Bay area West Greenland. *Ophelia*, 16: 9-58.
- Cusson, M. et Bourget, E. (2005). Global patterns of macroinvertebrate production in marine benthic habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 297: 1-14.
- Dahl, F. (1908). Grundsätze und Grundbegriffe der biocoenotischen Forschung. *Zoologischer Anzeiger*, 33: 349-353.
- Daily, G. C. (1997). Nature's service: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, D.C. 392 p.
- Dajoz, R. (1975). Précis d'écologie. Dunod, Paris. 549 p.
- Dangeard, L. (1928). Observations de géologie sous-marine et d'océanographie relatives à la Manche. *Annales de l'Institut Océanographique, nouvelle série*, 6: 1-296.
- Darwin, C. R. (1859). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. Murray, John, London. 556 p.
- Dauer, D. M., Maybury, C. A. et Ewing, R. M. (1981). Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 54: 21-38.
- Dauvin, J.-C. (1979). Recherches quantitatives sur le peuplement des sables fins de la Pierre Noire, Baie de Morlaix, et sur sa perturbation par les hydrocarbures de l' "AMOCO CADIZ". *Thèse de 3ème cycle de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6*, 251 p.
- Dauvin, J.-C. (1993). Le benthos : témoin des variations de l'environnement. *Océanis*, 19: 25-53.
- Dauvin, J.-C. (1999). Mise à jour de la liste des espèces d'amphipodes (Crustacea : Peracarida) présents en Manche. *Cahiers de Biologie Marine*, 40: 165-183.
- Dauvin, J.-C., Bellan, G. et Bellan-Santini, D. (2007a). The need for clear and comparable terminology in benthic ecology. Part I. Ecological concepts. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*,

- Dauvin, J.-C., Bellan, G. et Bellan-Santini, D. (2007b). The need for clear and comparable terminology in benthic ecology. Part II. Application of the European Directives. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*,
- Dauvin, J.-C., Desroy, N., Janson, A.-L., Vallet, C. et Duhamel, S. (2006). Recent changes in estuarine benthic and suprabenthic communities resulting from the development of harbour infrastructure. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 80-90.
- Dauvin, J.-C., Desroy, N., Denis, L. et Ruellet, T. (2008). Does the *Phaeocystis* bloom affect the diel migration of the suprabenthos community? *Marine Pollution Bulletin*, 56: 77-87.
- Dauvin, J.-C. et Dewarumez, J.-M. (2002). Patrimoine naturel de la Manche orientale et du sud de la Mer du Nord : invertébrés et peuplements macrobenthiques sublittoraux. *Revue des Travaux de la Station Marine de Wimereux*, 25: 9-27.
- Dauvin, J.-C., Dewarumez, J.-M. et Gentil, F. (2003a). Liste actualisée d'annélides polychètes présentes en Manche. *Cahiers de Biologie Marine*, 44: 67-95.
- Dauvin, J. C., Gomez Gesteira, J. L. et Salvande Fraga, M. (2003b). Taxonomic sufficiency: an overview of its use in the monitoring of sublittoral benthic communities after oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 552-555.
- Dauvin, J.-C. et Lozachmeur, O. (2006). Mer côtière à forte pression anthropique propice au développement d'une gestion intégrée : exemple du bassin oriental de la Manche (Atlantique Nord-est). *VertigO*, 17: 1-14.
- Dauvin, J.-C. et Ruellet, T. (2008). Macrozoobenthic biomass in the Bay of Seine (eastern English Channel). *Journal of Sea Research*, 59: 320-326.
- Davoult, D., Dewarumez, J.-M., Prygiel, J. et Richard, A. (1988). Carte des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord.
- Davoult, D. et Richard, A. (1990). Etude expérimentale du recrutement du peuplement sessile des fonds caillouteux du Pas-de-Calais (France). *Cahiers de Biologie Marine*, 31: 181-199.
- De Biasi, A. M., Bianchi, C. N. et Morri, C. (2003). Analysis of macrobenthic communities at different taxonomic levels: an example from an estuarine environment in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 99-106.
- De Lucas, M., Janss, G. F. E. et Ferrer, M. (2007). Birds and wind farms. Risk assessment and mitigation Quercus, London. 275 p.
- Degraer, S., Moolaert, I., Van Hoey, G. et Vincx, M. (2007). Sieving alive or after fixation: effects of sieving procedure on macrobenthic diversity, density and community structure. *Helgoland Marine Research*, 61: 143-152.
- Degraer, S., Verfaillie, E., Willems, W., Adriaens, E., Vincx, M. et Van Lancker, V. (2008). Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: an example from the Belgian part of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 28: 369-379.
- Deloffre, J., Lafite, R., Lesueur, P., Lesourd, S., Verney, R. et Guézennec, L. (2005). Sedimentary processes on an intertidal mudflat in the upper macrotidal Seine estuary, France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 710-720.
- Delsinne, N. (2009). L'amélioration des connaissances des habitats marins au travers des exploitations de granulats marins : cadre et enjeux. In *Colloque CARHAMB'AR (Cartographie des Habitats Marins Benthiques: de l'Acquisition à la Restitution)*, Brest, du 3 au 5 février 2009, (ed.). Ifremer, AAMP, Brest. 127-129.
- Desholm, M. et Kahlert, J. (2005). Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters*, 1: 296-298.

- Desprez, M. (2000). Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short- and long-term post-dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 1428-1438.
- Desroy, N. et Denis, L. (2004). Influence of spring phytodetritus sedimentation on intertidal macrozoobenthos in the eastern English Channel. *Marine Ecology Progress Series*, 270: 41-53.
- Desroy, N., Janson, A.-L., Denis, L., Charrier, G., Lesourd, S. et Dauvin, J.-C. (2007). The intra-annual variability of soft-bottom macrobenthos abundance patterns in the North Channel of the Seine estuary. *Hydrobiologia*, 588: 173-188.
- Desroy, N., Warembourg, C., Dewarumez, J.-M. et Dauvin, J.-C. (2003). Macrobenthic resources of the shallow soft-bottom sediments in the eastern English Channel and southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 120-131.
- Dethier, M. N. et Schoch, G. C. (2006). Taxonomic sufficiency in distinguishing natural spatial patterns on an estuarine shoreline. *Marine Ecology Progress Series*, 306: 41-49.
- Dewarumez, J.-M. (1988). Influence d'aménagements portuaires et industriels sur les peuplements benthiques intertidaux en Mer du Nord (Plage de Gravelines-France). *Journal de la Recherche Océanographique*, 13: 23-24.
- Dewarumez, J.-M. (1990). Benthos subtidal. *rapport Ifremer pour EDF Ifremer*, 75-120 p.
- Dewarumez, J.-M., Belgrano, A., Craeymeersch, J. A., Duquesne, S., Heip, C., Hilde, D. et Vincx, M. (1993). Influence de la circulation des masses d'eaux dans la dynamique du peuplement à *Abra alba* de la baie sud de la Mer du Nord. *Journal de la Recherche Océanographique*, 18: 1-4.
- Dewarumez, J.-M., Quisthoudt, C. et Richard, A. (1986). Suivi pluriannuel du peuplement à *Abra alba* dans la partie méridionale de la Mer du Nord (région de Dunkerque-France). *Hydrobiologia*, 142: 187-197.
- DFO (2006). Impacts of scallop dredges on benthic habitats, populations and communities. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science Advisory Report*, 2006/025: 1-13.
- Diaz, S. et Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 646-655.
- Dingwall, R. G. (1975). Sub-bottom infilled channels in an area of the eastern English Channel. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*, 279: 233-241.
- DIREN (2003a). L'implantation des éoliennes en Bretagne : étude préalable. I. Typologie des projets éoliens et problématiques. Préfecture de la région Bretagne, Direction Régionale de l'Environnement, 74 p p.
- DIREN (2003b). L'implantation des éoliennes en Bretagne : étude préalable. II. Propositions pour une prise en compte de l'environnement. Préfecture de la région Bretagne, Direction Régionale de l'environnement, 73 p p.
- Dubrulle, C., Lesueur, P., Boust, D., Dugué, O., Poupinet, N. et Lafite, R. (2007). Source discrimination of fine-grained deposits occurring on marine beaches: The Calvados beaches (eastern Bay of the Seine, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72: 138-154.
- Duelli, P. (1997). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 62: 81-91.
- Dupont, J.-P., Lafite, R., Huault, M.-F., Dupeuble, P.-A., Brylinski, J.-M., Guegueniat, P., Lamboy, M. et Cabioch, L. (1991). La dynamique des masses d'eaux et de matières en suspension en Manche Orientale. *Oceanologica Acta*, 11: 177-186.
- Dupont, L., Jollivet, D. et Viard, F. (2003). High genetic diversity and ephemeral drift effects in a successful introduced mollusc (*Crepidula fornicata*: Gastropoda). *Marine Ecology Progress Series*, 253: 183-195.

- Durrieu de Madron, X. et Ferré, B. (2005). Bilans biogéochimiques en zone côtière : forçages naturels et anthropiques et le rôle de la resuspension par les tempêtes et le chalutage. *Lettre du PIGB-PMRC-France*, 17: 48-53.
- Eastwood, P. D., Meaden, G. J., Carpentier, A. et Rogers, S. I. (2003). Estimating limits to the spatial extent and suitability of sole (*Solea solea*) nursery grounds in the Dover Strait. *Journal of Sea Research*, 50: 151-165.
- Eckman, J. E. (1983). Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. *Limnology and Oceanography*, 28: 241-257.
- Eleftheriou, A. et Holme, N. A. (1984). Macrofauna techniques. In *Methods for the study of marine benthos.*, Holme, N. A. et McIntyre, A. D. (ed.). Blackwell Scientific Publications, London. 140-216.
- Ellien, C., Thiebaut, E., Barnay, A. S., Dauvin, J. C., Gentil, F. et Salomon, J. C. (2000). The influence of variability in larval dispersal on the dynamics of a marine metapopulation in the eastern Channel. *Oceanologica Acta*, 23: 423-442.
- Ellingsen, K. E. (2001). Biodiversity of a continental shelf soft-sediment macrobenthos community. *Marine Ecology Progress Series*, 218: 1-15.
- Ellingsen, K. E. et Gray, J. S. (2002). Spatial patterns of benthic diversity: is there a latitudinal gradient along the Norwegian continental shelf? *Journal of Animal Ecology*, 71: 373-389.
- Ellis, D. (1985). Taxonomic sufficiency in pollution assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 16: 459.
- Exo, K.-M., Hüppop, O. et Garthe, S. (2003). Birds and offshore wind farms: a hot topic in marine ecology. *Wader Study Group Bulletin*, 100: 50-53.
- Fager, E. W. (1964). Marine sediments: Effects of a tube-building polychaete. *Science*, 143: 356-359.
- Fauchald, K. et Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: A study of Polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 17: 193-284.
- Flach, E. C. (1992). Disturbance of benthic infauna by sediment-reworking activities of the lugworm *Arenicola marina*. *Netherlands Journal of Sea Research*, 30: 81-89.
- Foggo, A., Attrill, M. J., Frost, M. T. et Rowden, A. A. (2003). Estimating marine species richness: an evaluation of six extrapolative techniques. *Marine Ecology Progress Series*, 248: 15-26.
- Folk, R. L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62: 344-359.
- Fortin, M.-J. (1999). Spatial statistics in landscape ecology. In *Landscape Ecological Analysis. Issues and Applications*, Klopatek, J. M. et Gardner, R. H. (ed.). Springer-Verlag, New York. 253-279.
- Foveau, A. (2008). Long-term changes in the sessile epifauna of the Dover Strait pebble community. *Journal of Oceanography, Research and Data*, 1: 1-11.
- Fox, A. D., Desholm, M., Kahlert, J., Christensen, T. K. et Petersen, I. K. (2006). Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Ibis*, 148: 129-144.
- Gage, J. D. (1972). A preliminary survey of the benthic macrofauna and sediments in lochs Etive and Creran, Sea-lochs along the west coast of Scotland. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 52: 237-276.

- Garcia, C. (2006). Variations à long terme du peuplement benthique du haut-fond des Ridents. *Master Recherche* de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille. 40 p.
- Garcia, C. (en cours). Description et modélisation du réseau trophique benthique de la Manche orientale. *Thèse de doctorat* de l'Université de Lille1, Lille. p.
- Garreau, P. (1997). Caractéristiques hydrodynamiques de la Manche. *Océanis*, 23: 65-87.
- Garthe, S. et Hüppop, O. (2004). Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology*, 41: 724-734.
- Gee, J. M. et Warwick, R. M. (1996). A study of global biodiversity patterns in the marine motile faune of hard substrata. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 76: 177-184.
- Gentil, F. (1976). Distribution des peuplements benthiques en Baie de Seine. *Thèse de 3^{ème} cycle* de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Paris. 70 p.
- Gentil, F. et Cabioch, L. (1997a). Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et Manche centrale sud. 18 + carte.
- Gentil, F. et Cabioch, L. (1997b). Les biocénoses subtidales macrobenthiques de la Manche, conditions écologiques et structure générale. In *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 349.
- Gentil, F. et Dauvin, J.-C. (1988). Peut-on estimer le nombre total d'espèces d'un peuplement macrobenthique ? *Vie et Milieu*, 38: 207-212.
- Gentil, F., Dauvin, J.-C. et Menard, F. (1990). Reproductive biology of the polychaete *Owenia fusiformis* Delle Chiaje in the Bay of Seine (eastern English Channel). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 42: 13-24.
- Gentilhomme, V. et Lizon, F. (1998). Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*, 361: 191-199.
- Gevaert, F. (2001). Importance des facteurs de l'environnement et du phénomène de photoinhibition sur la production des grandes algues marines. *Thèse de doctorat* de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille. p.
- Ghertsos, K. (2002). Structure spatio-temporelle des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine à plusieurs échelles d'observation. *Thèse de doctorat* de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 182 p.
- Gibbard, P. (2007). Europe cut adrift. *Nature*, 448: 259-260.
- Gilkinson, K. D., Dawe, B., Forward, B., Hickey, D., Kulka, S. et Walsh, S. (2006). A review of Newfoundland & Labrador region research on the effects of mobile fishing gear on benthic habitat and communities. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Documents*, 2006/055: 1-30.
- Glémarec, M. (1968). Distinction de deux Mactridae des côtes atlantiques européennes : *Spisula solida* (Linné) et *Spisula ovalis* (Sowerby). *Cahiers de Biologie Marine*, 9: 167-174.
- Glémarec, M. (1979). Les fluctuations temporelles des peuplements benthiques liées aux fluctuations climatiques. *Oceanologica Acta*, 2: 365-371.
- Gomez Gesteira, J. L., Dauvin, J. C. et Salvande Fraga, M. (2003). Taxonomic level for assessing oil spill effects on soft-bottom sublittoral benthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 562-572.

- Gouletquer, P., Bachelet, G., Sauriau, P.-G. et Noël, P. Y. (2002). Open Atlantic coast of Europe - A century of introduced species into french waters. *In Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management*, Leppäkoski, E., Gollasch, S. et Olenin, S. (ed.). Springer, 600.
- Gray, J. S. (1974). Animal-sediment relationships. *In Oceanographic and Marine Biology: an Annual Review*, 12, Barnes, H. (ed.). George Allen & Unwin LTD, London. 223-261.
- Gray, J. S. (1989). Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37: 19-32.
- Gray, J. S. (1997). Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation*, 6: 153-175.
- Gray, J. S. (2000). The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 23-49.
- Gray, J. S. (2002). Species richness of marine soft-sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 285-297.
- Grochowski, N. et Collins, M. B. (1994). Wave activity on the sea-bed of the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 74: 739-742.
- Grochowski, N., Collins, M. B., Boxall, S. R. et Salomon, J.-C. (1993a). Sediment transport predictions for the English Channel, using numerical models. *Journal of the Geological Society, London*, 150: 683-695.
- Grochowski, N., Collins, M. B., Boxall, S. R., Salomon, J.-C., Breton, M. et Lafite, R. (1993b). Sediment transport pathways in the Eastern English Channel. *Oceanologica Acta*, 16: 531-537.
- Guéguéniat, P., Bailly du Bois, P., Salomon, J.-C., Masson, M. et Cabioch, L. (1995). FLUXMANCHE radiotracers measurements: a contribution to the dynamics of the English Channel and North Sea. *Journal of Marine Systems*, 6: 483-494.
- Guéguéniat, P., Salomon, J.-C., Wartel, M., Cabioch, L. et Fraizier, A. (1993). Transfer pathways and transit time of dissolved matter in the Eastern English Channel indicated by space-time radiotracers measurement and hydrodynamic modelling. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 477-494.
- Guidi, L., Ibanez, F., Calcagno, V. et Beaugrand, G. (2008). A new procedure to optimize the selection of groups in a classification tree: applications for ecological data. *Ecological Modelling*,
- Guilcher, A. (1951). La formation de la mer du Nord, du Pas-de-Calais et des plaines maritimes environnantes. *Revue de géographie de Lyon*, 26: 311-329.
- Guillou, N. et Chapalain, G. (2006). Modélisation des mises en suspension dans le détroit du Pas-de-Calais sous l'influence des courants de marée et de la houle. *In L'Her, J. et Levacher, D. (ed.) IXèmes Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier*, Brest. Paralia. 231-238.
- Guillou, N. et Chapalain, G. (2008). Modélisation des mises en suspension des sédiments de fond dans le détroit du Pas-de-Calais en condition de tempête - comparaison avec les observations. *In Levacher, D. et Gaufres, P. (ed.) Xèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Sophia Antipolis. Paralia. 101-110.
- Guisan, A., Edwards Jr., T. C. et Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157: 89-100.
- Gupta, S., Collier, J. S., Palmer-Felgate, A. et Potter, G. (2007). Catastrophic flooding origin of shelf valley systems in the English Channel. *Nature*, 448: 342-346.

