

# Cartographie des communautés benthiques intertidales des substrats meubles de la région Nord - Pas-de-Calais

Céline ROLET, Christophe LUCZAK  
Nicolas SPILMONT et Jean-Marie DEWARUMEZ

Notice explicative

Edition Avril 2014



# Préface

C'est avec plaisir que j'ai pris connaissance de ce travail de cartographie des communautés benthiques intertidales des substrats meubles de la région Nord - Pas-de-Calais. Il est vrai que j'ai un lien affectif assez fort en tant que contributeur à ce type de travail ainsi qu'en tant qu'ancien étudiant et enseignant-chercheur de la Station Marine de Wimereux. J'ai également des liens anciens avec plusieurs des auteurs qui m'ont fait l'amitié de me demander cette préface.

Ce travail s'inscrit dans une tradition ancienne d'étude des peuplements benthiques en Manche. Comme le soulignent fort justement les auteurs, des cartographies de synthèse existent déjà depuis longtemps sur le domaine subtidal. Des travaux réalisés en collaboration entre spécialistes de la Station Biologique de Roscoff, du Laboratoire Maritime de Dinard et de la Station Marine de Wimereux ont permis dans les années 70 des avancées spectaculaires dans la connaissance des communautés benthiques subtidales, connaissances qui ont été depuis complétées et rassemblées sous forme de cartes, notamment grâce aux techniques modernes d'analyse de données . Au contraire, il n'existait que de rares études sur les communautés benthiques intertidales, généralement réalisées à des échelles relativement modestes.

Ces travaux, essentiellement descriptifs, sont quelquefois considérés avec un peu de dédain, sans doute en raison de leur relativement longue histoire, au contraire de certaines approches plus récentes de la biologie et de l'écologie, jugées plus "sexy" jusqu'à peut-être leur prochaine obsolescence, une technique pouvant en chasser une autre dans notre monde hyper technologique.

Il est vrai qu'au départ, partant d'un niveau quasi nul de connaissances, les premiers travaux de ce type constituaient presque une fin en soi. Il s'agit maintenant d'une étape préalable mais indispensable qui permet de poser un cadre général de connaissance de la structure de l'écosystème étudié, spatialisé. Connaître les caractéristiques sédimentaires et la structure de la diversité macrobenthique permet de poser des questions essentielles quant au fonctionnement de l'écosystème et à la dynamique des interactions qui le caractérisent.

Ce travail va donc servir de support pour de nombreuses recherches en milieu littoral dans la région, il est un outil pour les gestionnaires de milieux et les collectivités locales, il permet de marquer une étape claire et rigoureuse entre les travaux plus anciens et parcellaires et les nécessaires suivis en cours ou à venir, commandés par l'anthropisation croissante des zones côtières et l'inévitable changement climatique.

Je salue donc avec plaisir ce travail et leurs auteurs et souhaite à cette belle réalisation la plus large diffusion possible.

**Pr. Dominique Davoult**  
**Station Biologique de Roscoff**  
**(Université Pierre & Marie Curie)**



## I- Introduction

Le littoral de la région Nord - Pas-de-Calais, s'étendant depuis Bray-Dunes jusqu'à la Baie d'Authie, est composé d'une grande diversité d'habitats tels que les dunes, marais, falaises. D'autres sont inondés à marée haute et découverts à marée basse : ce sont les plages et estuaires qui représentent une superficie totale de 104 km<sup>2</sup>. Ces derniers habitats, formant la zone dite intertidale ou estran, sont situés à l'interface entre les domaines marins et terrestres et sont soumis à de nombreuses modifications qui sont d'origine naturelle (érosion du trait de côte, tempêtes,...) ou liées à des perturbations anthropiques (activités récréatives et touristiques, aménagements, exploitation,...). Les plages et estuaires, en tant que zones de contact (ici entre écosystèmes marins et terrestres), sont des écosystèmes particuliers appelés écotones. De ce fait, ils abritent un ensemble d'espèces en interactions (appelé biocénose) spécifique, unique et à haute valeur patrimoniale. Dans la région Nord - Pas-de-Calais, la grande majorité des plages est constituée de substrats meubles, c'est-à-dire de sable et de vase alors que les secteurs de rochers y sont rares. Le présent travail ne traite donc que de ces substrats meubles. Ces zones ont également un rôle unique d'accueil et de nourriceries pour certains poissons, mais aussi et surtout pour les oiseaux limicoles (constituant l'avifaune) en période de migration, d'hivernage et de reproduction.

Les animaux macrobenthiques (ou macrozoobenthos), c'est-à-dire vivant en relation permanente avec le sédiment (vase, sable,...) à l'état adulte, constituent une part importante des espèces peuplant les plages et estuaires, tant en quantité qu'en diversité. Ces espèces animales (vers, mollusques, crabes, crevettes, etc...), en grande partie sédentaires, interagissent entre elles et avec leur environnement pour former une communauté benthique qui est en évolution permanente.

Il est donc primordial de connaître les caractéristiques de ces communautés et notamment leur distribution spatiale, avant toute tentative de mise en œuvre d'actions de conservation sur ces sites. Contrairement aux communautés benthiques du domaine subtidal (en permanence immergées) qui ont été décrites à l'échelle de la Manche orientale et du sud de la mer du Nord (Cabioch et Gentil, 1975 ; Cabioch et Glaçon, 1975 ; Cabioch et Glaçon, 1977 ; Souplet et Dewarumez, 1980 ; Souplet et al., 1980 ; Prygiel et al., 1988 ; Davoult et al., 1988 ; Gentil et Cabioch, 1997 ; Desroy et al., 2003 ; Foveau, 2009), il n'existe aucune vision globale du domaine intertidal à l'échelle de la région Nord - Pas-de-Calais (Richard et al., 1980 ; Davoult, 1983). Dans ce cadre scientifique et géographique, le projet **MACROFONE** (les

communautés **MACRO**zoobenthiques des sédiments meubles intertidaux du Nord - Pas-de-Calais : structure et **FON**ctionnement **E**cologiques, relations avec l'avifaune hivernante) a pour objectif d'étudier les relations entre l'avifaune et le macrozoobenthos et se doit donc de fournir, dans un premier temps, des éléments de réponse à une question essentielle : quelles sont les communautés macrozoobenthiques présentes le long du littoral du Nord - Pas-de-Calais (distribution spatiale et biodiversité) ?