- Hamblin, R. J. O., Brosby, A., Balson, P. S., Jones, S. M., Chadwick, R. A., Penn, I. E. et Arthur, M. J. (1992). The geology of the English Channel. HMSO, London. 107 p.
- Hamon, D., Morizur, Y. et Quéro, J. C. (1997). Effets de la pêche. *In Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 218-228.
- Hartmann-Schröder, G. (1971). Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta [Annelida, bristleworms, Polychaeta]. Gustav Fischer, Jena, Germany. 594 p.
- Hayward, P. J. et Ryland, J. S. (1990). The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Introduction and Protozoans to Arthropods. Clarendon Press, Oxford. 553 p.
- Hecq, J.-H., Mingelbier, M., Goffart, A., Brylinski, J.-M. et Djenidi, S. (1992). Caractéristiques écohydrodynamiques de la baie sud de la Mer du Nord en régime d'été. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 61: 79-97.
- Heip, C., Basford, D., Craeymeersch, J. A., Dewarumez, J.-M., Dörjes, J., de Wilde, P. A. J., Duineveld, G., Eleftheriou, A., Herman, P. M. J., Niermann, U., Kingston, P., Künitzer, A., Rachor, E., Rumohr, H., Soetaert, K. et Soltwedel, T. (1992). Trends in biomass, density and diversity of North Sea macrofauna. *ICES Journal of Marine Science*, 49: 13-22.
- Hiddink, J. G. et Kaiser, M. J. (2005). Implications of Liebig's law of the minimum for the use of ecological indicators based on abundance. *Ecography*, 28: 264-271.
- Hily, C. et Guillaud, J.-F. (1997). Les rejets urbains en mer. *In Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 206-211.
- Hiscock, K., Southward, A., Tittley, I. et Hawkins, S. (2004). Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14: 333-362.
- Holme, N. A. (1961). The bottom fauna of the English Channel. Part 1. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 41: 397-461.
- Holme, N. A. (1966). The bottom fauna of the English Channel. Part II. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 46: 401-493.
- Holthe, T. (1986). Polychaeta Terebellomorpha. 192 p.
- Hortal, J., Borges, P. A. V. et Gaspar, C. (2006). Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *Journal of Animal Ecology*, 75: 274-287.
- Hughes, R. N., Peer, D. L. et Mann, K. H. (1972). Use of multivariate analysis to identify functional components of the benthos in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *Limnology and Oceanography*, 17: 111-121.
- Hurley, D. E. (1954). Studies on the New Zealand Amphipodan fauna. 7. The family Corophiidae, including a new species of *Paracorophium*. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, 82: 431-460.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. Cold spring harbor symposium. *Quantitative biology*, 22: 415-427.
- Idier, D., Ehrhold, A. et Garlan, T. (2002). Morphodynamique d'une dune sous-marine du détroit du Pas-de-Calais. *Compte Rendu Géoscience*, 334: 1079-1085.
- Ihaka, R. et Gentleman, R. (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 299-314.

- Irlinger, J. P., Gentil, F. et Quintino, V. (1991). Reproductive biology of the polychaete *Pectinaria koreni* (Malmgren) in the Bay of Seine (English Channel). *Ophelia*, Supplement 5 (Systematics, Biology and Morphology of World Polychaeta): 343-350.
- Isaaks, E. H. et Srivastava, R. M. (1990). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, USA, 592 p.
- James, J. W. C., Coggan, R. A., Blyth-Skyrme, V. J., Morando, A., Birchenough, S. N. R., Bee, E., Limpenny, D. S., Verling, E., Vanstaen, K., Pearce, B., Johnston, C. M., Rocks, K. F., Philpott, S. L. et Rees, H. L. (2007). The eastern English Channel marine habitat map. 139. CEFAS, Lowestoft. 191 p.
- Jennings, S., Dinmore, T. A., Duplisea, D. E., Warr, K. J. et Lancaster, J. E. (2001a). Trawling disturbance can modify benthic production processes. *Journal of Animal Ecology*, 70: 459-475.
- Jennings, S. et Kaiser, M. J. (1998). The effects of Fishing on Marine Ecosystems. In *Advances in marine biology*, 34, Press, A. (ed.). 202-352.
- Jennings, S., Pinnegar, J. K., Polunin, N. V. C. et Warr, K. J. (2001b). Impacts of trawling disturbance on the trophic structure of benthic invertebrate communities. *Marine Ecology Progress Series*, 213: 127-142.
- Jolly, M. T., Jollivet, D., Gentil, F., Thiebaut, E. et Viard, F. (2004). Sharp genetic break between Atlantic and English Channel populations of the polychaete *Pectinaria koreni*, along the North coast of France. *Heredity*, 94: 23-32.
- Jones, N. S. (1950). Marine bottom communities. *Biological Reviews*, 25: 283-313.
- Kalaydjian, R. (2008). La mer a de l'avenir. Données économiques maritimes françaises 2007. Ifremer, 35 p.
- Kelly-Gerrey, B. A., Hydes, D. J., Jégou, A. M., Lazure, P., Fernand, L. J., Puillat, I. et Garcia-Soto, C. (2006). Low salinity intrusions in the western English Channel. *Continental Shelf Research*,
- Kikuchi, R. (2010). Risk formulation for the sonic effects of offshore wind farms on fish in the EU region. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 172-177.
- Kirby, R. R. et Beaugrand, G. (2009). Trophic amplification of climate warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B. Biological science*, 276: 4095-4103.
- Kirkegaard, J. B. (1978). Settling, growth and life span of some common polychaetes from Danish waters. *Meddelelser fra Kommissionen for Danmarks Fiskeri- og Havundersgelser*, 7: 447-496.
- Koenker, R. et Hallock, K. F. (2001). Quantile regression. *Journal of Economic Perspectives*, 15: 143-156.
- Köller, J., Koppel, J. et Peters, W. (2006). Offshore wind energy: Research on environmental impacts. Springer-Verlag, Berlin. 371 p.
- Kossinna, E. (1921). Die Tiefen des Weltmeeres. *Veröffentlichungen des Institutes für Meereskunde und des Geographischen Institutes an der Universität Berlin, Neue Folge, A. Geographisch-Naturwissenschaftliche. Reihe*, 9: 1-70.
- L'Yavanc, J., Alzieu, C. et Mauvais, J.-L. (1999). Les dragages sur le littoral français. In *Dragages et environnement marin*, Ifremer (ed.). ATL, Brest. 25-35.
- Lafite, R., Shimwell, S., Grochowski, N., Dupont, J.-P., Nash, L., Salomon, J.-C., Cabioch, L., Collins, M. et Gao, S. (2000). Suspended particulate matter fluxes through the Straits of Dover, English Channel: observations and modelling. *Oceanologica Acta*, 23: 687-700.

- Lagadeuc, Y. et Brylinski, J.-M. (1987). Transport larvaire et recrutement de *Polydora ciliata* (Annélide, Polychète) sur le littoral boulonnais. *Cahiers de Biologie Marine*, 28: 537-550.
- Lamont, B. B. (1995). Testing the effects of ecosystem composition/structure on its functioning. *Oikos*, 74: 283-295.
- Lapierre, F. (1975). Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la Manche Orientale. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*, 279: 177-187.
- Larsonneur, C. (1971). Manche centrale et Baie de Seine: géologie du substratum et des dépôts meubles. *Thèse de doctorat d'Etat* de l'Université de Caen, Caen. 394 pp., 393 figs., 316 pls., ph, 391 carte h.t. p.
- Larsonneur, C., Bouysse, P. et Auffret, J.-P. (1982). The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. *Sedimentology*, 29: 851-864.
- Larsonneur, C., Horn, R., Auffret, J.-P., Hommeril, P. et Moal, A. (1975). Géologie de la partie méridionale de la Manche centrale. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*, 279: 145-153.
- Lavorel, S. et Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16: 545-556.
- Le Bot, S. et Trentesaux, A. (2004). Types of internal structure and external morphology of submarine dunes under the influence of tide- and wind-driven processes (Dover Strait, northern France). *Marine Geology*, 211: 143-168.
- Le Bot, S., Trentesaux, A., Garlan, T., Berne, S. et Chamley, H. (2000). Influence des tempêtes sur la mobilité des dunes tidales dans le détroit du Pas-de-Calais. *Oceanologica Acta*, 23: 129-141.
- Le Fèvre-Lehoërff, G., Castel, J. et Dewarumez, J.-M. (1997). Centrales nucléaires. In *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 253-259.
- Le Hir, P., Ficht, A., Jacinto, R. S., Lesueur, P., Dupont, J.-P., Lafite, R., Brenon, I., Thouvenin, B. et Cugier, P. (2001). Fine Sediment Transport and Accumulations at the Mouth of the Seine Estuary (France). *Estuaries*, 24: 950-963.
- Le Loc'h, F. (2004). Structure, fonctionnement, évolution des communautés benthiques des fonds meubles exploités du plateau continental Nord Gascogne. *Thèse de doctorat* de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest. 378 p.
- Lebart, L., Piron, M. et Morineau, A. (2006). Statistique exploratoire multidimensionnelle. Visualisation et inférence en fouilles de données. Dunod, Paris. 464 p.
- Leblond, E., Daurès, F., Berthou, P., Merrien, C., Pitel-Roudaut, M., Demaneche, S., Jezequel, M., Bodéré, E., Le Blond, S. et l'équipe d'exploitation de la base Harmonie du SIH (2009). Synthèse des flottilles de pêche 2007. Ifremer, 226 p.
- Legendre, L. et Legendre, P. (1984). Écologie numérique. Masson, Paris. 335 p.
- Lericolais, G., Auffret, J.-P. et Bourillet, J.-F. (2003). The Quaternary Channel River: seismic stratigraphy of its palaeo-valleys and deeps. *Journal of Quaternary Science*, 18: 245-260.
- Lesourd, S., Lesueur, P., Brun-Cottan, J.-C., Auffret, J.-P., Poupinet, N. et Laignel, B. (2001). Morphosedimentary Evolution of the Macrotidal Seine Estuary Subjected to Human Impact. *Estuaries*, 24: 940-949.
- Lesourd, S., Lesueur, P., Brun-Cottan, J. C., Garnaud, S. et Poupinet, N. (2003). Seasonal variations in the characteristics of superficial sediments in a macrotidal estuary (the Seine inlet, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 3-16.

- Lévêque, C. (2008a). Faut-il avoir peur des introductions d'espèces ? Le pommier, Paris. 64 p.
- Lévêque, C. (2008b). La biodiversité au quotidien : le développement durable à l'épreuve des faits. Quae, 288 p.
- Levin, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology: the Robert MacArthur award Lecture. *Ecology*, 73: 1943-1967.
- Levinton, J. (1995). Bioturbators as ecosystem engineers: control of the sediment fabric, inter-individual interactions, and material fluxes. *In Linking species & ecosystems*, Jones, C. G. et Lawton, J. H. (ed.). Chapman & Hall, New York. 29-36.
- Loew-Turbout, F. (2005). Les liaisons maritimes transmanche, hiver 2005-2006. <http://atlas-transmanche.certic.unicaen.fr/commun/lecteur2f/page.php?base=atlas&idpage=405&idlangue=fr>. Consulté le 03-10-2009.
- Longbottom, M. R. (1970). The distribution of *Arenicola marina* (L.) with particular reference to the effects of particule size and organic matter of the sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 5: 138-157.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D. U., Huston, M. A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. et Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294: 804-808.
- Luczak, C., Dewarumez, J.-M. et Essink, K. (1993). First record of the american jack knife clam *Ensis directus* on the French coast of the North Sea. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 73: 233-235.
- Lumby, J. R. (1935). Salinity and temperature of the English Channel. Atlas of charts. *Fishery Investigations. Series II*, 14: 1-150.
- Mackie, A.S.Y., Oliver, P.G. et Rees, E.I.S. (1995). Benthic biodiversity in the southern Irish Sea. *Studies in Marine Biodiversity and Systematics from the National Museum of Wales. BIOMÔR Reports 1*: 263 p.
- Mackie, A. S. Y., James, J. W. C., Rees, E. I. S., Darbyshire, T., Philpott, S. L., Mortimer, K., Jenkins, G. O. et Morando, A. (2006). The Outer Bristol Channel Marine Habitat Study. *Studies in Marine Biodiversity and Systematics from the National Museum of Wales. BIOMÔR Reports 4*: 249 p. & Appendix 228 p.
- Mahé, K., Destombes, A., Coppin, F., Koubbi, P., Vaz, S., Le Roy, D. et Carpentier, A. (2005). Le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* (L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord. Ifremer, 187 p.
- Mare, M. F. (1942). A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 25: 517-554.
- Martin, C. S., Carpentier, A., Vaz, S., Coppin, F., Curet, L., Dauvin, J.-C., Delavenne, J., Dewarumez, J.-M., Dupuis, L., Engelhard, G., Ernande, B., Foveau, A., Garcia, C., Gardel, L., Harrop, S., Just, R., Koubbi, P., Lauria, V., Meaden, G. J., Morin, J., Ota, Y., Rostiaux, E., Smith, R., Spilmont, N., Vérin, Y., Villanueva, C. et Warembourg, C. (2009). The Channel habitat atlas for marine resource management (CHARM): an aid for planning and decision-making in an area under strong anthropogenic pressure. *Aquatic Living Resources*, 22: 499-508.
- Matheron, G. (1970). The theory of regionalized variables and its applications. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau*, 5: 1-211.
- Mathivat-Lallier, M. H. et Cazaux, C. (1991). Life-history of *Nephtys hombergi* in Arcachon Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 32: 1-9.

- Maurer, D. (2000). The Dark Side of Taxonomic Sufficiency (TS). *Marine Pollution Bulletin*, 40: 98-101.
- McCune, B. et Grace, J. B. (2002). Analysis of ecological communities. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon. 300 p.
- Meißner, K., Darr, A. et Rachor, E. (2008). Development of habitat models for *Nephtys* species (Polychaeta: Nephtyidae) in the German Bight (North Sea). *Journal of Sea Research*, 60: 276-291.
- Mendes, C. L. T., Tavares, M. et Soares-Gomes, A. (2007). Taxonomic sufficiency for soft-bottom sublittoral mollusks assemblages in a tropical estuary, Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 377-384.
- Ménesguen, A. et Gohin, F. (2006). Observation and modelling of natural retention structures in the English Channel. *Journal of Marine Systems*, 63: 244-256.
- Merceron, M. (1999a). Marées vertes en Bretagne: état actuel des connaissances. In (ed.) "Pollutions diffuses: du bassin versant au littoral", Ploufragan. Ifremer. 10.
- Merceron, M. (1999b). Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral. Ifremer, 350 p.
- Michie, M. (1982). Use of the Bray-Curtis similarity measure in cluster analysis of foraminiferal data. *Mathematical Geology*, 14: 661-667.
- Mills, E. L. (1969). The community concept in marine zoology, with comments on continua and instability in some marine communities: a review. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 26: 1415-1428.
- Mills, E. L. (1968). Views of the community concept, with comments on continua and the role of instability in some marine benthic communities. *Vie et Milieu*, Suppl 22: 145-153.
- Möbius, K. (1877). Die Auster und die Austerwirtschaft. Hempel & Parey, Berlin. 1-126 p.
- Monbet, Y. et Desprez, M. (1997). Aménagements des grands ports. In *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.*, 28, Dauvin, J.-C. (ed.). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 259-267.
- Morieux, R. (2008). Une mer pour deux royaumes. La Manche, frontière franco-anglaise (XVII^e-XVIII^e siècles). Presses Universitaires de Rennes, Rennes. 384 p.
- Morin, A., Stephenson, J., Strike, J. et Solimini, A. G. (2004). Sieve retention probabilities of stream benthic invertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 23: 383-391.
- Moyse, J. et Smaldon, G. (1990). Crustacea III: Malacostraca Eucarida. In *The marine fauna of the british isles and northwest Europe*, 1. Introduction and protozoans to arthropods, Hayward, P. J. et Ryland, J. S. (ed.). Oxford Science Publication, Oxford. 489-552.
- Muschenheim, D. K., Grant, J. et Mills, E. L. (1986). Flumes for benthic ecologists: theory, construction and practice. *Marine Ecology Progress Series*, 28: 185-196.
- Naylor, E. et Frederick, S. R. (1965). Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. In *Advances in Marine Biology*, Volume 3, (ed.). Academic Press, 63-103.
- Nichols, F. H. (1970). Benthic polychaete assemblages and their relationship to the sediment in Port Madison, Washington. *Marine Biology*, 6: 48-57.
- Nihoul, J. C., Djenidi, J. S. et Hecq, J. H. (1989). Modelling coastal/shelf systems with emphasis on long term trends. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 27: 113-127.
- Nowell, A. R. et Jumars, P. A. (1987). Flumes: theoretical and experimental considerations for simulation of benthic environments. In *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 25, Barnes, M. (ed.). Aberdeen University Press, 91-112.