Une cartographie des communautés benthiques des substrats meubles intertidaux de la région Nord - Pas-de-Calais a donc été réalisée en vue d'être un outil utile et pratique pour les décideurs, gestionnaires et usagers du littoral, mais également comme préalable indispensable à toute étude fonctionnelle de ces écosystèmes littoraux. Cette cartographie est un instantané. La représentation des différentes communautés apparaît « stable » au niveau des plages (sauf perturbation), mais une dynamique très rapide pourrait modifier quelque peu la précision de la distribution des différentes communautés en estuaire (Canche et Authie).

Le document qui suit est basé sur des analyses scientifiques et statistiques, mais ne sont présentés que les produits finaux volontairement épurés au maximum de tout langage et de toute représentation trop spécialisés.

## **II- Origine des données – techniques utilisées**

### **A- Les échantillons**

Les cartes sont basées sur 358 stations de substrats meubles échantillonnées entre 1998 et 2012 sur l'ensemble du littoral Nord - Pas-de-Calais (depuis la frontière belge jusqu'à la baie d'Authie incluse) en fin d'hiver-début de printemps. Les stations couvrent les différents niveaux de la zone intertidale à marée basse avec 3 à 5 stations échantillonnées le long d'une radiale depuis le haut vers le bas de la plage. Au total, 205 stations ont été échantillonnées sur les plages, 75 en baie de Canche et 78 en baie d'Authie. Parmi ces 358 stations et afin de compléter la couverture géographique, 106 stations ont été échantillonnées spécifiquement en 2012 pour le projet cartographique.

### **B- Travail de terrain**

Pour chaque station, 3 échantillons ont été prélevés pour la macrofaune à l'aide d'un carottier d'une surface de 1/40ème de m<sup>2</sup> sur une profondeur de 30 cm. L'échantillon a ensuite été tamisé sur mailles carrées de 1 mm de côté permettant de récupérer les individus

supérieurs à 1 mm : on parle alors de macrofaune benthique (Figure 1). Finalement, l'échantillon a été étiqueté puis fixé au formol salé à 10% en attendant son analyse au laboratoire. Un prélèvement supplémentaire a également été réalisé pour des analyses granulométriques (une centaine de g de sédiment).

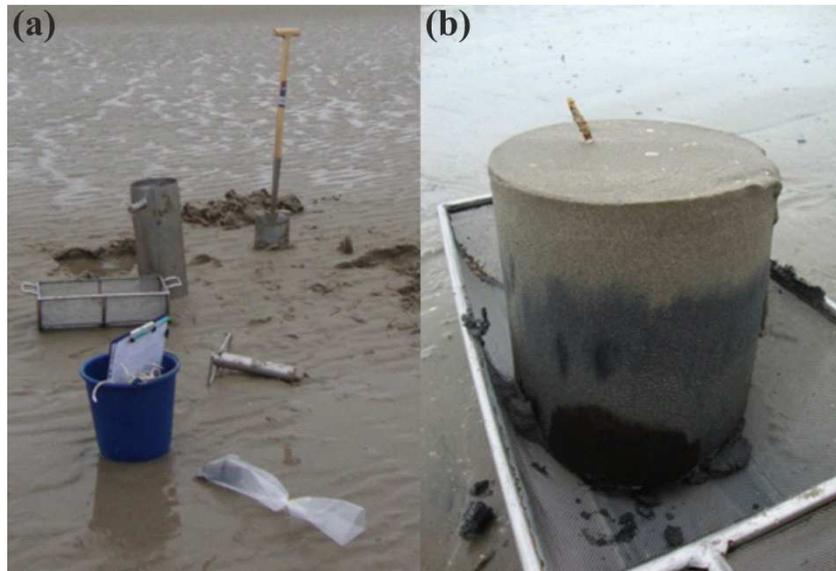


Figure 1. (a) Matériel de prélèvement de la macrofaune benthique pour les substrats meubles intertidaux (carottiers et tamis) et (b) carotte destinée à l'analyse de la macrofaune, avant tamisage (© Céline Rolet)

## **C- Traitement des échantillons**

### ***1) Macrofaune benthique***

La macrofaune a été triée au laboratoire. Les individus récoltés ont été identifiés jusqu'à l'espèce à chaque fois que cela a été possible à l'aide de faunes françaises, belges et britanniques (exception faite des Oligochètes, Némertes et Nématodes). Une liste faunistique, ainsi que les densités (nombre d'individus par  $m^2$  : ind. $m^{-2}$ ) de chaque espèce recensée, ont été dressées pour chaque station échantillonnée. Les noms des espèces déterminées ont été actualisés selon le référentiel international : World Register Of Marine Species WORMS (<http://www.marinespecies.org>). La biomasse (c'est-à-dire la masse de matière organique) des individus récoltés a ensuite été déterminée selon la méthode du poids sec libre de cendres (ICES, 1986). Les individus ont été rassemblés par espèce et par station et placés dans une étuve à 60°C pendant 48 heures, puis pesés le plus précisément possible pour obtenir le poids sec (PS). Ils ont ensuite été placés dans un four à 520°C pendant 6 heures afin de permettre la

disparition complète de la matière organique sans altérer la matière minérale présente. Ils ont été de nouveau pesés pour obtenir le poids des cendres (PC). L'estimation de la biomasse (en  $\text{g.m}^{-2}$ ) a été obtenue en effectuant la différence des mesures PS – PC, pour obtenir le poids sec libre de cendres (PSLC correspondant au Ash Free Dry Weight anglo-saxon AFDW) qui est une estimation de la matière organique contenue dans les animaux.

## 2) *Analyses sédimentaires*

Les échantillons de sédiments récoltés à chaque station ont permis de caractériser la granulométrie. Celle-ci est définie en fonction de 6 catégories sédimentaires allant des pélites (ou vases) aux cailloutis suivant la classification de Larssonneur (1977) (Tableau 1). Pour chaque station, le pourcentage de chaque catégorie sédimentaire a été calculé afin de définir la nature du substrat.

**Tableau 1. Catégories sédimentaires dérivées de la classification de Larssonneur (1977)**

<b>Catégories sédimentaires</b>	<b>Taille des particules (mm)</b>
Cailloutis	[20-50[
Graviers grossiers	[5-20[
Graviers fins	[2-5[
Sables grossiers	[0,5-2[
Sables moyens	[0,2-0,5[
Sables fins	[0,05-0,2[
Pélites (silts + argiles)	< 0,05

## **D- Analyses des données**

### 1) *Descripteurs biologiques*

Pour chaque station échantillonnée, la **richesse spécifique** (RS) qui se définit comme le nombre d'espèces recensées à une échelle spatiale donnée (Frontier et al., 2008), la **densité** (nombre d'individus par  $\text{m}^2$ ) ainsi que la **diversité spécifique** (H, encore appelée diversité de Shannon) ont été calculées. Cette diversité spécifique (H), intégrant d'une part la richesse spécifique et d'autre part l'abondance relative des espèces, reflète l'état dynamique de la

biocénose et permet d'estimer le degré d'évolution entre les stades pionnier et mature d'une communauté. L'indice le plus couramment utilisé en écologie est l'indice de diversité de Shannon. Ce dernier exprime la diversité d'une communauté en fonction du nombre d'espèces récoltées et du nombre d'individus de chacune de ces espèces suivant la formule suivante (Frontier et al., 2008) :

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$$

Avec :

n : le nombre d'espèces

$p_i$  : la fréquence relative de l'espèce i dans le prélèvement  $p_i = n_i/N$

$n_i$  : le nombre d'individus de l'espèce i

N : le nombre total d'individus dans le prélèvement

H est en général compris entre 1 et 4,5 ; une valeur < à 1 indique une diversité très faible (Frontier et al., 2008).

Afin d'apprécier la régularité (E) de la distribution des espèces dans la communauté, l'« équitabilité » de Pielou est calculée à partir de l'indice de diversité de Shannon (H) et de la diversité maximale (basé sur la richesse spécifique) (Frontier et al., 2008) :

$$E = H / \log_2 n$$

Dans des communautés de taille modeste, les régularités courantes sont de l'ordre de 0,7-0,9 (Frontier et al., 2008).

Ces indices ont également été calculés pour chacune des communautés recensées sur le littoral.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne pour chaque communauté avec une estimation de la dispersion autour de cette moyenne représentée par l'écart type (moyenne  $\pm$  écart-type).

## 2) *Analyses statistiques*

L'identification et la délimitation des différentes communautés ont été effectuées par une approche classique en écologie des communautés couplant une ordination multidimensionnelle (gradients) et une classification (ruptures) (Clarke & Warwick, 2001 ; Legendre & Legendre, 2012). Les détails figurent en annexe 1 du document.

## 3) *Cartographie*

Les communautés macrobenthiques définies grâce aux analyses statistiques ont été caractérisées et décrites selon la classification **EUNIS** (Niveaux 4 et 5 : Connor et al., 2004 ; Davies et al., 2004 ; Galparsoro et al., 2012). Cette classification a été développée pour répondre à la mise en œuvre de la « Directive Habitat » de l'Union européenne et tend à devenir la typologie de référence des habitats en Europe. Elle comprend 6 niveaux qui suivent une hiérarchie : au niveau 1, les habitats sont répartis entre habitats marins (code A) et autres (terrestres et eaux douces). Le niveau 2 distingue les habitats marins en fonction du type de substrat (meuble/rocheux), de la profondeur, du caractère permanent ou non de l'immersion (ex : A2 pour sédiments littoraux). Le niveau 3 permet de classer en fonction des conditions abiotiques (nature du sédiment, énergie hydrodynamique, salinité ; ex : A2.2 pour les sables et sables-vaseux littoraux). A partir du niveau 4, la classification est basée sur la biocénose en place (ex : A2.23 Sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes). Aux niveaux 5 et 6, la résolution augmente encore dans la description de l'habitat avec les espèces benthiques présentes (ex : A2.223 Sables fins à moyens intertidaux à Amphipodes et *Scolelepis spp* pour le niveau 5 et A2.2232 Sables mobiles intertidaux à *Eurydice pulchra* pour le niveau 6). Les données de cette classification sont disponibles gratuitement sur le site <http://eunis.eea.europa.eu/> (accès le 18/04/14).

La cartographie finale a été réalisée sur fonds de photographies aériennes (© Ortho Littorale 2000) à l'échelle du littoral Nord - Pas-de-Calais selon la méthode recommandée par Godet et al. (2009). Les analyses et représentations cartographiques ont été effectuées à l'aide du logiciel de SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) ArcGIS 10®.

### III- Les communautés macrobenthiques des substrats meubles intertidaux du littoral Nord - Pas-de-Calais

Suite aux analyses, 7 communautés ont pu être identifiées :

- La zone de dessiccation ou zone de sable sec codée A2.21.
- La communauté des sables fins à moyens intertidaux à Amphipodes et *Scolelepis spp.* codée A2.223.
- La communauté des sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes codée A2.23.
- La communauté des sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves codée A2.24.