- Oksanen, J. (2009). Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. 42 p.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Simpson, G. L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H. et Wagner, H. (2009). vegan: community ecology package.
- Olafsson, E. B. et Persson, L.-E. (1986). The interaction between *Nereis diversicolor* O.F. Müller and *Corophium volutator* Pallas as a structuring force in a shallow brackish sediment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 103: 103-117.
- Olenin, S. et Ducrottoy, J.-P. (2006). The concept of biotope in marine ecology and coastal management. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 20-29.
- Olive, P. J. W. et Morgan, P. J. (1991). The reproductive cycles of four British intertidal *Nephtys* species in relation to their geographical distribution (Polychaeta: Nephtyidae). *Ophelia*, Supplement 5 (Systematics, Biology and Morphology of World Polychaeta): 351-362.
- Oliver, P.G. et Killeen, I.J. (2002). The Thyasiridae (Mollusca: bivalvia) of the British continental shells and North Sea Oilfields. *Studies in Marine Biodiversity and Systematics from the National Museum of Wales. BIOMOR Reports 3*: 73 p.
- Olivier, F., Desroy, N. et Retière, C. (1996). Habitat selection and adult-recruit interactions in *Pectinaria koreni* (Malmgren) (Annelida: Polychaeta) post-larval populations: Results of flume experiments. *Journal of Sea Research*, 36: 217-226.
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G.-K., Rodgers, K. B., Sabine, C. L., Sarmiento, J. L., Schlitzer, R., Slater, R. D., Torredell, I. J., Weirig, M.-F., Yamanaka, Y. et Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437: 681-686.
- Ortelius, A. (1594). *Britanniae et Normandiae typus*.
- Pachauri, R. K. et Reisinger, A. (2007). *Climate change 2007: synthesis report*. IPCC, Genève, Suisse. 104 p.
- Paine, R. T. (1966). Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist*, 100: 65-75.
- Palacin, C., Martin, D. et Gili, J.-M. (1991). Features of spatial distribution of benthic infauna in a Mediterranean shallow-water bay. *Marine Biology*, 110: 315-321.
- Palmer, M. W. et Maurer, T. A. (1997). Does diversity beget diversity? A case study of crops and weeds. *Journal of Vegetation Science*, 8: 235-240.
- Pauly, D. (2007). The sea around us project: documenting and communicating global fisheries impacts on marine ecosystems. *AMBIO: a journal of the Human Environment*, 34: 290-295.
- Pearman, P. B. et Weber, D. (2007). Common species determine richness patterns in biodiversity indicator taxa. *Biological Conservation*, 138: 109-119.
- Pearson, T. H. (1970). The benthic ecology of Loch Linnhe and Loch Eil, a sea-loch system on the west coast of Scotland. I. The physical environment and distribution of the macrobenthic fauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 5: 1-34.
- Pearson, T. H. et Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic Succession in relation to Organic Enrichment and Pollution of the Marine Environment. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 16: 229-311.
- Pérès, J. M. (1961). *Océanographie biologique et biologie marine*. Presses Universitaires de France, Paris. 541 p.
- Pérès, J. M. (1982). General features of organism assemblages in pelagial and bental. *In Marine Ecology*, 5, Kinne, O. (ed.). Wiley, John & sons, Chichester. 47-66.

- Petersen, C. G. J. (1913). Determination of the quantity of animal life of the sea-bottom, its communities and their geographical importance. (Valuations of the sea II). *Annales de l'Institut Océanographique*, 6:
- Pingree, R. D. et Griffiths, D. K. (1979). Sand transport path around the British Isles resulting from M_2 and M_4 tidal interactions. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 59: 497-513.
- Pingree, R. D. et Griffiths, D. K. (1980). Currents driven by a steady uniform wind stress on the shelf seas around the British Isles. *Oceanologica Acta*, 3: 227-236.
- Pingree, R. D. et Maddock, L. (1977). Tidal residuals in the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 57: 339-354.
- Pingree, R. D., Pennycuik, L. et Battin, G. A. W. (1975). A time-varying temperature model of mixing in the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 55: 975-992.
- Planque, B., Fromentin, J.-M., Cury, P., Drinkwater, K. F., Jennings, S., Perry, R. I. et Kifani, S. (2009). How does fishing alter marine populations and ecosystems sensitivity to climate? *Journal of Marine Systems*, 79: 403-417.
- Prandle, D., Loch, S. G. et Player, R. (1993). Tidal flow through the Straits of Dover. *Journal of Physical Oceanography*, 23: 23-27.
- Prygiel, J., Davoult, D., Dewarumez, J.-M., Glaçon, R. et Richard, A. (1988). Description et richesse des peuplements benthiques de la partie française de la Mer du Nord. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 306: 5-10.
- Quisthoudt, C., Bentley, D. et Brylinski, J.-M. (1987). Discontinuité hydrobiologique dans le détroit du Pas-de-Calais. *Journal of Plancton Research*, 9: 995-1002.
- Rainbow, P. S. (1984). An introduction to the biology of the british littoral barnacles. *Field Studies*, London, 6: 1-51.
- Rainer, S. F. (1991). Distribution, growth and production of *Nephtys hombergii* and *N. assimilis* (Polychaeta: nephtyidae) in benthic communities of the North Sea. *Bulletin of Marine Science*, 48: 330-345.
- Ratkowsky, D. A. (1984). A stopping rule and clustering method of wide applicability. *Botanical Gazette*, 145: 518-523.
- Reiss, H., Degraer, S., Duineveld, G. C. A., Kröncke, I., Aldridge, J., Craeymeersch, J. A., Eggleton, J. D., Hillewaert, H., Lavaleye, M. S. S., Moll, A., Pohlmann, T., Rachor, E., Robertson, M., Vanden Berghe, E., Van Hoey, G. et Rees, H. L. (2010). Spatial patterns of infauna, epifauna, and demersal fish communities in the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 67: 278-293.
- Retière, C. (1979). Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe Normano-Breton. *Thèse d'Etat* de l'Université de Rennes I, Rennes. 431 p.
- Reynaud, J.-Y., Tessier, B., Auffret, J.-P., Berné, S., De Batist, M., Marsset, T. et Walker, P. (2003). The offshore Quaternary sediment bodies of the English Channel and its Western approaches. *Journal of Quaternary Science*, 18: 361-371.
- Reys, J.-P. (1976). Les peuplements benthiques (zoobenthos) de la région de Marseille (France): aspects méthodologiques de la délimitation des peuplements par les méthodes mathématiques. *Marine Biology*, 36: 123-134.
- Rhoads, D. C. (1974). Organism-sediment relations on the muddy sea floor. In *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 12, Barnes, H. (ed.). George Allen & Unwin LTD, London. 263-300.

- Rhoads, D. C. et Germano, J. D. (1982). Characterization of organism-sediment relations using sediment profile imaging: an efficient method of remote ecological monitoring of the seafloor (RemotsTM System). *Marine Ecology Progress Series*, 8: 115-128.
- Rhoads, D. C. et Germano, J. D. (1986). Interpreting long-term changes in benthic community structure: a new protocol. *Hydrobiologia*, 142: 291-308.
- Rhoads, D. C. et Young, D. K. (1970). The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*, 28: 150-178.
- Rhoads, D. C. et Young, D. K. (1971). Animal-sediment relations in Cape Cod Bay, Massachusetts. II. Reworking by *Molpadia oolitica* (Holothuroidea). *Marine Biology*, 11: 255-261.
- Rice, J. C. (2006). Impacts of mobile bottom gears on seafloor habitats, species, and communities: a review and synthesis of selected international reviews. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Documents*, 2006/057: 1-39.
- Richard, A., Degros, N. et Dewarumez, J.-M. (1988). Pollutions métalliques des organismes benthiques du littoral français de la Mer du Nord (Calais-Dunkerque) : influence du régime alimentaire. *Océanis*, 14: 435-446.
- Rietjens, J. et Agoumi, A. (1992). Modélisation de l'écosystème pélagique en Manche : du modèle global de la Manche au modèles côtier du littoral nord-breton. *Hydroécologie Appliquée*, 4: 105-121.
- Robbe, D. (1988). Equipement et dragages des ports de plaisance. Incidence de l'équipement sur la pollution métallique des sédiments. Evaluation de cette pollution. Incidence sur le dragage. *Journal de la Recherche Océanographique*, 13: 18-22.
- Robinson, K.A., Darbyshire, T., Van Landeghem, K., Lindenbaum, C., McBreen, F., Creavan, S., Ramsay, K., Mackie, A.S.Y., Mitchell, N., Wheeler, A., Wilson, J.G. et O'Beirn, F. (2009a). Habitat mapping for conservation and management of the Southern Irish Sea (HABMAP) I: Seabed Surveys. *Studies in marine biodiversity and systematics from the National Museum of Wales. BIOMÓR Reports 5(1)*: 148 p, Appendices 74 p.
- Robinson, K.A., Ramsay, K., Lindenbaum, C., Frost, N., Moore, J., Petrey, D. et Darbyshire, T. (2009b). Habitat mapping for conservation and management of the Southern Irish Sea volume II: modelling & mapping. *Studies in marine biodiversity and systematics from the National Museum of Wales, BIOMÓR Reports 5 (2)*, 66 p.
- Ruellet, T. (2004). Infestation des coquilles d'huîtres *Crassostrea gigas* par les polydores en Basse-Normandie : recommandations et mise au point d'un traitement pour réduire cette nuisance. *Thèse de doctorat* de l'Université de Caen / Basse-Normandie, Caen. 538 p.
- Ruellet, T. et Dauvin, J.-C. (2008). Biodiversité des invertébrés aquatiques de la partie orientale de la baie et de l'estuaire de Seine : la base de données CISA, deux siècles d'observations. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 481-488.
- S.H.O.M. (1968). Courants de marées dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique. Imprimerie National, Paris. 287 p.
- Salomon, J.-C. (1989). Possible hydrodynamic influences on benthic macrofauna in tidal coastal zones: the case of the English Channel. 55. ICES, 1-18 p.
- Salomon, J.-C. (1990). Role of instantaneous and long-term water movements on the recruitment and life of benthic fauna in the English Channel. *La mer*, 28: 211-217.
- Salomon, J.-C. et Breton, M. (1991). Courants résiduels de marée dans la Manche. *Oceanologica Acta*, sp11: 47-53.
- Salomon, J.-C., Breton, M. et Guéguéniat, P. (1993). Computed residual flow through the Dover Strait. *Oceanologica Acta*, 16: 449-455.

- Sanders, H. L. (1958). Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. *Limnology and Oceanography*, 3: 245-258.
- Sanders, H. L. (1960). Benthic studies in Buzzards Bay. III. The structure of the soft-bottom community. *Limnology and Oceanography*, 5: 138-153.
- Sanders, H. L., Goudsmit, E. M., Mills, E. L. et Hampson, G. E. (1962). A study of the intertidal fauna of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Limnology and Oceanography*, 7: 63-79.
- Sanson, N. (1639). Description de la France. Melchior Tavernier, Paris.
- Sanvicente-Añorve, L. (1995). Détermination des structures benthiques spatiales en Manche Orientale au moyen de méthodes d'analyse multivariable et de techniques d'interpolation. de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille. 169 p.
- Sanvicente-Añorve, L., Leprêtre, A. et Davoult, D. (1996). Large-scale spatial pattern of the macrobenthic diversity in the Eastern English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 76: 153-160.
- Schiel, D. R., Steinbeck, J. R. et Foster, M. S. (2004). Ten years of induced ocean warming causes comprehensive changes in marine benthic communities. *Ecology*, 85: 1833-1839.
- Schlacher, T. A. et Wooldridge, T. H. (1996a). How accurately can retention of benthic macrofauna by a particular mesh size be predicted from body size of organisms? *Hydrobiologia*, 323: 149-154.
- Schlacher, T. A. et Wooldridge, T. H. (1996b). How sieve mesh size affects sample estimates of estuarine benthic macrofauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 201: 159-171.
- Seiderer, L. J. et Newell, R. C. (1999). Analysis of the relationship between sediment composition and benthic community structure in coastal deposits: implications of marine aggregate dredging. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 757-765.
- Shackley, S. E. et Collins, M. (1984). Variations in sublittoral sediments and their associated macro-infauna in response to inner shelf processes; Swansea Bay, U.K. *Sedimentology*, 31: 793-804.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System technical journal*, 27: 379-423, 623-656.
- Smith, A. J. (1985). A catastrophic origin for the palaeovalley system of the eastern English Channel. *Marine Geology*, 64: 65-75.
- Smith, A. J. et Curry, D. (1975). The structure and geological evolution of the English Channel. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*, 279: 3-20.
- Sneath, P. H. et Sokal, R. R. (1973). Numerical taxonomy. Freeman, San Francisco, Californie. 573 p.
- Snelgrove, P. V. R., Blackburn, T. H., Hutchings, P. A., Alongi, D. M., Grassle, J. F., Hummel, H., King, G., Koike, I., Lamshead, P. J. D., Ramsing, N. B. et Solis-Weiss, V. (1997). The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio*, 26: 578-583.
- Snelgrove, P. V. R. et Butman, C. A. (1994). Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. In *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 32, Ansell, A. D., Gibson, R. N. et Barnes, M. (ed.). UCL Press, Woods Hole. 111-177.
- Snelgrove, P. V. R., Grassle, J. F., Grassle, J. P., Petrecca, R. F. et Stocks, K. I. (2001). The role of colonization in establishing patterns of community composition and diversity in shallow-water sedimentary communities. *Journal of Marine Research*, 59: 813-830.
- Souplet, A., Glaçon, R., Dewarumez, J.-M. et Smigielski, F. (1980). Distribution des peuplements benthiques littoraux en Mer du Nord, du Cap Blanc-Nez à la frontière de Belgique. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 290: 627-630.

- Spilmont, N., Denis, L., Artigas, L. F., Caloin, F., Courcot, L., Créach, A., Desroy, N., Gevaert, F., Hacquebart, P., Hubas, C., Janquin, M.-A., Lemoine, Y., Luczak, C., Migné, A., Rauch, M. et Davoult, D. (2009). Impact of the *Phaeocystis globosa* spring bloom on the intertidal benthic compartment in the Eastern English Channel: a synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 55-63.
- Stecher, H. J. (1968). Zur Organisation und Fortpflanzung von *Pisione remota* (Southern) (Polychaeta, Pisionidae). *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 61: 347-410.
- Terlizzi, A., Anderson, M. J., Bevilacqua, S., Fraschetti, S., Wlodarska-Kowalczyk, M. et Ellingsen, K. E. (2009). Beta diversity and taxonomic sufficiency: do higher-level taxa reflect heterogeneity in species composition? *Diversity and Distributions*, 15: 450-458.
- Terlizzi, A., Bevilacqua, S., Fraschetti, S. et Boero, F. (2003). Taxonomic sufficiency and the increasing insufficiency of taxonomic expertise. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 556-561.
- Thiébaud, E. (1994). Dynamique du recrutement et dispersion larvaire de deux annélides polychètes, *Owenia fusiformis* et *Pectinaria koreni*, en régime mégatidal (Baie de Seine orientale, Manche). *Thèse de Doctorat* de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, 151 p.
- Thiébaud, E., Cabioch, L., Dauvin, J.-C., Retière, C. et Gentil, F. (1997). Spatio-temporal persistence of the *Abra alba-Pectinaria koreni* muddy-fine sand community of the eastern Bay of Seine. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 77: 1165-1185.
- Thomas, Y. F. (1985). Etude des transports de matières en suspension en Manche par l'emploi de l'imagerie CZCS. In Ifremer (ed.) *La Baie de Seine (Gréco-Manche)*, Université de Caen. Ifremer. 173-182.
- Thorson, G. (1957). Bottom communities (sublittoral and shallow shelf). *Memoir of the Geological Society of America*, 67: 461-534.
- Thouzeau, G., Chauvaud, L., Grall, J. et Guérin, L. (2000). Rôle des interactions biotiques sur le devenir du pré-recrutement et la croissance de *Pecten maximus* (L.) en rade de Brest. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323: 815-825.
- Thrush, S. F., Schneider, D. C., Legendre, P., Whitlatch, R. B., Dayton, P. K., Hewitt, J. E., Hines, A. H., Cummings, V. J., Lawrie, S. M., Grant, J., Pridmore, R. D., Turner, S. J. et McArdle, B. H. (1997). Scaling-up from experiments to complex ecological systems: Where to next? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 216: 243-254.
- Tilman, D. (1999a). Diversity by default. *Science*, 283: 495-496.
- Tilman, D. (1999b). The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80: 1455-1474.
- Toulemont, A. (1972). Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques. Baie de Douarnenez et d'Audierne (Ouest-Finistère). *Cahiers de Biologie Marine*, 13: 91-136.
- d'Udekem d'Acoz, C. (1999). Inventaire et distribution des crustacés décapodes de l'Atlantique nord-occidental, de la Méditerranée et des eaux continentales adjacentes au nord de 25°N. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 383 p.
- Ugland, K. I., Gray, J. S. et Ellingsen, K. E. (2003). The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology*, 72: 888-897.
- Underwood, A. J. et Chapman, M. G. (1996). Scales of Spatial Patterns of Distribution of Intertidal Invertebrates. *Oecologia*, 107: 212-224.