Trois sous-communautés de la communauté A2.24 ont également été identifiées au niveau 5 de la classification EUNIS :

- La communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes codée A2.242.
- La communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* codée A2.244.
- La communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* codée A2.245.

A l'échelle de la région Nord - Pas-de-Calais, 108 espèces appartenant à la macrofaune des substrats meubles intertidaux ont été recensées lors de cette étude. Elles se répartissent de la façon suivante :

- 36 Annélides Polychètes
- 45 Crustacés :
  - 22 Amphipodes
  - 5 Isopodes
  - 12 Décapodes
  - 4 Cumacés
  - 2 Mysidacés
- 19 Mollusques :
  - 16 Bivalves
  - 3 Gastéropodes
- 2 Echinodermes

- 1 Pycnogonide
- 1 Poisson
- 1 Nématode
- 1 Némerte
- 1 Oligochète
- 1 Insecte

Les richesses spécifiques, diversités, densités et biomasses moyennes ont été calculées pour chacune des communautés identifiées (Tableau 2).

**Tableau 2. Nombre de stations analysées, nombre d'espèces recensées, richesse spécifique moyenne (moyenne  $\pm$  écart-type), indice de diversité de Shannon (H ; moyenne  $\pm$  écart-type), régularité de Pielou (E ; moyenne  $\pm$  écart-type), densité moyenne (ind.m<sup>-2</sup> ; moyenne  $\pm$  écart-type) et biomasse moyenne (g.m<sup>-2</sup> ; moyenne  $\pm$  écart-type) de chaque communauté présente sur le littoral Nord - Pas-de-Calais**

<b>Communauté EUNIS</b>	<b>A2.21</b>	<b>A2.223</b>	<b>A2.23</b>	<b>A2.24</b>	<b>A2.242</b>	<b>A2.244</b>	<b>A2.245</b>
<b>Nombre de stations</b>	19	143	92	93	2	2	7
<b>Espèces recensées</b>	16	60	80	37	24	3	26
<b>Richesse spécifique moyenne</b>	0,8 $\pm$ 0,8	5,3 $\pm$ 2,6	6,5 $\pm$ 3,6	6,3 $\pm$ 2,7	17,5 $\pm$ 4,9	2,0 $\pm$ 1,4	7,1 $\pm$ 4,7
<b>Diversité de Shannon (H)</b>	0,05 $\pm$ 0,17	1,53 $\pm$ 0,71	1,92 $\pm$ 0,67	1,33 $\pm$ 0,68	2,67 $\pm$ 0,08	0,73 $\pm$ 1,03	1,48 $\pm$ 0,73
<b>Régularité de Pielou (E)</b>	0,05 $\pm$ 0,17	0,69 $\pm$ 0,22	0,77 $\pm$ 0,16	0,55 $\pm$ 0,25	0,65 $\pm$ 0,05	0,46 $\pm$ 0,65	0,58 $\pm$ 0,32
<b>Densité moyenne (ind.m<sup>-2</sup>)</b>	124 $\pm$ 352	983 $\pm$ 1449	682 $\pm$ 1835	6774 $\pm$ 11239	4749 $\pm$ 3698	47 $\pm$ 47	3132 $\pm$ 5565
<b>Biomasse moyenne (g.m<sup>-2</sup>)</b>	0,09 $\pm$ 0,17	2,17 $\pm$ 3,70	6,59 $\pm$ 14,79	21,59 $\pm$ 72,36	12,80 $\pm$ 10,81	0,07 $\pm$ 0,09	5,17 $\pm$ 8,27

La zone de dessiccation (A2.21) présente une faible richesse spécifique (0,8 espèce en moyenne, pour 16 espèces recensées au total) et donc une faible diversité spécifique ( $H = 0,05 \pm 0,17$ ). La communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* (A2.244) est également caractérisée par une faible richesse spécifique moyenne ( $2,0 \pm 1,4$ ), seulement 3 espèces recensées, un nombre d'individus réduit et une faible diversité spécifique ( $H = 0,73 \pm 1,03$ ). Les trois communautés recensées sur toutes les plages de la région, à savoir les communautés A2.223, A2.23 et A2.24 présentent des richesses spécifiques moyennes similaires (de l'ordre de 5 à 6 espèces). La communauté des sables envasés (A2.24) possède des densités plus importantes ( $6774 \pm 11239 \text{ ind.m}^{-2}$ ) par rapport aux deux autres communautés (A2.223 et A2.23), mais une diversité spécifique et une régularité relativement plus faibles ( $H = 1,33 \pm 0,68$  et  $E = 0,55 \pm 0,25$ ). 37 espèces y ont été récoltées contre 60 et 80 pour les communautés A2.223 et A2.23 respectivement. La communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes (A2.242) présente la plus forte richesse spécifique moyenne ( $17,5 \pm 4,9$  espèces en moyenne pour 24 espèces recensées au total), de fortes densités et la plus forte diversité spécifique ( $H = 2,67 \pm 0,08$ ). Concernant la communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* (A2.245), les densités moyennes sont importantes ( $3132 \pm 5565 \text{ ind.m}^{-2}$ ), principalement en raison de la présence de l'Annélide Polychète *Lanice conchilega*, et la richesse spécifique est relativement élevée ( $7,1 \pm 4,7$  espèces) grâce à la présence de nombreuses espèces accompagnatrices (26 espèces recensées au sein de cette communauté).

Les biomasses les plus importantes sont retrouvées au sein des communautés sablo-vaseuses A2.24 et A2.242 ( $21,59$  et  $12,80 \text{ g.m}^{-2}$  respectivement), les plus faibles au sein des communautés des hauts niveaux de plages : A2.21 et A2.244.

Les richesses et diversités spécifiques, ainsi que les densités et biomasses observées pour chacune des communautés sont semblables à celles obtenues en Belgique sur le même type de plage (Degraer et al., 2003).

**Tableau 3. Caractéristiques sédimentaires de chacune des communautés en % de pélites, sables fins, sables moyens, sables grossiers, graviers fins et graviers grossiers**

<b>Communauté EUNIS</b>	<b>Pélites</b>	<b>Sables fins</b>	<b>Sables moyens</b>	<b>Sables grossiers</b>	<b>Graviers fins</b>	<b>Graviers grossiers</b>
<b>A2.21</b>	-	28	71	1	-	-
<b>A2.223</b>	-	27	68	4	1	-
<b>A2.23</b>	-	52	44	3	1	-
<b>A2.24</b>	3	32	61	3	1	-
<b>A2.242</b>	3	18	77	2	-	-
<b>A2.244</b>	-	29	54	10	4	3
<b>A2.245</b>	-	64	30	3	3	-

L'analyse sédimentaire a permis de mettre en évidence un gradient sédimentaire depuis le haut vers le bas de plage. Les hauts niveaux de plage (A2.21) sont dominés par des sédiments constitués de sables moyens (71%) et de sables fins (28%), les niveaux moyens (A2.223) par des sables moyens à fins (68% de sables moyens, 27% de sables fins, 4% de sables grossiers, 1% de graviers fins) et les bas-niveaux (A2.23) sont, quant à eux, dominés par une majorité de sables fins (52%) à moyens (44%), sans pélites (Tableau 3). On observe un affinement des sédiments depuis le haut vers le bas de l'estran. Certaines plages du littoral, telles que celles des Hemmes de Marck et de Gravelines, ainsi que les fonds des baies de Canche et d'Authie, présentent en certains secteurs une part non négligeable de pélites : le sédiment est alors constitué de sables moyens à 61%, de sables fins à 32%, de pélites à 3% et de 4% de sédiments plus grossiers (communauté A2.24). Une comparaison des caractéristiques sédimentaires des plages entre la baie d'Authie et le Cap Gris-Nez et entre le Cap-Gris-Nez et Bray-Dunes montre que les sédiments sont beaucoup plus fins sur les plages entre la baie d'Authie et le Cap-Gris-Nez et beaucoup plus grossiers depuis le Cap-Gris-Nez jusqu'à Bray-Dunes.

La figure 2 permet d'appréhender sur le terrain les différents niveaux de l'estran ; niveaux caractérisés par les différentes communautés décrites par la suite dans ce fascicule.

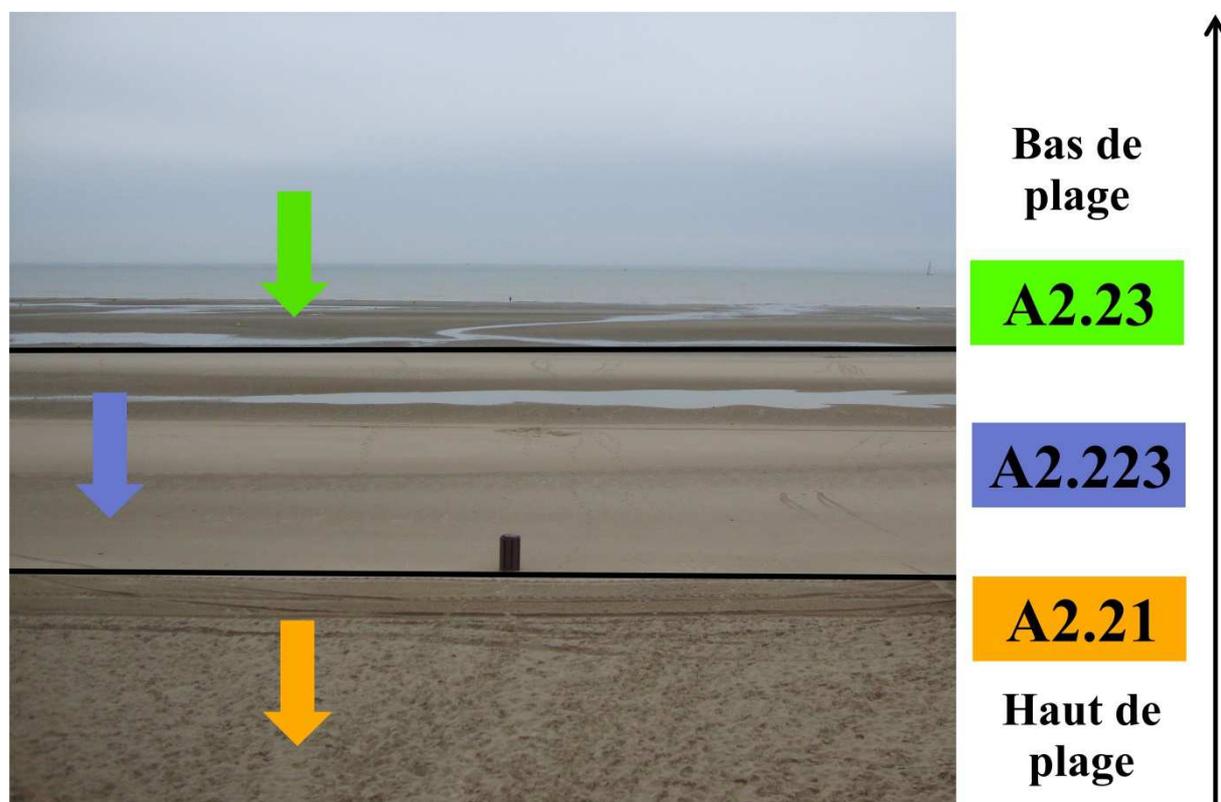
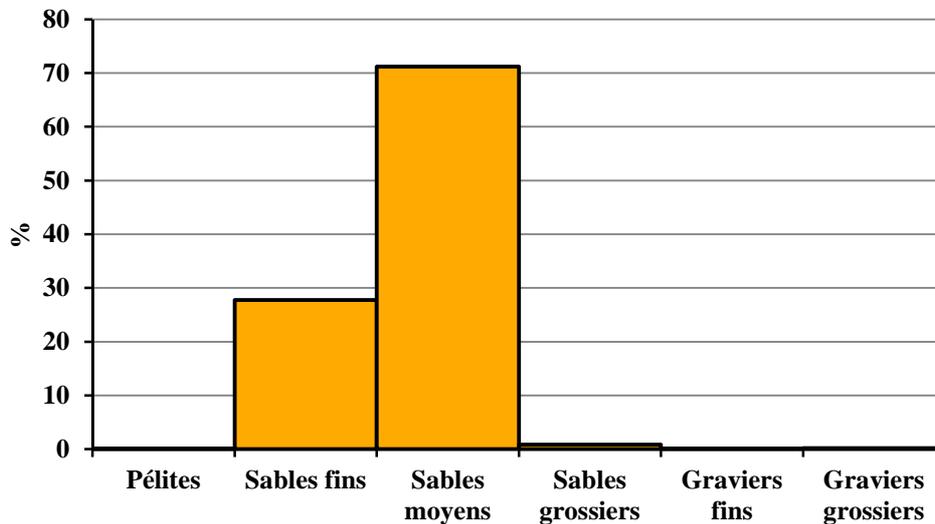