- Vallet, C., Dauvin, J.-C., Hamon, D. et Dupuy, C. (2001). Effect of the introduced common slipper shell on the suprabenthic biodiversity of the subtidal communities in the Bay of Saint-Brieuc. *Conservation Biology*, 15: 1686-1690.
- Vaslet, D., Larsonneur, C. et Auffret, J.-P. (1979). Les sédiments superficiels de la Manche 1/500 000. Carte + explication.
- Vaz, S., Carpentier, A. et Coppin, F. (2007). Eastern English Channel fish assemblages: measuring the structuring effects of habitats on distinct sub-communities. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 271-287.
- Vaz, S., Carpentier, A. et Coppin, F. (2008a). Modelling fish community habitat in the Eastern English Channel: tentative prediction of habitat distribution change under different climatic variation scenarios. 13 p.
- Vaz, S., Martin, C. S., Eastwood, P. D., Ernande, B., Carpentier, A., Meaden, G. J. et Coppin, F. (2008b). Modelling species distributions using regression quantile. *Journal of Applied Ecology*, 45: 204-217.
- Velegrakis, A. F., Michel, D., Collins, M. B., Lafite, R., Oilonomou, E. K., Dupont, J.-P., Huault, M.-F., Lecouturier, M., Salomon, J.-C. et Bishop, C. (1999). Sources, sinks and resuspension of suspended particulate matter in the eastern English Channel. *Continental Shelf Research*, 19: 1933-1957.
- Venema, S. C. et Creutzberg, F. (1973). Seasonal migration of the swimming crab *Macropipus holsatus* in an estuarine area controlled by tidal streams. *Netherlands Journal of Sea Research*, 7: 94-102.
- Visser, M., Batten, S., Becker, G. A., Bot, P. C., F., Damm, P., Danielssen, D., Van den Eynde, D., Foyn, L., Frohse, A., Groeneveld, G., Laane, R., Van Raaphorst, W., Radach, G., Schultz, H. et Sündermann, J. (1996). Time series analysis of monthly mean data of temperature, salinity, nutrients, suspended matter, phyto- and zoo-plankton at eight locations on the Northwest European Shelf. *Ocean Dynamics*, 48: 299-323.
- Waeles, B., Le Hir, P., Lesueur, P. et Delsinne, N. (2007). Modelling sand/mud transport and morphodynamics in the Seine river mouth (France): an attempt using a process-based approach. *Hydrobiologia*, 588: 69-82.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58: 236-244.
- Warembourg, C. (2000). Distribution des peuplements macrobenthiques de la frange côtière en Manche Orientale (zone de Dieppe - Boulogne sur Mer) *Diplôme Supérieur de Recherche* de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 98 p.
- Warwick, R. M. et Uncles, R. J. (1980). Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Channel in relation to tidal stress. *Marine Ecology Progress Series*, 3: 97-103.
- Webster, R. et Oliver, M. A. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. 271 p.
- Whitlatch, R. B. (1981). Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 53: 31-45.
- Whitlatch, R. B., Lohrer, A. M. T., S.F., Pridmore, R. D., Hewitt, J. E., Cummings, V. J. et Zajac, R. N. (1998). Scale-dependent benthic recolonization dynamics: life stage-based dispersal and demographic consequences. *Hydrobiologia*, 375/376: 217-226.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21: 213-251.
- Wiens, J. A. (1989). Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, 3: 385-397.

- Wieser, W. (1959). The effect of grain size on the distribution of small invertebrates inhabiting the beaches of Pudget Sound. *Limnology and Oceanography*, 4: 181-194.
- Wigley, R. L. (1967). Comparative efficiencies of Van Veen and Smith-McIntyre grab samplers as revealed by motion picture. *Ecology*, 48: 168-169.
- Wilhelmsson, D. et Malm, T. (2008). Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79: 459-466.
- Wilson, E. O. (1985). The crisis of biological diversity. *Issues in Science and Technology*, 2: 20-29.
- Wilson, J. G., Mackie, A.S.Y., O'Connor, B. D. S., Rees, E.I.S. et Darbyshire, T. (2001). Benthic Biodiversity in the Southern Irish Sea 2: the South-West Irish Sea Survey. *Studies in Marine Biodiversity and Systematics from the National Museum of Wales. BIOMÓR Reports 2*: 143 p.
- Wolff, W. J. (1973). The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Zoologische Verhandlungen*, 126: 1-242.
- Young, D. K. et Rhoads, D. C. (1971). Animal-sediment relations in Cape Cod Bay, Massachusetts. I. A transect study. *Marine Biology*, 11: 242-254.
- Young, S. (2007). MESH maps come online. A framework to support seabed habitat mapping. *Hydro International*, 11: 6-9.

ANNEXES

La terminologie des BDD

Access est un SGBDR, c'est-à-dire un Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles. Dans cet outil, les informations doivent être segmentées en données qui sont stockées dans des tables.

Une table correspond à un ensemble de données, organisées en lignes et en colonnes. N'importe quel type d'information peut être stocké dans une table (texte, chiffre, graphisme...). Chaque table est donc divisée en enregistrements (lignes), ceux-ci étant l'ensemble des données relatives à la même information. Chaque partie d'un enregistrement s'appelle un champ (colonne).

La Base de Données est l'ensemble des tables liées entre elles. Les liaisons se font par des champs communs (il existe plusieurs types de liaisons). Les champs communs permettent de relier les tables entre elles et avec les requêtes dans la fenêtre Relations. Certains champs permettent d'identifier de façon unique chaque enregistrement : ils sont appelés clé primaire.

Une requête sert à afficher uniquement certaines données contenues dans les tables selon des critères définis. Les requêtes peuvent donc faire des calculs sur les données, modifier des tables existantes ou en créer des nouvelles.

La fenêtre Relations permet de visualiser comment les tables sont reliées entre elles.

La table Abondance Biomasse.

Rassemble toutes les informations « brutes » issues du travail au laboratoire sur les taxa présents dans la zone d'étude. Cette table comporte huit champs :

Le champ Prelevement (*), qui est le nom affecté au réplikat.

Le champ Taxon_valide (*), qui donne le nom du taxon tel qu'il est accepté aujourd'hui. Ainsi, les noms des sous-genres sont précisés entre parenthèses après le nom de genre, et les noms de sous-espèces sont précisés après le nom d'espèce sans aucune mention supplémentaire. De plus, les noms de genres ne sont pas suivis des mentions sp. ou spp. (qui servent à désigner une ou plusieurs espèces d'un genre donné). Les informations proviennent d'une autre base de données, l'ERMS (European Register of Marine Species), consultable à l'adresse suivante : www.marbef.org/data/aphia.php.

Le champ Abdces_brut, qui donne le nombre d'individus trouvés par prélèvement quelque soit la surface échantillonnée ou le volume prélevé.

Le champ Nb_collection, qui indique le nombre d'individus ôtées du prélèvement pour servir de référence pour la collection établie dans le cadre de ce travail.

Le champ Nb_biomasse, qui indique le nombre d'individus qui ont servi à établir la biomasse de l'espèce considérée pour le prélèvement.

Le champ PSLC_mesure, qui donne le poids sec libre de cendres des individus pour une espèce donnée. Il est exprimé en g.

Le champ Biom_indiv, qui donne le poids individuel de l'espèce pour un prélèvement donné. Il est exprimé en g.

Le champ Biom_totale, qui donne le poids sec libre de cendres estimé, c'est-à-dire que ce dernier a été calculé à partir du poids individuel à un prélèvement donnée multiplié par le nombre d'individus total (sans les individus en collection). Il est exprimé en g.

La table Collection

Rassemble les informations le numéro de collection attribué à chaque taxon valide et une photographie de ce taxon. Cette table comporte trois champs :

Le champ Taxon_valide (*), dont la description a été donnée pour la table Abondance_Biomasse.

Le champ Numero_collection, qui renvoie au numéro de collection attribué à chaque taxon valide.

Le champ Photo, est un élément OLE, qui correspond à une photographie ou un montage photographique permettant une visualisation du taxon considéré.

La table Correspondance noms

Permet la correspondance entre les noms couramment usités pour un taxon et son nom valide. Cette table comporte deux champs :

Le champ Taxon_valide (*), dont la description a été donnée pour la table Abondance_Biomasse.

Le champ Taxon_determ, qui précise l'identité du taxon tel qu'il a été désigné dans les ouvrages de détermination utilisés et qui est (ou non) valide actuellement.

La table Ech theorique

Donne des informations de base sur les engins de prélèvement, notamment les éléments utiles aux calculs des abondances et des biomasses par rapport à un standard (m² pour les engins quantitatifs, 30 L pour les engins semi-quantitatifs). Cette table comporte trois champs :

Le champ Engin (*), clé primaire, qui contient les noms des trois engins de prélèvement employés (la benne Hamon, la benne Van Veen et la drague Rallier du Baty).

Le champ Surf_ech, qui renvoie à la surface théorique d'échantillonnage des engins quantitatifs, soit 0,5 m² pour la benne Hamon et 0,1 m² pour la benne Van Veen.

Le champ Vol_ech, qui renvoie au volume théorique d'échantillonnage de l'engin semi-quantitatif qu'est la drague Rallier du Baty (30 L).

La table Ecologie

Rassemble les informations sur certains traits d'histoire de vie des taxa présents dans la zone d'étude. Cette table comporte cinq champs :

Le champ Taxon_valide (*), dont la description a été donnée pour la table Abondance_Biomasse.

Le champ GT, qui renvoie au groupe trophique du taxon considéré.

Le champ GE, qui renvoie au groupe écologique, exprimant la sensibilité du taxon à un gradient croissant de stress environnemental.

Le champ Mode_vie, qui renvoie au fait que le taxon considéré appartient à l'enfodaune, l'épifaune vagile ou l'épifaune sessile. Cette appartenance a été validée lors d'une réunion interne aux benthologues de la Station Marine de Wimereux, qui a eu lieu le 07 janvier 2009.

Le champ Remarque, est susceptible de contenir toute information jugée nécessaire quant à la biologie de l'espèce.

La table Granulometrie

Rassemble toutes les informations issues du traitement et de l'analyse des échantillons granulométriques. Cette table comporte 51 champs :

Le champ Prelevement (*), dont la description a été donnée dans la table Abondance_Biomasse.

Les champs Tamis_0_g, Tamis_50_g, Tamis_63_g, Tamis_80_g, Tamis_100_g, Tamis_125_g, Tamis_160_g, Tamis_200_g, Tamis_250_g, Tamis_315_g, Tamis_400_g, Tamis_500_g, Tamis_630_g, Tamis_800_g, Tamis_1000_g, Tamis_1250_g, Tamis_1600_g, Tamis_2000_g, Tamis_5000_g, Tamis_20000_g et Tamis_50000_g, qui précisent la valeur, en g, du refus de tamis obtenu lors de l'étape de granulométrie.

Le champ Poids_Total, qui précise le poids, en g, de l'échantillon analysé.

Le champ Q1, ou premier quartile, correspondant au diamètre égal à celui de 25 % des grains.

Le champ Md, ou médiane, correspondant au diamètre égal à celui de la moitié pondérale des grains.

Le champ Q3, ou troisième quartile, correspondant au diamètre égal à celui de 75 % des grains.

Le champ S0, qui renvoie au coefficient de classement (ou indice de Trask), calculé selon la formule suivante :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

Cet indice permet d'apprécier le classement du sédiment. Ainsi, plus la valeur de S_0 est proche de 1, meilleur est l'indice de classement. D'un point de vue mathématique, cette valeur ne peut être négative.

Le champ Sk, qui renvoie à l'indice d'asymétrie « Skewness » (Sk) du sédiment, calculé selon la formule suivante :

$$Sk = \frac{Q_1 \times Q_3}{Md^2}$$

Cet indice permet d'exprimer le mode symétrie de l'histogramme par rapport à la médiane. Lorsque l'indice tend vers 1, l'asymétrie existe vers les grosses particules.

Les champs Tamis_0_%, Tamis_50_%, Tamis_63_%, Tamis_80_%, Tamis_100_%, Tamis_125_%, Tamis_160_%, Tamis_200_%, Tamis_250_%, Tamis_315_%, Tamis_400_%, Tamis_500_%, Tamis_630_%, Tamis_800_%, Tamis_1000_%, Tamis_1250_%, Tamis_1600_%, Tamis_2000_%, Tamis_5000_%, Tamis_20000_% et Tamis_50000_%, qui précisent la valeur, en %, du refus de tamis obtenu lors de l'étape de granulométrie.

Le champ Code_Folk, qui précise de type sédimentaire du prélèvement établi à partir de la classification de Folk modifiée (voir chapitre III), exprimé sous forme de code.

Le champ Code_Lars, qui renvoie au type sédimentaire établi par Vaslet et al. (1979).

La table Liaison,

Permet de faire la relation entre les prélèvements, les stations et les campagnes. Cette table comporte trois champs.

Le champ Prelevement (*, clé primaire), dont la description a été donnée dans la table Abondance_Biomasse.

Le champ Station (* ?), qui renvoie chaque prélèvement à la station.

Le champ Campagne, qui permet d'assimiler un prélèvement avec la campagne au cours de laquelle il a été échantillonné.

La table Taxonomie.

Apporte toutes les informations nécessaires à la taxonomie des taxa valides. Les informations de cette table proviennent de la base de données de l'ERMS et sont figés à la date du 17 octobre 2008. Cette table comporte 28 champs :

Le champ Taxon_valide (*, clé primaire), dont la description a été donnée pour la table Abondance_Biomasse.

Le champ Aphia_ID, qui renvoie à un code attribué à chaque taxon valide et qui est constant, même si le taxon vient à changer de nom.

Le champ **Numero_classement**, qui permet de réaliser un tri une fois toutes les informations phylogénétiques remplies.

Le champ Niveau_determination, qui donne le niveau taxonomique correspondant au taxon valide considéré, précédé du numéro affecté au niveau taxonomique.

Le champ Niveau_terminal, qui précise si le taxon valide considéré possède un niveau taxonomique inférieur présent dans la base de données (le champ prend alors pour valeur non ; c'est le cas pour 117 taxa) ou bien s'il s'agit du niveau taxonomique le plus faible atteint dans la base (le champ prend alors pour valeur oui ; c'est le cas pour 758 taxa).

Le champ Rang, qui est quasiment similaire au champ Niveau_determination, excepté qu'il ne renvoie qu'au nom du niveau taxonomique du taxon considéré. Ainsi, dans la BDD MABEMONO, il y a 2 règnes (Animalia et Plantae, qui servent de racines à l'ensemble de la base), 15 phyla, 11 sous-phyla, 2 super-classes, 27 classes, 28 sous-classes, 2 infra-classes, 8 super-ordres, 84 ordres, 47 sous-ordres, 12 infra-ordres, 4 sections, 2 sous-sections, 75 super-familles, 294 familles, 45 sous-familles, 7 tribus, 505 genres, 20 sous-genres, 623 espèces, 2 sous-espèces.

Le champ Autorite, qui précise l'auteur et l'année de la première description du taxon. Conformément aux règles en usage, ces informations sont placées entre parenthèses lorsque le nom du taxon valide n'est pas le même que le nom sous lequel l'organisme a été décrit.

Les champs Regne, Phylum, Sous-Phylum, Super-Classe, Classe, Sous-Classe, Infra-Classe, Super-Ordre, Ordre, Sous-Ordre, Infra-Ordre, Section, Sous-Section, Super-Famille, Famille, Sous-Famille, Tribu, Genre, Sous-Genre, Espece et Sous-Espece, qui précisent la systématique du taxon. Les noms de ces champs correspondent, aux accents près, aux appellations des différents niveaux taxonomiques correspondants et ne nécessitent par conséquent pas d'autres explications.

La table Terrain.