Figure 2. Observation sur le terrain des différents niveaux sur la plage : depuis le haut de plage avec la zone de dessiccation A2.21, puis le milieu de plage caractérisé par la communauté A2.223 et le bas de plage caractérisé par la communauté A2.23 (Zuydcoote, © Céline Rolet)

## **A- La zone de dessiccation ou zone de sable sec (A2.21)**

Cette zone est présente sur le haut de plage et est exceptionnellement recouverte à marée haute (voir cartes). Cette zone de sable sec est dominée à 71% par des sables moyens, 28% par des sables fins et contient 1% de sables grossiers (Tableau 3 et Figure 3).



**Figure 3. Granulométrie typique de la zone de dessiccation A2.21**

Cette partie de plage présente une richesse spécifique moyenne très faible ( $0,8 \pm 0,8$  espèce) ; elle est localement dépourvue de faune benthique (et alors qualifiée d'azoïque). La diversité spécifique  $y$  est très faible ( $H = 0,05 \pm 0,17$ ). La densité moyenne de cette communauté est de  $124 \pm 352 \text{ ind.m}^{-2}$  pour une biomasse négligeable ( $0,09 \pm 0,17 \text{ g.m}^{-2}$  ; Tableau 2). La zone de dessiccation est parfois colonisée par l'Amphipode *Talitrus saltator* ou « puce de mer » (Figure 4). Les densités de cette espèce varient en fonction de la nourriture disponible dans la laisse de mer (algues et cadavres en décomposition). Des Oligochètes peuvent être abondants dans cette zone ( $1500 \text{ ind.m}^{-2}$  sur une station située sur la plage des Hemmes de Marck). Des insectes colonisent également la zone tels que des Coléoptères et des Diptères (Dauvin et al., 1997 ; Figure 4).

Cette communauté est présente de Berck-sur-Mer à Boulogne-sur-Mer et absente de Wimereux au Cap-Gris-Nez puisque remplacée par des digues ou des zones rocheuses. On la retrouve ensuite depuis Tardinghen jusqu'à Bray-Dunes (voir cartes). Elle couvre  $4,1 \text{ km}^2$  soit 4% de la zone intertidale.

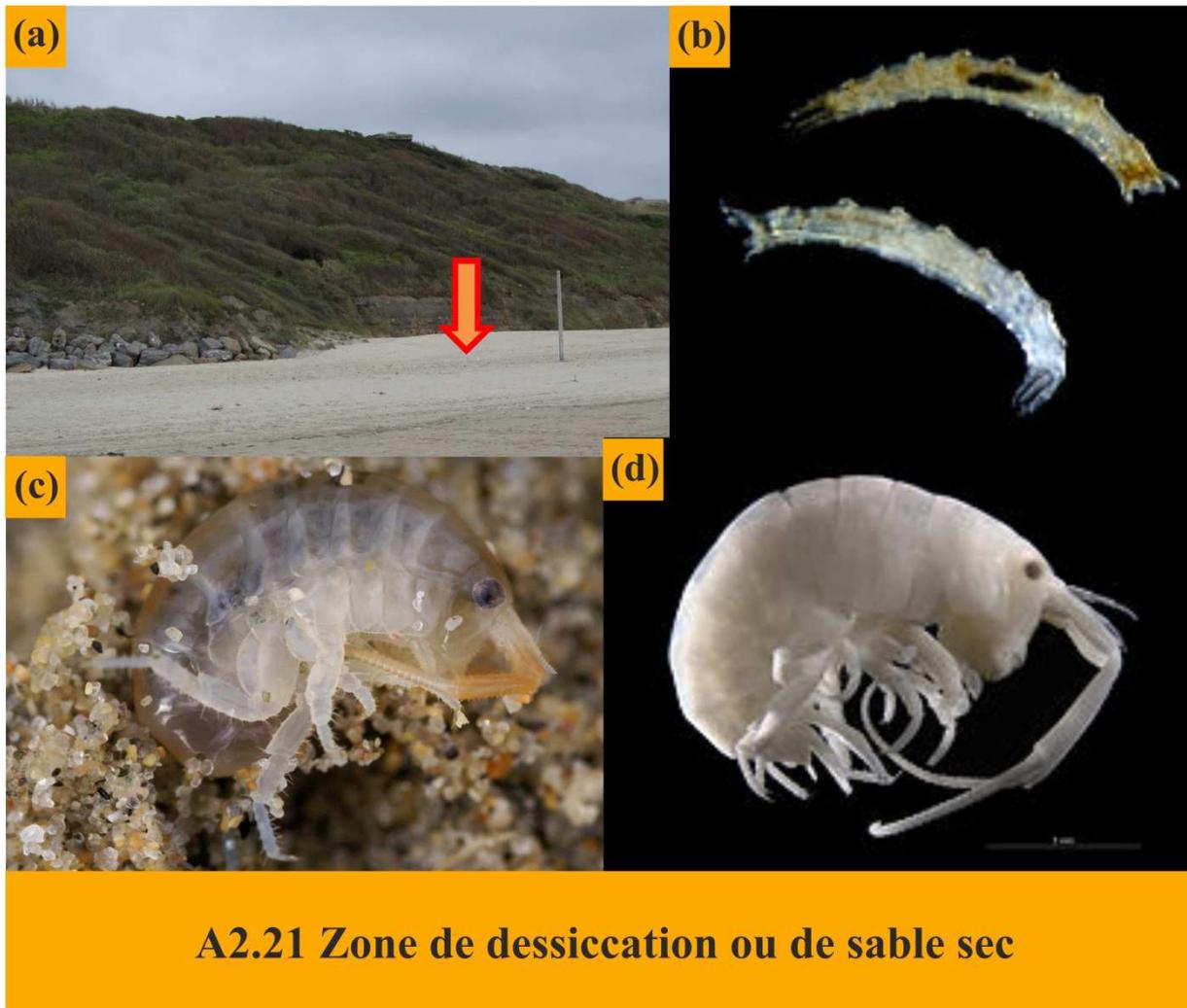
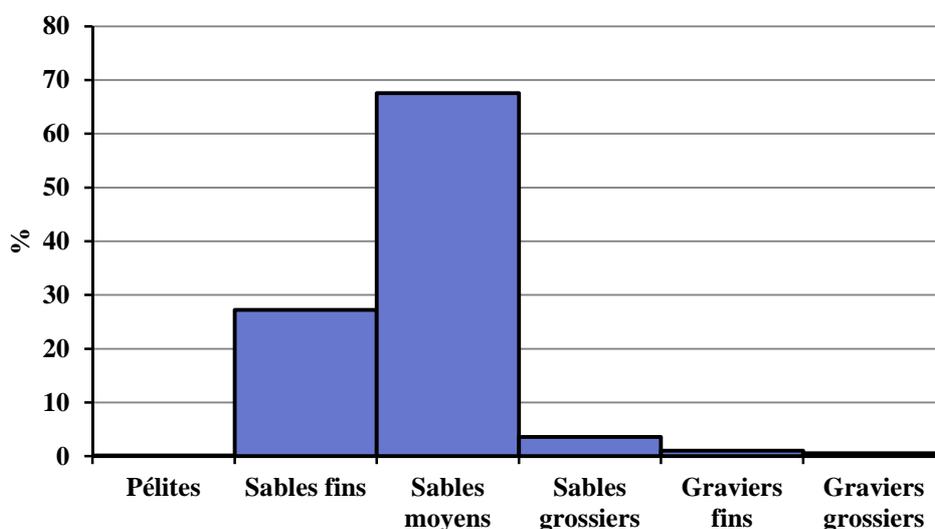


Figure 4. (a) Zone de dessiccation A2.21 située en haut de plage (Equihen-Plage, © Céline Rolet), (b) larves d'insectes (taille 20 mm ; © Hans Hillewaert), (c) et (d) l'Amphipode *Talitrus saltator* ou puce de mer, espèce typique de la zone (taille 25 mm ; © Marc Cochu et © Hans Hillewaert)

## **B- La communauté des sables fins à moyens intertidaux à Amphipodes et *Scolelepis spp* (A2.223)**

Cette communauté est localisée sur toutes les plages de la région Nord - Pas-de-Calais y compris dans les baies (Canche et Authie) mais absente des zones portuaires. On la retrouve à partir des hauts niveaux de plage, faisant suite à la zone de dessiccation, jusqu'à la limite des basses mers de mortes eaux (voir cartes). Elle est principalement caractérisée par des sables moyens (68%) et fins (27%). Des sables grossiers (4%), des graviers fins (1%) et des graviers grossiers (0,5%) sont également présents mais en faible proportion (Tableau 3 et Figure 5).



**Figure 5. Granulométrie typique de la communauté des sables fins à moyens intertidaux à Amphipodes et *Scolelepis spp*. A2.223**

Cette communauté présente une richesse spécifique moyenne de  $5,3 \pm 2,6$  espèces et 60 espèces recensées au total, une densité moyenne de  $983 \pm 1449$  ind.m<sup>-2</sup>, une biomasse moyenne de  $2,17 \pm 3,70$  g.m<sup>-2</sup> et une diversité spécifique de  $1,53 \pm 0,71$ . La régularité de 0,69 illustre une bonne répartition des individus entre les différentes espèces au sein de cette communauté (Tableau 2). Les espèces rencontrées typiquement dans cette communauté sont les Amphipodes du genre *Bathyporeia* (*B. pilosa* et *B. sarsi*) et *Haustorius arenarius*, les Isopodes *Eurydice pulchra* et *Eurydice affinis*, et le Polychète *Scolelepis squamata* (Figure 6).

Cette communauté couvre 30,5 km<sup>2</sup> de zone intertidale à l'échelle du Nord - Pas-de-Calais soit 29% de la surface totale de l'estran.