Rassemble toutes les informations géographiques et les données environnementales relatives à chaque prélèvement récoltées aux cours des missions en mer. Cette table comporte 24 champs :

Le champ Prelevement (*, clé primaire), dont la description a été donnée dans la table Abondance_Biomasse.

Le champ Date, qui renvoie à la date à laquelle a été effectué le prélèvement.

Le champ Heure, qui renvoie à l'heure à laquelle a été effectué le prélèvement.

Les champs Long_DMN_deb, Lat_DMN_deb, Long_DMN_fin et Lat_DMN_fin, qui renvoient à la longitude et à la latitude des prélèvements, exprimés en Degré Minutes. Pour les traits de drague, les coordonnées géographiques ont été relevées au début et en fin de trait. La terminaison « _deb » s'appliquent donc pour les coordonnées du début de trait et la terminaison « _fin » pour les coordonnées de fin de trait. Pour les bennes, il s'agit de prélèvements ponctuels : seul les champs avec une terminaison « _deb » sont renseignés.

Les champs Long_DDEC_deb, Lat_DDEC_deb, Long_DDEC_fin et Lat_DDEC_fin, qui renvoient à la longitude et à la latitude des prélèvements, ici exprimés en Degré Décimaux.

Les champs Long_LT2E_deb, Lat_LT2E_deb, Long_LT2E_fin et Lat_LT2E_fin, qui renvoient à la longitude et à la latitude des prélèvements, exprimés en Lambert II étendu.

Le champ Profbrut, qui correspond à la profondeur « brute » relevé à la sonde du bateau.

Le champ Profcorr, qui correspond à la profondeur corrigée du sabot du bateau et de la hauteur d'eau au moment du prélèvement.

Le champ Engin (*), dont la description a été donnée dans la table Ech_theorique.

Le champ Volume_preleve, qui correspond au volume du prélèvement à la sortie de l'engin de prélèvement.

Le champ Volume_analyse, qui correspond au volume traité au laboratoire. Parfois, celui-ci correspond au volume prélevé. D'autres fois, il correspond à un sous-échantillonnage du volume prélevé.

Le champ Fraction_analyse, qui renvoie au refus de tamis analysé au laboratoire, c'est-à-dire soit la fraction 2 mm, soit la fraction 1 mm.

Le champ Determinateur, qui renvoie à la (aux) personne(s) qui est (sont) intervenu(es) pour déterminer les taxa présentes dans le prélèvement.

Le champ Temperature, qui renvoie aux données de température récoltées à l'aide du thermosalinomètre du bateau.

Le champ Salinite, qui renvoie aux données de salinité récoltées à l'aide du thermosalinomètre du bateau.

La table PRIMER

Rassemble toutes les informations concernant les différents calculs de la diversité biologique. Cette table comporte 21 champs :

Le champ Prelevement (*), dont la description a été donnée dans la table Abondance_Biomasse.

Le champ S, qui renvoie au nombre total de taxa récoltés sur une station.

Le champ N, qui renvoie au nombre total d'individus récoltés sur une station.

Le champ d, est un calcul de la richesse spécifique. C'est l'indice de Margalef qui se calcule de la façon suivante : $d = \frac{(S-1)}{\log_e N}$.

Le champ J', qui renvoie aux valeurs de l'indice de Piélou, dont le calcul est : $J' = \frac{H'}{\log_e S}$.

Le champ Brillouin, qui renvoie aux valeurs de l'indice qui se calcule de la façon suivante : $H = N^{-1} \times \log_e \{N! (N1! N2! \dots Ns!)\}$.

Le champ Fischer, qui renvoie à la statistique alpha de Fischer.

Le champ H', qui renvoie aux valeurs de l'indice de Shannon-Wiever, dont le calcul est : $H' = -\sum_i p_i \log_2 p_i$.

Les champs Lambda, 1-Lambda, Lambda' et 1-Lambda', qui renvoient aux différentes valeurs calculées des indices de Simpson, et dont les expressions respectives (calculées sous PRIMER) sont : $\text{Lambda} = \sum_i P_i^2$; $1 - \text{Lambda} = 1 - \sum_i P_i^2$; $\text{Lambda}' = \sum_i \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$ et $1 - \text{Lambda}' = 1 - \sum_i \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$.

Les champs N1, N2, Ninf, N10, N10', N21 et N21', qui renvoient aux différentes valeurs calculées des nombres de Hill et dont les formules sont respectivement : $N1 = e^{H'}$; $N2 = \frac{1}{\text{Lambda}}$; $Ninf = \frac{1}{\max(P_i)}$; $N10 = \frac{N1}{S}$; $N10' = \frac{N1-1}{S-1}$; $N21 = \frac{N2}{N1}$ et $N21' = \frac{(N2-1)}{(N1-1)}$.

Les champs ES(50) et ES(80), qui renvoient aux valeurs de la méthode de raréfaction de Hurlbert-Sanders et qui correspondent aux nombres d'espèces attendues parmi respectivement 50 et 80 individus.

Annexe 2 : Liste des taxa ayant la plus forte probabilité de récolte.

<i>Abra alba</i>	<i>Ensis arcuatus</i>	<i>Lutraria</i>	<i>Pecten maximus</i>
<i>Abra nitida</i>	<i>Ensis ensis</i>	<i>Lygdamis muratus</i>	<i>Pectinaria (Lagis) koreni</i>
<i>Abra prismatica</i>	<i>Epitonium clathrus</i>	<i>Lysidice ninetta</i>	<i>Perinereis cultrifera</i>
<i>Acanthocardia (Rudicardium) tuberculata</i>	<i>Epitonium trevelyanum</i>	<i>Macoma balthica</i>	<i>Petaloproctus terricolus</i>
<i>Acanthocardia aculeata</i>	<i>Eteone flava</i>	<i>Macropodia deflexa</i>	<i>Phascolion (Phascolion) strombi</i>
<i>Acanthocardia echinata</i>	<i>Eteone foliosa</i>	<i>Macropodia linaresi</i>	<i>Phaxas pellicidus</i>
<i>Acanthochitona crinita</i>	<i>Eteone longa</i>	<i>Macropodia longirostris</i>	<i>Pherusa plumosa</i>
<i>Acanthochitona discrepans</i>	<i>Eualus occultus</i>	<i>Macropodia rostrata</i>	<i>Philocheras bispinosus</i>
<i>Acanthodoris pilosa</i>	<i>Eualus pusiolus</i>	<i>Macropodia tenuirostris</i>	<i>Philocheras fasciatus</i>
<i>Achaeus cranchii</i>	<i>Euclymene lumbricoides</i>	<i>Maetra stultorum</i>	<i>Philocheras sculptus</i>
<i>Achelia echinata</i>	<i>Euclymene oerstedii</i>	<i>Magelona alleni</i>	<i>Philocheras trispinosus</i>
<i>Acrocnida brachiata</i>	<i>Eulalia bilineata</i>	<i>Magelona johnstoni</i>	<i>Pholoe</i>
<i>Aequipecten opercularis</i>	<i>Eulalia viridis</i>	<i>Magelona mirabilis</i>	<i>Phoronida</i>
<i>Alentia gelatinosa</i>	<i>Eumida sanguinea</i>	<i>Maja brachydactyla</i>	<i>Phtisica marina</i>
<i>Alpheus glaber</i>	<i>Eunereis longissima</i>	<i>Malmgreniella</i>	<i>Phyllodoce (Anaitides) groenlandi</i>
<i>Alpheus macrocheles</i>	<i>Eunice pennata</i>	<i>Marphysa bellii</i>	<i>Phyllodoce (Anaitides) lineata</i>
<i>Ammothella longipes</i>	<i>Eunice vittata</i>	<i>Marphysa fallax</i>	<i>Phyllodoce (Anaitides) maculata</i>
<i>Ampelisca brevicornis</i>	<i>Eunoe nodosa</i>	<i>Marphysa sanguinea</i>	<i>Phyllodoce (Anaitides) mucosa</i>
<i>Ampelisca spinipes</i>	<i>Euphrosine foliosa</i>	<i>Megalomma vesiculosum</i>	<i>Phyllodoce (Anaitides) rosea</i>
<i>Ampharete</i>	<i>Eupolytmia nebulosa</i>	<i>Melinna palmata</i>	<i>Phyllodoce laminosa</i>
<i>Amphiteis gunneri</i>	<i>Eurydice</i>	<i>Mya arenaria</i>	<i>Phyllodoce longipes</i>
<i>Amphipholis squamata</i>	<i>Eurynome aspera</i>	<i>Mya truncata</i>	<i>Pilumnus hirtellus</i>
<i>Amphitritides gracilis</i>	<i>Eurynome spinosa</i>	<i>Mysia undata</i>	<i>Pinnotheres pisum</i>
<i>Amphiura (Ophiopeltis) securigera</i>	<i>Euspira catena</i>	<i>Mysta picta</i>	<i>Pirimela denticulata</i>
<i>Anapagurus hyndmanni</i>	<i>Euspira pulchella</i>	<i>Myxicola infundibulum</i>	<i>Pisa armata</i>
<i>Anapagurus laevis</i>	<i>Flabelligera affinis</i>	<i>Nassaricus incrassatus</i>	<i>Pisidia longicornis</i>
<i>Anchialina agilis</i>	<i>Galathea dispersa</i>	<i>Nassaricus pygmaeus</i>	<i>Pista cristata</i>
<i>Anobothrus gracilis</i>	<i>Galathea intermedia</i>	<i>Nassaricus reticulatus</i>	<i>Platynereis dumerilii</i>
<i>Anseropoda placenta</i>	<i>Galathea nexa</i>	<i>Neanthes fucata</i>	<i>Polygordius lacteus</i>
<i>Antatis</i>	<i>Galathea squamifera</i>	<i>Necora puber</i>	<i>Polynoe scolopendrina</i>
<i>Aniedon bifida</i>	<i>Galathea strigosa</i>	<i>Nematonereis hebes</i>	<i>Porcellana platycheles</i>
<i>Aphrodita aculeata</i>	<i>Gari costulata</i>	<i>Nemertina</i>	<i>Portunus latipes</i>
<i>Apsedes latreillii</i>	<i>Gari depressa</i>	<i>Neoamphitrite edwardsi</i>	<i>Potamilla torelli</i>
<i>Apsedes talpa</i>	<i>Gari tellinella</i>	<i>Neoamphitrite figulus</i>	<i>Processa</i>
<i>Arabella (Arabella) iricolor</i>	<i>Gastrosaccus normani</i>	<i>Neomenia carinata</i>	<i>Psammecinus miliaris</i>
<i>Archidoria pseudoargus</i>	<i>Gastrosaccus spinifer</i>	<i>Neopentadactyla mixta</i>	<i>Pseudopotamilla reniformis</i>
<i>Arcopagia crassa</i>	<i>Gattyana cirrhosa</i>	<i>Nephasoma minutum</i>	<i>Pseudoprotella phasma</i>
<i>Arenicola marina</i>	<i>Gibbula cineraria</i>	<i>Nephtys caeca</i>	<i>Pterocirrus macroceros</i>
<i>Asclerocheilus intermedius</i>	<i>Gibbula magus</i>	<i>Nephtys cirrosa</i>	<i>Pycnogonum litorale</i>
<i>Astacilla</i>	<i>Gibbula tumida</i>	<i>Nephtys hombergii</i>	<i>Ruditapes decussatus</i>
<i>Asterias rubens</i>	<i>Gibbula umbilicalis</i>	<i>Nephtys incisa</i>	<i>Sabella pavonina</i>
<i>Asterina gibbosa</i>	<i>Glycera alba</i>	<i>Nephtys longosetosa</i>	<i>Scalibregma</i>
<i>Ateleyclus rotundatus</i>	<i>Glycera capitata</i>	<i>Nepinnotheres pinnotheres</i>	<i>Scoletoma tetraura</i>
<i>Athanas nitescens</i>	<i>Glycera convoluta</i>	<i>Nereis pelagica</i>	<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>
<i>Atylus swammerdami</i>	<i>Glycera gigantea</i>	<i>Nereis rava</i>	<i>Sigalion mathildae</i>
<i>Atylus vedlomensis</i>	<i>Glycera lapidum</i>	<i>Nereis zonata</i>	<i>Similipecten similis</i>
<i>Bathyporeia tenuipes</i>	<i>Glycinde nordmanni</i>	<i>Nicolea venustula</i>	<i>Solecurtus scapula</i>
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	<i>Glycymeris glycymeris</i>	<i>Nicomache</i>	<i>Solen marginatus</i>
<i>Buccinum undatum</i>	<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i>	<i>Notomastus latericeus</i>	<i>Spatangus purpureus</i>
<i>Callianassa subterranea</i>	<i>Golfingia vulgaris</i>	<i>Nucula hanleyi</i>	<i>Sphenia binghami</i>
<i>Callianassa tyrrenna</i>	<i>Goniada</i>	<i>Nucula nitidosa</i>	<i>Spiophanes bombyx</i>
<i>Calliostoma granulatum</i>	<i>Gouldia minima</i>	<i>Nucula nucleus</i>	<i>Spisula (Spisula) ovalis</i>
<i>Calliostoma zizyphinum</i>	<i>Harmothoe extenuata</i>	<i>Nucula sulcata</i>	<i>Spisula elliptica</i>
<i>Carcinus maenas</i>	<i>Harmothoe fragilis</i>	<i>Nuculana minuta</i>	<i>Spisula solida</i>
<i>Cerebratulus</i>	<i>Harmothoe imbricata</i>	<i>Nymphon brevirostre</i>	<i>Spisula subtruncata</i>
<i>Cereus pedunculatus</i>	<i>Harmothoe impar</i>	<i>Nymphon gracile</i>	<i>Sihenelais boa</i>
<i>Ceriantbus lloydi</i>	<i>Henricia oculata</i>	<i>Ocenebra erinacea</i>	<i>Sihenelais limicola</i>
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	<i>Henricia sanguinolenta</i>	<i>Ocnus lacteus</i>	<i>Siriaca lactea</i>
<i>Chaetozone</i>	<i>Hesionura elongata</i>	<i>Ocnus planci</i>	<i>Subadyte pellucida</i>
<i>Cirrolana cranchii</i>	<i>Hippolyte varians</i>	<i>Onchidoris</i>	<i>Tellima ferruginosa</i>
<i>Clausinella fasciata</i>	<i>Hippomedon denticulatus</i>	<i>Ophelia borealis</i>	<i>Tellina (Maerella) donacina</i>
<i>Clymenella</i>	<i>Hyas araneus</i>	<i>Ophelia roscoffensis</i>	<i>Tellina fabula</i>
<i>Clymenura clypeata</i>	<i>Hyas coarctatus</i>	<i>Ophelina acuminata</i>	<i>Tellina pygmaea</i>
<i>Conilera cylindracea</i>	<i>Inachus dorsettensis</i>	<i>Ophiactis balli</i>	<i>Tellina tenuis</i>
<i>Corbula gibba</i>	<i>Inachus leptochirus</i>	<i>Ophiocoma nigra</i>	<i>Terebellides stroemi</i>
<i>Corystes cassivelaunus</i>	<i>Inachus phalangium</i>	<i>Ophiocoma affinis</i>	<i>Thia scutellata</i>
<i>Crangon allmanni</i>	<i>Jujubinus montagui</i>	<i>Ophiotrix fragilis</i>	<i>Thoralus cranchii</i>
<i>Crangon crangon</i>	<i>Laetmonice hystrix</i>	<i>Ophiura albida</i>	<i>Thracia papyracea</i>
<i>Crossaster papposus</i>	<i>Laevicardium crassum</i>	<i>Ophiura ophiura</i>	<i>Thracia villosiuscula</i>
<i>Cucumaria frondosa</i>	<i>Lanice conchilega</i>	<i>Ophiura robusta</i>	<i>Thyasira flexuosa</i>
<i>Diogenes pugilator</i>	<i>Lepidochitona cinerea</i>	<i>Orbinia (Orbinia) sertulata</i>	<i>Thyone fusus</i>
<i>Diplocirrus glaucus</i>	<i>Lepidonotus</i>	<i>Orbinia latreillii</i>	<i>Tigriopus fulvus</i>
<i>Diplodonta rotundata</i>	<i>Leptochiton asellus</i>	<i>Owenia fusiformis</i>	<i>Timoclea ovata</i>
<i>Donax vittatus</i>	<i>Leptochiton cancellatus</i>	<i>Pagurus bernhardus</i>	<i>Travisia forbesii</i>
<i>Dosinia exoleta</i>	<i>Leptochiton scabridus</i>	<i>Pagurus cuanensis</i>	<i>Tritonia hombergi</i>
<i>Dosinia lupinus</i>	<i>Lepton squamosum</i>	<i>Pagurus prideaux</i>	<i>Tritonia plebeia</i>
<i>Doto</i>	<i>Leptosynapta inhaerens</i>	<i>Pagurus pubescens</i>	<i>Trivia arctica</i>
<i>Drilonereis filum</i>	<i>Lineus</i>	<i>Palaemon serratus</i>	<i>Trivia monacha</i>
<i>Ebalia granulosa</i>	<i>Liocarcinus depurator</i>	<i>Pandalina brevirostris</i>	<i>Tubulanus</i>
<i>Ebalia tuberosa</i>	<i>Liocarcinus holsatus</i>	<i>Pandalus montagui</i>	<i>Turritella communis</i>
<i>Ebalia tumefacta</i>	<i>Liocarcinus marmoreus</i>	<i>Pandora inaequivalvis</i>	<i>Upogebia deltaura</i>
<i>Echinocardium cordatum</i>	<i>Liocarcinus navigator</i>	<i>Paphia rhomboides</i>	<i>Velutina velutina</i>
<i>Echinocyamus pusillus</i>	<i>Liocarcinus pusillus</i>	<i>Paranaitis kosteriensis</i>	<i>Venerupis saxatilis</i>
<i>Echinus esculentus</i>	<i>Lumbrineris fragilis</i>	<i>Parathelepus collaris</i>	<i>Venerupis senegalensis</i>
<i>Edwardsiidae</i>	<i>Lumbrineris gracilis</i>	<i>Parvicardium scabrum</i>	<i>Venus casina</i>
	<i>Lumbrineris latreilli</i>	<i>Pawsonia saxicola</i>	<i>Venus verrucosa</i>
			<i>Websterinereis glauca</i>

Annexe 3 : Liste des 792 taxa échantillonnés au cours des deux périodes (hors épibiose sessile).

Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007
Abludomelita gladiosa	x	x	Alyus guttatus	x		Diplodonta rotundata	x	x
Abludomelita obtusata	x	x	Alyus swammerdami	x	x	Dipolydora coeca		x
Abra alba	x	x	Alyus vedlomensis	x	x	Dipolydora gardi		x
Abra nitida	x	x	Autolytinae		x	Dodecaceria concharum		x
Abra prismatica	x		Axius stirhynchus		x	Donax vittatus	x	x
Acanthocardia (Rudicardium) tuberculata		x	Bathyporeia	x	x	Dosinia exoleta	x	x
Acanthocardia echinata	x		Bathyporeia elegans	x	x	Dosinia lupinus		x
Acanthochitona	x		Bathyporeia gracilis		x	Doto	x	x
Acanthochitona crinita	x	x	Bathyporeia guilliamsoniana	x	x	Doto coronata		x
Acanthochitona discrepans		x	Bathyporeia pelagica	x		Doto cuspidata		x
Acanthochitona fascicularis	x	x	Bathyporeia sarsi		x	Doto dunnei		x
Acanthodoris pilosa		x	Bathyporeia tenuipes	x	x	Doto fragilis		x
Acanthozomatidae		x	Bela nebula	x		Doto maculata		x
Achaeus cranchii	x		Bittium reticulatum	x		Doto pinnatifida	x	x
Achelia echinata	x	x	Bodotria arenosa		x	Doto tuberculata		x
Acidostoma obesum	x	x	Bodotria scorioides	x	x	Drilonereis filum	x	x
Acmaea virginea	x		Branchiomma bombyx		x	Dynamene bidentata		x
Acronida brachiata	x	x	Branchiostoma lanceolatum	x	x	Ebalia		x
Aceon tornatilis	x		Buccinum undatum	x	x	Ebalia granulosa		x
Aeolidia papillosa		x	Caecum glabrum		x	Ebalia tuberosa	x	x
Aequipecten opercularis	x	x	Callianassa subterranea		x	Ebalia tumefacta	x	x
Alciopidae		x	Callianassa tyrhena	x	x	Echinocardium cordatum		x
Alentia gelatinosa	x	x	Calliostoma granulosum	x	x	Echinocyamus pusillus	x	x
Allomelita pellucida		x	Calliostoma zizyphinum	x	x	Edwardsiidae		x
Alpheus glaber		x	Callipallene brevisstris		x	Emarginula fissura		x
Alpheus macrocheles	x	x	Calyptrea chinensis	x		Emarginula rosea		x
Amaeana trilobata		x	Cancer pagurus	x	x	Ensis	x	x
Ammothella longipes	x		Capitella capitata	x	x	Ensis arcuatus	x	x
Ampeliscidae	x	x	Caprella erehizon	x		Ensis ensis	x	x
Ampeliscidae aequicornis		x	Caprella linearis	x	x	Epitonium dathrus	x	x
Ampeliscidae brevicornis	x	x	Caprella tuberculata	x	x	Epitonium trevelyanum		x
Ampeliscidae diadema	x	x	Caprellidae		x	Erichthonius punctatus	x	x
Ampeliscidae pectenata		x	Carcinus maenas	x		Eteone	x	x
Ampeliscidae spinipes	x	x	Caulerella alata	x	x	Eteone flava	x	x
Ampeliscidae spooneri	x		Caulerella bioculata		x	Eteone foliosa	x	x
Ampeliscidae tenuicornis	x	x	Ceradocus semiserratus		x	Eteone longa	x	x
Ampeliscidae toulemoniti		x	Cerebratulus	x	x	Eualus		x
Ampeliscidae typica	x		Cerebratulus marginatus		x	Eualus occultus	x	x
Ampharete		x	Cereus pedunculatus		x	Eualus pusiolus	x	x
Ampharete acutifrons	x	x	Cerianthus		x	Eubranchus		x
Ampharete baltica		x	Cerianthus lloydii	x	x	Eucymene		x
Amphicteis gunneri	x		Chaetopterus variopedatus	x	x	Eucymene lumbricoïdes	x	x
Amphilochus		x	Chaetozone caputesocis	x		Eucymene oerstedii	x	x
Amphilochus manudens		x	Chaetozone gibber		x	Eulalia	x	x
Amphilochus neapolitanus	x	x	Chaetozone setosa	x	x	Eulalia bilineata	x	x
Amphipholis squamata	x	x	Chauvetia brunnea		x	Eulalia expusilla		x
Amphiura	x		Cheirocratus		x	Eulalia mustela		x
Amphiura (Ophiopeltis) securigera	x	x	Cheirocratus assimilis		x	Eulalia tripunctata		x
Anatides citrina	x		Cheirocratus intermedius	x	x	Eulalia viridis	x	x
Anapagurus		x	Cheirocratus sundevalii	x	x	Eulima bilineata		x
Anapagurus hyndmanni	x	x	Cirriiformia tentaculata	x		Eumida		x
Anapagurus laevis	x	x	Chone dunen		x	Eumida bahusiensis		x
Anchialina agilis	x	x	Chone filicaudata		x	Eumida minuta		x
Anoploactylus petiolatus	x		Cirolana cranchii		x	Eumida punctifera	x	x
Anobothrus gracilis		x	Cirratulidae		x	Eumida sanguinea	x	x
Anseropoda placenta	x	x	Cirratulus cirratus		x	Eunereis longissima	x	x
Antalis entalis		x	Clausinella fasciata		x	Eunice	x	x
Antalis vulgaris	x	x	Clymenella cincta		x	Eunice pennata	x	x
Antedon bifida	x	x	Clymenella torquata	x		Eunice vittata	x	x
Anthura gracilis	x	x	Clymenura clypeata		x	Eunoe nodosa		x
Aonides oxycephala	x	x	Colomastix pusilla		x	Euphrosine foliosa	x	x
Aonides paucibranchiata		x	Conilera cylindracea	x	x	Eupolytmia nebulosa		x
Aora typica	x		Corbula gibba		x	Eurydice	x	x
Aphelochaeta filiformis	x		Corophium		x	Eurydice pulchra		x
Aphelochaeta marioni	x	x	Corophium adherusicum		x	Eurydice spinigera	x	x
Apherusa bispinosa	x	x	Corophium bonnellii	x	x	Eurydice truncata	x	x
Apherusa cirrus		x	Corophium crassicomme		x	Eurynome aspera	x	x
Apherusa clevei	x		Corophium curvispinum		x	Eurynome spinosa		x
Apherusa jurinei		x	Corophium sextonae	x	x	Euryyllis tuberculata		x
Apherusa ovalipes	x	x	Coryphella		x	Eusirus longipes		x
Aphrodita aculeata	x	x	Coryphella gracilis		x	Euspira catena	x	x
Apseudes latreillii	x	x	Corystes cassivelaunus	x		Euspira pulchella		x
Apseudes talpa	x	x	Crangon allmanni		x	Eusyllis assimilis		x
Arabella (Arabella) iricolor	x	x	Crangon crangon	x	x	Eusyllis blomstrandii		x
Archidoris	x		Crossaster papposus	x	x	Exogone (Exogone) verugera		x
Archidoris pseudoargus	x	x	Cucumaria	x		Exogoninae		x
Arcopagia crassa	x	x	Cucumaria frondosa		x	Fimbriosthenelais minor	x	
Arenicola marina	x	x	Cuthona		x	Fimbriosthenelais zetlandica	x	
Asclerocheilus intermedius		x	Cymodoce truncata		x	Flabelligera affinis	x	x
Astacilla		x	Demonax branchyona		x	Flabellinidae		x
Astacilla longicornis	x	x	Demonax langerhansi		x	Galathea	x	
Astarte montagui		x	Dendronotus frondosus	x	x	Galathea dispersa	x	
Asterias rubens	x	x	Diastylis bradyi	x	x	Galathea intermedia	x	x
Asterina gibbosa		x	Diastylis laevis		x	Galathea nexa	x	x
Atelecyclus rotundatus	x	x	Diastylis rathkei	x	x	Galathea squamifera	x	x
Athanas nitescens	x	x	Diodora graeca	x	x	Galathea strigosa		x
Atylus		x	Diogenes pugilator	x	x	Gammarellus homari	x	
Atylus falcatus	x		Diplocirrus glaucus	x	x	Gammaropsis		x

Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007
Gammaropsis lobata		x	Kurtiella bidentata	x	x	Megalomma vesiculosum	x	x
Gammaropsis maculata	x	x	Lacuna crassior	x		Megaluropus agilis	x	x
Gammaropsis nitida	x	x	Lacydonia miranda		x	Megamphopus comutus	x	
Gammarus locusta	x		Laetmonice hystrix	x		Melanella alba	x	x
Gari		x	Laevicardium crassum	x	x	Melanella frielei		x
Gari depressa		x	Lanice conchilega	x	x	Melanella lubrica		x
Gari tellinella	x	x	Laonice bahusienis		x	Melinna palmata	x	x
Gastrochaena dubia	x	x	Laonice cirrata	x	x	Melitidae		x
Gastrosaccus		x	Leiochone	x		Melita	x	
Gastrosaccus normani	x	x	Lepidepecreum longicornis	x		Melita hergensis		x
Gastrosaccus spinifer	x	x	Lepidochitona cinerea	x	x	Melita palmata	x	
Gattyana cirrhosa	x	x	Lepidonotus		x	Menigrates obtusifrons		x
Gibbula cineraria	x	x	Lepidonotus clava		x	Mesopodopsis slabberi	x	
Gibbula magus	x	x	Lepidonotus squamosus	x	x	Metaphoxus fultoni		x
Gibbula tumida	x	x	Leptocheirus bispinosus	x		Metopa alderi	x	
Glycera	x		Leptocheirus hirsutimanus	x	x	Metopa borealis		x
Glycera alba	x	x	Leptocheirus pectinatus	x	x	Metopa pusilla		x
Glycera capitata	x	x	Leptoichiton		x	Metopa tenuimana		x
Glycera celtica		x	Leptoichiton asellus	x	x	Microdeutopus versiculatus	x	
Glycera convoluta	x		Leptoichiton cancellatus	x	x	Microjassa cumbrensis	x	
Glycera gigantea	x	x	Leptoichiton scabridus		x	Microprotopus maculatus		x
Glycera lapidum	x	x	Lepton squamosum		x	Montacuta substriata	x	
Glycera oxycephala		x	Leptosynapta inhaerens	x	x	Mya		x
Glycinde nordmanni	x	x	Leucia nivea		x	Mya arenaria		x
Glycymeris glycymeris	x	x	Leucothoe		x	Mya truncata	x	x
Gnathia		x	Leucothoe incisa	x	x	Myriochele oculata	x	
Gnathia dentata		x	Leucothoe procerca		x	Mysia undata	x	x
Gnathia maxillaris		x	Leucothoe spincarpa	x	x	Mysida		x
Gnathia oxyuraea	x	x	Liljeborgia kinahani		x	Mysta picta	x	x
Gnathia vorax	x	x	Liljeborgia pallida	x	x	Myxicola infundibulum	x	
Golfingia	x	x	Limacia davigera		x	Nassarius incrassatus	x	x
Golfingia (Golfingia) elongata	x	x	Limatula gwyni		x	Nassarius pygmaeus	x	
Golfingia (Golfingia) margaritacea		x	Limatula subauriculata		x	Nassarius reticulatus	x	x
Golfingia vulgaris	x	x	Lineus bilineatus	x	x	Natatolana borealis		x
Goniada emerita	x		Lineus longissimus	x		Neanthes fucata	x	x
Goniada maculata	x	x	Liocarcinus		x	Neanthes irrorata		x
Goniada norvegica	x		Liocarcinus depurator	x	x	Nebalia bipes	x	x
Goniadella bobrezkii	x	x	Liocarcinus holsatus	x	x	Necora puber	x	x
Goniodoris castanea		x	Liocarcinus marmoreus	x	x	Nematoneis hebes	x	x
Goodallia triangularis		x	Liocarcinus navigator	x	x	Nemertina	x	x
Gouldia minima		x	Liocarcinus pusillus	x	x	Neoamphitrite edwardsi	x	
Guerneia coalita		x	Liomesos ovum		x	Neoamphitrite figulus	x	
Haplosyllis spongicola		x	Lucinoma borealis	x		Neomenia carinata	x	x
Harmothoe	x	x	Lumbrineridae		x	Neopentadactyla mixta	x	
Harmothoe areolata	x		Lumbrineriopsis paradoxa		x	Nephasoma minutum	x	x
Harmothoe extenuata	x	x	Lumbrineris	x	x	Nephtys	x	x
Harmothoe fragilis	x	x	Lumbrineris coccinea	x		Nephtys caeca	x	x
Harmothoe imbricata	x	x	Lumbrineris fragilis	x	x	Nephtys cirrosa	x	x
Harmothoe impar	x	x	Lumbrineris gracilis	x	x	Nephtys hombergii	x	x
Harmothoe pagenstecheri	x	x	Lumbrineris latreilli	x	x	Nephtys incisa	x	
Haustorium arenarius		x	Lutrania		x	Nephtys longosetosa	x	
Hediste diversicolor		x	Lutrania angustior		x	Nepinnotheres pinnotheres		x
Henricia oculata		x	Lutrania lutrania	x		Neptunea antiqua	x	
Henricia sanguinolenta	x		Lygdamis muratus	x	x	Nereimyra punctata	x	x
Hesionura elongata	x	x	Lysonia norvegica	x	x	Nereiphylla lutea		x
Heteromastus filiformis		x	Lysianassa ceratina	x	x	Nereis		x
Heteromysis norvegica		x	Lysianassa insperata	x		Nereis pelagica	x	x
Hiatella arctica		x	Lysidice ninetta		x	Nereis rava		x
Hippolyte		x	Macoma balthica	x	x	Nereis zonata	x	x
Hippolyte varians	x	x	Macrochaeta helgolandica		x	Nicolea venustula	x	x
Hippomedon denticulatus	x	x	Macropodia	x	x	Nicomache	x	
Hirudinea		x	Macropodia deflexa		x	Nicomache lumbricalis	x	x
Holothuroidea		x	Macropodia linaresi	x	x	Notomastus latericeus	x	x
Hyale		x	Macropodia longirostris		x	Nucella lapillus	x	x
Hyale prevosti		x	Macropodia rostrata	x	x	Nucula	x	x
Hyas araneus		x	Macropodia tenuirostris	x	x	Nucula hanleyi	x	x
Hyas coarctatus	x	x	Mactra stultorum	x		Nucula nitidosa	x	x
Idotea balthica	x		Maera grossimana	x	x	Nucula nucleus	x	x
Idotea pelagica		x	Maera othonis	x	x	Nucula sulcata		x
Inachus dorsettensis	x	x	Maerella tenuimana		x	Nudibranchia		x
Inachus leptochirus		x	Magelona alleni	x	x	Nyctiphanes couchii		x
Inachus phalangium	x	x	Magelona filiformis	x	x	Nymphon	x	
Iphimedia eblanae	x	x	Magelona johnstoni		x	Nymphon brevirostre		x
Iphimedia minuta	x	x	Magelona mirabilis	x	x	Nymphon gracile	x	x
Iphimedia obesa	x	x	Maldanidae		x	Nymphon rubrum	x	
Iphimedia perplexa		x	Malmgreniella		x	Ocenebra erinacea	x	x
Iphinoe trispinosa	x	x	Malmgreniella arenicolae		x	Ocenebra aciculata	x	
Ischnochiton albus		x	Malmgreniella castanea	x	x	Ocnus lacteus	x	
Ischyrocerus anguipes		x	Malmgreniella glabra	x	x	Ocnus planci	x	
Janira maculosa	x	x	Malmgreniella ljunghmani		x	Odontosyllis		x
Jasmineira elegans	x	x	Malmgreniella lunulata	x	x	Odontosyllis gibba		x
Jassa falcata	x	x	Mangelia	x		Odostomia acuta		x
Jassa pusilla	x	x	Mangelia coarctata	x	x	Odostomia conoidea	x	
Jujubinus		x	Marphysa bellii	x	x	Odostomia scalaris		x
Jujubinus exasperatus		x	Marphysa fallax	x	x	Onchidoris		x
Jujubinus montagui	x	x	Marphysa sanguinea	x	x	Onchidoris bilamellata		x
Kefersteinia cirrata	x	x	Mediomastus fragilis	x	x	Onchidoris depressa		x
Kellia suborbicularis	x	x	Megalomma		x	Onchidoris fusca	x	

Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007	Taxa	1971-1976	2004-2007
Ophelia		x	Polygordius		x	Spisula (Spisula) ovalis	x	
Ophelia borealis	x	x	Polygordius lacteus		x	Spisula elliptica	x	x
Ophelia celtica		x	Polyno scolopendrina	x	x	Spisula solida		x
Ophelia rosoffensis		x	Polynoidae		x	Spisula subtruncata	x	x
Ophelina acuminata	x		Pontocrates altamarinus	x	x	Stenothoe		x
Ophiodromus flexuosus		x	Pontocrates arenarius	x	x	Stenothoe marina	x	x
Ophiocten affinis	x		Porcellana platycheles	x		Stenothoe monoculoides		x
Ophiotrix fragilis	x	x	Portunus latipes	x		Stenula rubrovittata	x	
Ophiura		x	Potamilla torelli		x	Sthenelais	x	x
Ophiura albida	x	x	Proceraea aurantiaca		x	Sthenelais boa	x	x
Ophiura ophiura	x	x	Procerastea halleziana		x	Sthenelais limicola		x
Ophiura robusta		x	Processa	x		Streptosyllis bidentata		x
Orbinia	x	x	Processa canaliculata	x	x	Striarca lactea	x	x
Orbinia (Orbinia) sertulata	x	x	Processa edulis	x		Subadyte pellucida	x	x
Orbinia lateillii		x	Processa edulis crassipes		x	Syllidae		x
Orchomene humilis	x		Processa noveli		x	Syllidia armata	x	
Orchomenella nana		x	Processa noveli holthuisi		x	Syllis	x	x
Owenia fusiformis	x	x	Processa parva	x		Syllis armillaris		x
Paguridae		x	Protodorvillea kefersteini	x	x	Syllis cornuta	x	x
Pagurus	x	x	Protomystides exigua		x	Syllis gracilis	x	x
Pagurus bernhardus	x	x	Psammecinus miliaris	x	x	Syllis hyalina		x
Pagurus cuanensis	x	x	Pseudocuma (Pseudocuma) longicome	x	x	Syllis krohni		x
Pagurus prideaux	x	x	Pseudocuma (Pseudocuma) simile	x		Syllis prolifera		x
Pagurus pubescens	x	x	Pseudomystides limbata		x	Syllis variegata		x
Palaemon serratus		x	Pseudoparatanaïs batei	x		Syllis vittata		x
Palliolium tigrinum		x	Pseudopolydora antennata	x		Synchelidium maculatum	x	x
Pandalidae		x	Pseudopolydora pulchra	x		Tellima ferruginosa	x	x
Pandalina brevisrostris	x	x	Pseudopotamilla reniformis		x	Tellina		x
Pandalus montagui	x	x	Pseudoprotella phasma	x	x	Tellina (Moerella) donacina	x	x
Pandora inaequalis	x		Pterocirrus macroceros	x	x	Tellina fabula		x
Panomya norvegica		x	Puncturella noachina		x	Tellina pygmaea	x	x
Paphia rhomboides	x	x	Pycnogonidae		x	Tellina tenuis	x	x
Paracentromedon crenulatum	x	x	Pycnogonum litorale	x	x	Terebellidae		x
Paradoneis lyra	x		Pygospio elegans		x	Terebellides stroemi	x	x
Paragnathia formica		x	Raphitoma	x		Tharyx multibranchiis	x	
Paramysis bacescol	x		Raphitoma linearis	x	x	Thelepus		x
Paranaitis kosteriensis	x	x	Raphitoma purpurea		x	Thelepus cincinnatus		x
Paranaitis wahlbergi		x	Retusa		x	Thelepus setosus		x
Paraonis fulgens		x	Retusa obtusa		x	Thia scutellata	x	x
Parapleustes bicuspis	x	x	Rhomboidella prideauxi		x	Thoralus cranchii	x	x
Parathelepus collaris		x	Rissoa parva		x	Thracia	x	x
Pariambus typicus	x	x	Rissoides desmaresti		x	Thracia papyracea	x	x
Parvicardium ovale		x	Ruditapes decussatus	x		Thracia villosiuscula		x
Parvicardium scabrum	x	x	Sabellia pavonina	x	x	Thyasira flexuosa	x	
Pawsonia saxicola	x	x	Sabellaria spinulosa		x	Thyone fusus	x	
Pecten maximus	x	x	Saccocirrus papillocercus	x	x	Tigriopus fulvus		x
Pectinaria (Lagis) koreni	x	x	Salvatoria clavata		x	Timoclea ovata	x	x
Pelogenia arenosa	x	x	Scalibregma celticum		x	Tmetonyx similis	x	x
Perioculodes longimanus	x	x	Scalibregma inflatum	x	x	Tonicella marmorea		x
Perrierella audouiniana	x	x	Schistomerings		x	Trapania pallida		x
Petaloproctus terricolus	x	x	Schistomerings caeca		x	Travisia forbesii	x	
Phascolion (Phascolion) strombi	x	x	Schistomerings neglecta	x	x	Trichobranchus glacialis	x	
Phaxas pellucidus	x	x	Schistomerings rudolphii		x	Tricolia pullus		x
Pherusa plumosa	x	x	Schistomysis keruillei	x		Tritaea gibbosa	x	x
Philine aperta	x		Scolecopsis (Scolecopsis) foliosa	x	x	Tritonia	x	x
Philocheras bispinosus	x		Scolecopsis (Scolecopsis) squamata	x	x	Tritonia hombergi	x	x
Philocheras sculptus	x	x	Scolecopsis bonnieri	x		Tritonia plebeia	x	x
Philocheras trispinosus	x	x	Scolecopsis cantabra		x	Trivina arctica	x	x
Pholoe		x	Scolecopsis fuliginosa		x	Trivina monacha	x	x
Pholoe baltica		x	Scolecopsis tridentata		x	Trochidae		x
Pholoe inornata	x	x	Scoletoma tetraura	x	x	Trypanosyllis (Trypanosyllis) coeliaca		x
Pholoe minuta	x		Scoloplos (Scoloplos) armiger	x	x	Trypanosyllis zebra		x
Phoronida		x	Serpula vermicularis		x	Tryphosella sarsi	x	x
Photis longicaudata	x	x	Serpulidae		x	Tryphosites longipes	x	
Phoxichilidium femoratum	x	x	Sigalion mathildae	x	x	Tubulanus		x
Phtisica marina	x	x	Siphonocetes kroyeranus	x	x	Tubulanus annulatus		x
Phyllodoce	x	x	Sipuncula		x	Tubulanus polymorphus		x
Phyllodoce (Anaitides) groenlandica	x	x	Siriella		x	Tubulanus superbus	x	x
Phyllodoce (Anaitides) lineata	x	x	Siriella armata		x	Turbellaria		x
Phyllodoce (Anaitides) maculata	x	x	Siriella jaltensis		x	Unciola crenatipalma	x	x
Phyllodoce (Anaitides) mucosa	x	x	Socarnes erythrophthalmus		x	Upogebia		x
Phyllodoce (Anaitides) rosea		x	Solecurtus scopula		x	Upogebia deltaura	x	x
Phyllodoce laminosa	x	x	Solenidae		x	Urosalpinx cinerea		x
Phyllodoce longipes		x	Spatangus purpureus	x	x	Urothoe	x	x
Phyllodocidae		x	Sphaerodorum gracilis	x	x	Urothoe brevicornis	x	x
Pilumnus hirtellus	x	x	Sphaeroma		x	Urothoe elegans	x	x
Pinnotheres pisum	x	x	Sphaeroma serratum		x	Urothoe grimaldii	x	
Pisa armata	x	x	Sphaerosyllis		x	Urothoe marina	x	x
Pisidia longicornis	x	x	Sphaerosyllis bulbosa		x	Urothoe poseidonis		x
Pisione remota		x	Sphaerosyllis hystrix		x	Urothoe pulchella		x
Pista cristata	x	x	Sphaerosyllis ovigera		x	Vaunthompsonia cristata		x
Pista elongata		x	Sphenia binghami	x	x	Velutina velutina	x	x
Pleurobranchus membranaceus		x	Spinther arcticus		x	Veneridae		x
Poecilochaetus serpens		x	Spinther oniscoides		x	Venerupis saxatilis		x
Polycirrus		x	Spio decoratus		x	Venerupis senegalensis	x	x
Polycirrus medusa		x	Spio filicornis	x	x	Venus casina		x
Polydora		x	Spionidae		x	Venus verrucosa	x	x
Polydora ciliata		x	Spiophanes bombyx	x	x	Websterinereis glauca	x	x

Annexe 4 : Coordonnées des taxa de l'AFC

Taxa	Axe 1	Axe 2	Axe 3
<i>Abietinaria abietina</i>	-0.3085	0.4973	-0.1789
<i>Abludomelita gladiosa</i>	-0.1174	0.6625	0.2304
<i>Abludomelita obtusata</i>	0.1172	0.5086	0.5397
<i>Abra alba</i>	1.2732	-0.1691	0.0675
<i>Acanthochitona crinita</i>	-0.4101	0.6699	-0.5280
<i>Aequipecten opercularis</i>	-0.2540	-0.1725	-0.2425
<i>Alcyonidium</i>	-0.1263	-0.0331	0.1356
<i>Alcyonidium mytili</i>	-0.4436	1.8658	-0.3156
<i>Alcyonium digitatum</i>	-0.2745	0.2528	-0.0608
<i>Amaeana trilobata</i>	0.1608	-0.7541	0.1248
<i>Ampelisca spinipes</i>	0.0636	-0.4142	0.1293
<i>Ampharete baltica</i>	-0.1446	-0.6080	-0.1063
<i>Amphipholis squamata</i>	-0.2130	-0.1724	-0.1168
<i>Amphiura (Ophiopeltis) securigera</i>	-0.0200	-0.7234	0.1774
<i>Anapaqurus hyndmanni</i>	-0.3639	0.7714	-0.1009
<i>Anthura gracilis</i>	-0.2953	0.6380	0.0613
<i>Aonides oxycephala</i>	-0.0445	-0.5649	-0.1936
<i>Aonides paucibranchiata</i>	0.2580	-0.5135	0.3574
<i>Aphelochaeta marioni</i>	-0.0540	-0.8188	-0.6640
<i>Apherusa bispinosa</i>	-0.2306	-0.5835	-0.2988
<i>Arabella (Arabella) iricolor</i>	-0.2576	-0.7800	-0.6666
<i>Arcopagia crassa</i>	-0.1137	-0.6908	-0.2574
<i>Ascidia mentula</i>	-0.2954	-0.1128	-0.3184
<i>Asciadiacea</i>	-0.4238	1.3020	-0.4703
<i>Asclerocheilus intermedius</i>	-0.2672	-0.8206	-0.8106
<i>Asterias rubens</i>	-0.2249	0.5243	-0.0157
<i>Atelecyclus rotundatus</i>	-0.1620	-0.3060	-0.0363
<i>Athanas nitescens</i>	-0.3523	0.0422	-0.6277
<i>Atylus swammerdami</i>	-0.1731	0.9989	0.1965
<i>Atylus vedlomensis</i>	0.1254	-0.6310	0.2272
<i>Autolytinae</i>	-0.0160	-0.1002	0.4040
<i>Balanus crenatus</i>	-0.2169	0.1048	-0.1912
<i>Barentsia gracilis</i>	-0.3783	1.1079	-0.4278
<i>Bathyporeia elegans</i>	4.0939	0.3584	-0.8450
<i>Bicelliella ciliata</i>	-0.3808	1.2381	-0.1297
<i>Branchiomma bombyx</i>	-0.1219	-0.4127	0.2188
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	0.2031	-0.1751	0.5746
<i>Buccinum undatum</i>	-0.3019	0.6990	-0.1564
<i>Calliostoma granulatum</i>	-0.4999	1.8352	-0.3807
<i>Calliostoma zizyphinum</i>	-0.3879	0.4917	-0.6276
<i>Callopora lineata</i>	-0.3008	0.5953	-0.1362
<i>Cauleriella alata</i>	0.2256	-0.3016	0.3406
<i>Cellepora pumicosa</i>	-0.4345	2.0305	-0.0840
<i>Ceradocus semiserratus</i>	-0.1370	-0.2731	0.6001
<i>Cerebratulus</i>	0.2373	-0.3396	0.7956
<i>Cerianthus lloydi</i>	-0.2020	-0.5611	-0.2709
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	-0.1549	0.2481	0.2831
<i>Chaetozone gibber</i>	0.4272	-0.4234	-0.1237
<i>Cheirocratus sundevalli</i>	0.0366	-0.0825	0.6041
<i>Chlamys varia</i>	-0.4363	0.8587	-0.2761
<i>Charizopora brongniartii</i>	-0.1719	-0.0041	0.0949
<i>Clytia hemisphaerica</i>	-0.2731	0.0283	-0.2613
<i>Conilera cylindracea</i>	-0.1413	-0.6393	-0.0356
<i>Conopeum reticulum</i>	-0.2347	0.8013	-0.1157
<i>Corophium sextonae</i>	-0.2243	0.5983	0.1109
<i>Crepidula fornicata</i>	-0.2939	0.7947	-0.0815
<i>Crisia aculeata</i>	-0.4918	2.0210	-0.3307
<i>Crisia eburnea</i>	-0.3346	-0.1953	-0.5590
<i>Cymodoce truncata</i>	-0.2836	-0.5011	-0.6130
<i>Dendrodoa grossularia</i>	-0.2679	0.2498	-0.1275
<i>Diodora graeca</i>	-0.3969	0.5893	-0.4144
<i>Diplocirrus glaucus</i>	-0.2170	-0.6033	-0.2130
<i>Diplosolen obelia</i>	-0.4066	1.0336	-0.3615
<i>Disporella hispida</i>	-0.2418	0.1131	-0.0246
<i>Dosinia exoleta</i>	-0.0240	-0.7039	-0.5947
<i>Dynamene bidentata</i>	-0.3147	-0.7714	-0.9903
<i>Dysidea fragilis</i>	-0.3225	0.4800	-0.2372
<i>Ebalia tuberosa</i>	-0.2408	0.3165	0.0192
<i>Ebalia tumefacta</i>	-0.2326	0.1625	-0.2652
<i>Echinocardium cordatum</i>	4.4224	0.3221	-1.3585
<i>Echinocyamus pusillus</i>	0.3469	-0.1763	0.3553
<i>Edwardsiidae</i>	0.5351	-0.3457	-0.0290
<i>Electra pilosa</i>	-0.2399	0.3857	-0.2634
<i>Emarginula rosea</i>	-0.2878	-0.2160	-0.2786
<i>Ensis arcuatus</i>	1.8504	-0.2509	0.2094
<i>Epizoanthus couchii</i>	-0.1557	-0.4850	0.0527

Taxa	Axe1	Axe2	Axe3
<i>Erichthonius punctatus</i>	-0.2077	0.3981	-0.0350
<i>Escharella immersa</i>	-0.2660	0.1141	-0.2113
<i>Escharella variolosa</i>	-0.2385	0.1581	-0.0289
<i>Escharoides coccinea</i>	-0.3687	0.1438	-0.5617
<i>Eteone longa</i>	-0.1533	-0.6502	-0.3598
<i>Eualus occultus</i>	-0.2671	0.5317	0.2044
<i>Eualus pusiolus</i>	-0.3233	-0.7146	-1.0980
<i>Euclymene oerstedii</i>	0.9716	-0.5462	1.4735
<i>Eudendrium ramosum</i>	-0.2863	-0.2631	-0.4903
<i>Eulalia bilineata</i>	-0.2191	0.1905	-0.0141
<i>Eulalia mustela</i>	0.1877	-0.5012	0.8982
<i>Eulalia viridis</i>	-0.2404	0.6668	0.2472
<i>Eumida bahusiensis</i>	-0.0274	1.3679	0.0317
<i>Eumida sanguinea</i>	-0.1467	-0.2817	-0.0798
<i>Eunice vittata</i>	-0.0767	-0.5424	0.1942
<i>Euphosine foliosa</i>	-0.3044	0.1000	-0.2682
<i>Eupolymnia nebulosa</i>	-0.1549	-0.5319	-0.0247
<i>Eurydice pulchra</i>	0.0932	-0.5450	0.5173
<i>Eurynome aspera</i>	-0.2889	0.2905	-0.0449
<i>Eurysyllis tuberculata</i>	-0.2064	-0.3531	0.1166
<i>Eusirus longipes</i>	-0.2519	-0.5128	-0.2022
<i>Euspira pulchella</i>	-0.1833	0.0488	-0.0101
<i>Eusyllis blomstrandii</i>	0.0617	-0.0853	0.7770
<i>Filograna implexa</i>	-0.4323	1.3042	-0.3417
<i>Fiabelligera affinis</i>	-0.0798	1.0292	0.5304
<i>Flustra foliacea</i>	-0.3469	0.8535	-0.1278
<i>Galathea intermedia</i>	-0.1801	0.0215	0.0770
<i>Galathea squamifera</i>	-0.4945	1.4499	-0.4257
<i>Gammaropsis maculata</i>	-0.1045	0.1381	0.1252
<i>Gari depressa</i>	-0.2792	-0.6864	-0.7058
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	2.7153	0.3362	0.6134
<i>Gattyana cirrhosa</i>	-0.1755	-0.0075	0.2174
<i>Gibbula cineraria</i>	-0.3977	1.1948	-0.4002
<i>Gibbula tumida</i>	-0.2784	-0.0489	-0.3888
<i>Glycera capitata</i>	-0.3292	-0.9073	-1.1846
<i>Glycera celtica</i>	-0.0764	-0.3866	0.6815
<i>Glycera gigantea</i>	-0.3178	-0.9944	-1.1855
<i>Glycera lapidum</i>	0.5179	0.0090	0.8971
<i>Glycera oxycephala</i>	2.2170	-0.0105	0.4053
<i>Glycinde nordmanni</i>	0.8018	-0.4041	1.0325
<i>Glycymeris glycymeris</i>	0.0003	-0.5945	0.0219
<i>Gnathia</i>	0.0244	-0.4045	0.8639
<i>Gnathia oxyurea</i>	-0.0319	0.4227	0.4016
<i>Gnathia vorax</i>	-0.3463	-0.8307	-1.2224
<i>Golfingia</i>	0.6902	-0.5524	1.3845
<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i>	-0.0488	0.0792	0.3376
<i>Golfingia vulgaris</i>	-0.1374	0.0718	0.4322
<i>Goodallia triangularis</i>	-0.2998	-0.5706	-0.9348
<i>Hagiosynodus latus</i>	-0.2193	0.4183	0.3017
<i>Halecium halecium</i>	-0.2723	0.1903	-0.2330
<i>Harmothoe</i>	0.3066	-0.1816	0.6987
<i>Harmothoe extenuata</i>	-0.2424	1.4681	0.2533
<i>Harmothoe fragilis</i>	-0.2916	-0.3243	-0.4744
<i>Harmothoe impar</i>	-0.3264	-0.7830	-1.0491
<i>Hesionura elongata</i>	0.3108	-0.5083	0.8966
<i>Heteromastus filiformis</i>	-0.0807	-0.6979	-0.5085
<i>Hippolyte varians</i>	-0.1889	0.0949	-0.0708
<i>Hippothoa divaricata</i>	-0.2944	0.3199	-0.0071
<i>Hyas coarctatus</i>	-0.3800	0.8164	-0.5234
<i>Hydrallmania falcata</i>	-0.2787	0.4201	-0.0536
<i>Iphimedia eblanae</i>	-0.3294	0.5906	-0.1009
<i>Ischnochiton albus</i>	-0.2530	-0.1074	0.0751
<i>Janira maculosa</i>	-0.3224	0.2738	-0.2484
<i>Jasmineira elegans</i>	-0.3147	-0.2068	-0.5542
<i>Jujubinus montagu</i>	-0.3279	-0.9338	-1.2007
<i>Kefersteinia cirrata</i>	-0.2428	-0.0752	-0.0079
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>	-0.4217	0.7900	-0.3472
<i>Lanice conchilega</i>	0.7295	-0.0225	0.0051
<i>Laonice bahusiensis</i>	0.0739	-0.3227	0.8353
<i>Laonice cirrata</i>	-0.3325	-0.7909	-1.1370
<i>Lepidonotus squamatus</i>	-0.1957	0.1776	0.0434
<i>Leptocheirus hirsutimanus</i>	-0.0791	-0.3065	0.5139
<i>Leptocheirus asellus</i>	-0.1861	0.5617	0.1411
<i>Leptocheirus scabridus</i>	-0.3410	-0.8637	-1.2274
<i>Leptosynapta inhaerens</i>	0.1420	-0.4512	0.7048
<i>Leucosoleniidae</i>	-0.3438	0.1438	-0.3765

Taxa	Axe1	Axe2	Axe3
<i>Limatula subauriculata</i>	-0.2955	-0.9034	-0.9664
<i>Liocarcinus holsatus</i>	0.0357	1.2284	0.7902
<i>Liocarcinus pusillus</i>	0.0767	-0.2267	-0.2351
<i>Lithophyllum</i>	-0.1641	-0.0789	0.4771
<i>Lithophyllum incrustans</i>	-0.3603	-0.6061	-1.0881
<i>Lumbrineriopsis paradoxa</i>	-0.0936	-0.4139	0.6542
<i>Lumbrineris fragilis</i>	-0.0398	-0.6407	0.0012
<i>Lumbrineris gracilis</i>	-0.3223	-0.8951	-1.1417
<i>Lumbrineris latreilli</i>	0.3397	-0.1783	0.6384
<i>Lysidice ninetta</i>	-0.2429	-0.3807	-0.1602
<i>Macropodia rostrata</i>	-0.0675	0.8009	0.1320
<i>Macropodia tenuirostris</i>	-0.3660	0.1389	-0.7985
<i>Maera othonis</i>	-0.1654	-0.2737	-0.0257
<i>Magelona filiformis</i>	4.7874	0.5756	-1.8145
<i>Magelona johnstoni</i>	6.0994	0.9753	-2.2811
<i>Maldanidae</i>	0.1443	-0.2222	0.5432
<i>Malmgreniella arenicolae</i>	0.0869	-0.7183	0.2385
<i>Malmgreniella glabra</i>	-0.1135	-0.3273	-0.4742
<i>Malmgreniella ljungmani</i>	-0.2232	-0.3486	-0.0910
<i>Malmgreniella marphysae</i>	0.1727	-0.2740	0.9347
<i>Marphysa bellii</i>	0.2837	-0.5310	0.8781
<i>Mediomastus fragilis</i>	-0.0417	-0.6188	-0.0036
<i>Microporella ciliata</i>	-0.2156	0.0433	-0.0109
<i>Modiolus barbatus</i>	-0.2793	-0.0189	-0.3022
<i>Molgula</i>	-0.3186	0.5823	-0.2818
<i>Musculus discors</i>	-0.3234	0.9852	-0.0856
<i>Mysta picta</i>	-0.2300	0.9612	-0.1835
<i>Nematonereis hebes</i>	-0.1973	-0.5663	-0.4535
<i>Nemertesia antennina</i>	-0.2337	0.3449	0.0048
<i>Nemertina</i>	0.5566	-0.0894	-0.0030
<i>Nephasoma minutum</i>	-0.0626	-0.0773	0.5138
<i>Nephtys caeca</i>	2.1401	-0.0254	0.0322
<i>Nephtys cirrosa</i>	3.7671	0.5147	-0.4027
<i>Nereis</i>	-0.0129	0.5337	0.6556
<i>Nereis pelagica</i>	-0.3332	-0.8354	-1.2037
<i>Nicomache lumbricalis</i>	0.2528	-0.6138	-0.7992
<i>Notomastus latericeus</i>	0.2040	-0.3160	0.3665
<i>Notophyllum foliosum</i>	-0.2526	-0.2140	-0.2049
<i>Nucula nitidosa</i>	-0.0707	-0.5633	-0.4345
<i>Nymphon brevistre</i>	-0.1293	0.0619	0.1027
<i>Obelia dichotoma</i>	-0.2005	-0.1913	-0.1722
<i>Ocenebra erinacea</i>	-0.4821	1.4856	-0.4250
<i>Odontosyllis gibba</i>	-0.1802	-0.4030	0.1825
<i>Omalosecosa ramulosa</i>	-0.4297	1.9321	-0.1160
<i>Onchidoris bilamellata</i>	-0.2015	0.0831	0.3135
<i>Ophelia borealis</i>	3.0784	0.3424	-0.2275
<i>Ophelia celtica</i>	1.3750	0.0440	1.9897
<i>Ophiotrix fragilis</i>	0.0344	0.4062	0.1883
<i>Ophiura albida</i>	0.8851	-0.0161	0.5131
<i>Orbinia (Orbinia) sertulata</i>	-0.1975	-0.8129	-0.4644
<i>Orchomenella nana</i>	-0.3805	1.0646	-0.0537
<i>Owenia fusiformis</i>	0.8208	-0.1854	1.0114
<i>Paguridae</i>	-0.2251	-0.7829	-0.6458
<i>Pagurus bernhardus</i>	-0.0881	0.2954	0.1045
<i>Pagurus cuanensis</i>	-0.3776	1.0156	-0.1589
<i>Pandalina brevistrostris</i>	-0.2401	-0.2813	-0.2775
<i>Paphia rhomboides</i>	-0.0908	-0.4753	-0.1284
<i>Paraonis fulgens</i>	-0.0549	0.3342	0.0331
<i>Pectinaria (Lagis) koreni</i>	1.4773	-0.2226	0.4546
<i>Pelogenia arenosa</i>	-0.1746	-0.4781	0.1544
<i>Petaloproctus terricolus</i>	-0.2541	-0.5446	-0.6797
<i>Phascolion (Phascolion) strombi</i>	-0.0630	-0.4167	-0.0130
<i>Pholoe baltica</i>	-0.0807	0.1311	0.2085
<i>Phtisica marina</i>	-0.0317	0.1452	0.3870
<i>Phyllodoce longipes</i>	0.3611	1.3647	-0.1039
<i>Pilumnus hirtellus</i>	-0.3234	0.6724	-0.1518
<i>Pisidia longicornis</i>	-0.0871	0.2272	0.1901
<i>Pisione remota</i>	0.8663	-0.1850	2.5409
<i>Pista cristata</i>	-0.0037	-0.4883	0.7182
<i>Pista elongata</i>	-0.3198	-0.8593	-1.1332
<i>Plagioecia patina</i>	-0.3898	0.4981	-0.5795
<i>Plagioecia sarniensis</i>	-0.2486	-0.1272	-0.1313
<i>Pododesmus patelliformis</i>	-0.3588	1.3347	-0.0321
<i>Pododesmus squama</i>	-0.2651	0.0717	-0.1454
<i>Poecilochaetus serpens</i>	0.4601	-0.6363	0.0965
<i>Polycirrus medusa</i>	0.0370	-0.1976	0.1865

Taxa	Axe1	Axe2	Axe3
<i>Polydora ciliata</i>	-0.1960	0.4881	0.1818
<i>Polygordius lacteus</i>	0.2439	0.0321	1.5108
<i>Polynoe scolopendrina</i>	-0.3315	0.7653	0.0192
<i>Pomatoceros lamarcki</i>	-0.2007	0.8148	0.1164
<i>Pomatoceros triqueter</i>	-0.0965	0.1021	0.1671
<i>Porella concinna</i>	-0.2194	-0.1677	-0.0035
<i>Porifera</i>	-0.4193	1.9293	-0.0167
<i>Prenantia cheilostoma</i>	-0.1923	-0.8609	-0.2539
<i>Protodorvillea kefersteini</i>	0.2565	-0.5928	1.3462
<i>Psammechinus miliaris</i>	-0.1697	0.1991	0.1051
<i>Pseudopotamilla reniformis</i>	-0.3693	0.5613	-0.3615
<i>Pseudoprotella phasma</i>	-0.3747	0.5790	-0.3779
<i>Pterocirrus macroceros</i>	-0.2231	-0.2250	-0.2484
<i>Pyura squamulosa</i>	-0.3497	-0.0387	-0.3815
<i>Pyura tessellata</i>	-0.3571	0.0027	-0.5547
<i>Raspailia (Raspailia) ramosa</i>	-0.3091	0.1994	-0.3276
<i>Reptadeonella violacea</i>	-0.2227	-0.1424	-0.0581
<i>Rhynchozoon bispinosum</i>	-0.2281	-0.3146	-0.0934
<i>Sabella pavonina</i>	-0.3617	0.0141	-0.8502
<i>Sabellaria spinulosa</i>	-0.3097	0.7423	-0.1408
<i>Sabellidae</i>	-0.2702	1.4723	-0.2077
<i>Sagartia troglodytes</i>	0.1233	0.7064	0.5784
<i>Scalibregma celticum</i>	-0.0742	-0.5342	0.1443
<i>Schistomeringos neglecta</i>	0.0687	-0.4215	0.7303
<i>Schizomavella auriculata</i>	-0.1625	-0.2177	0.0146
<i>Schizomavella linearis</i>	-0.2567	0.1663	0.0195
<i>Schizoporella cornualis</i>	-0.4842	1.9613	-0.3540
<i>Schizoporella patula</i>	-0.3905	1.9793	-0.0381
<i>Schizoporella unicornis</i>	-0.2527	0.0778	-0.1568
<i>Schizotheca fissa</i>	-0.1596	-0.6175	-0.0354
<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>	5.2405	0.6321	-1.7204
<i>Serpula vermicularis</i>	-0.3362	0.1973	-0.2790
<i>Sertularia argentea</i>	-0.2679	0.2015	-0.1265
<i>Sertularia cupressina</i>	-0.3483	1.8890	-0.0058
<i>Sipuncula</i>	-0.3179	-0.8830	-1.1526
<i>Socarnes erythrophthalmus</i>	-0.1976	0.3090	0.4674
<i>Sphaerodorum gracilis</i>	-0.1529	0.0130	0.4912
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i>	0.1051	-0.2742	0.8327
<i>Sphaerosyllis ovigera</i>	0.2114	-0.5380	1.2960
<i>Sphenia binghami</i>	-0.3240	-0.0225	-0.5100
<i>Spio filicornis</i>	3.5317	0.1827	-0.3436
<i>Spiophanes bombyx</i>	4.2600	0.3503	-0.8858
<i>Spirorbis</i>	-0.2563	0.0947	-0.0974
<i>Spisula elliptica</i>	0.6173	-0.4250	0.1147
<i>Stenothoe marina</i>	-0.0627	0.7029	0.7749
<i>Sthenelais boa</i>	-0.2325	0.0582	-0.1993
<i>Subadyte pellucida</i>	-0.1201	-0.1340	0.2467
<i>Suberites</i>	-0.2562	0.2777	-0.0609
<i>Sycon ciliatum</i>	-0.3146	0.8476	-0.1543
<i>Syllis armillaris</i>	-0.2289	-0.6911	-0.6174
<i>Syllis cornuta</i>	-0.0485	-0.0497	0.3693
<i>Syllis gracilis</i>	-0.0262	0.2405	0.5736
<i>Syllis hyalina</i>	0.5430	-0.4480	1.5199
<i>Syllis krohni</i>	-0.1731	-0.5277	0.0282
<i>Syllis variegata</i>	-0.3267	0.7126	0.0137
<i>Tellina (Moerella) donacina</i>	1.1983	-0.3618	0.0821
<i>Thelepus cincinnatus</i>	-0.3201	-0.6865	-0.9908
<i>Thelepus setosus</i>	-0.3295	0.6540	-0.1969
<i>Thia scutellata</i>	2.9197	0.3984	-0.5992
<i>Thracia villosiuscula</i>	-0.0894	-0.6433	-0.2730
<i>Timoclea ovata</i>	-0.1580	-0.5592	-0.3302
<i>Tritonia hombergi</i>	-0.2280	0.4534	0.1994
<i>Tubulanus polymorphus</i>	1.2467	-0.2793	0.4438
<i>Tubularia indivisa</i>	-0.3697	1.2597	-0.0602
<i>Tubulipora</i>	-0.3836	1.8971	0.0046
<i>Tubulipora liliacea</i>	-0.2696	0.0668	-0.1194
<i>Turbellaria</i>	-0.2031	0.0421	0.0513
<i>Turbicellepora avicularis</i>	-0.2523	0.3823	-0.0453
<i>Unciola crenatipalma</i>	-0.2185	0.0859	0.2364
<i>Upogebia deltaura</i>	0.0794	-0.6450	0.0385
<i>Urothoe brevicornis</i>	5.0068	0.7300	-0.9042
<i>Urothoe elegans</i>	0.7010	-0.2932	1.3215
<i>Urticina felina</i>	-0.2872	0.2206	-0.3161
<i>Verruca stroemia</i>	-0.2760	0.2110	-0.1234
<i>Websterinereis glauca</i>	-0.1106	-0.4306	0.1196