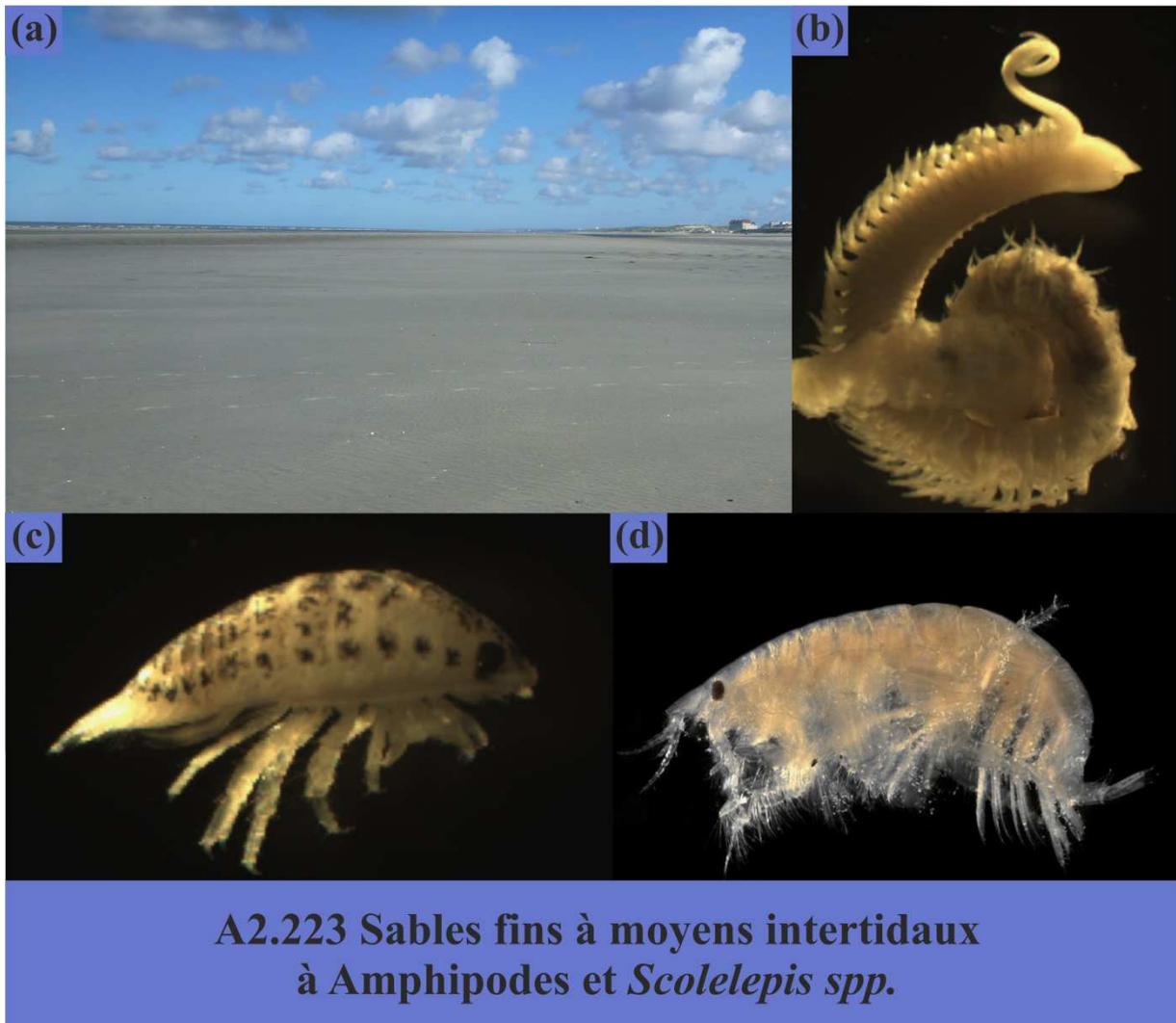
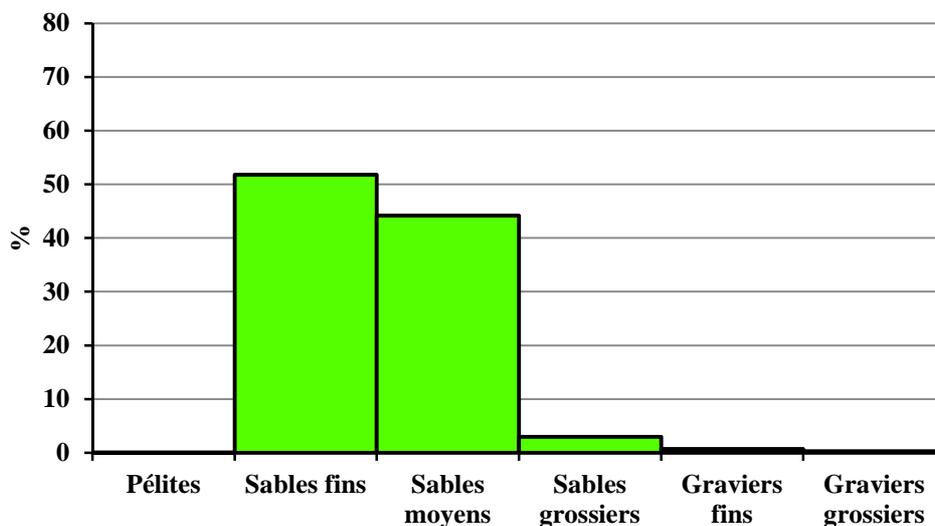


Figure 6. (a) Les moyens niveaux de plage colonisés par la communauté des sables fins à moyens intertidaux à Amphipodes et *Scolecipis* spp (plage de Merlimont, © Christophe Luczak), (b) le Polychète *Scolecipis squamata* (taille 50 à 80 mm ; © Céline Rolet), (c) l'Isopode *Eurydice pulchra* (taille 8 mm ; © Céline Rolet) et (d) l'Amphipode *Bathyporeia pilosa* (taille 6 mm ; © Hans Hillewaert)

## **C- La communauté des sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes (A2.23)**

Cette communauté, la plus largement répandue, est située sur toutes les plages du littoral y compris aux embouchures des baies de Canche et d'Authie. Elle est caractéristique des bas niveaux de l'estran et s'étend vers la zone subtidale (voir cartes). Les sédiments de cette communauté sont composés majoritairement de sables fins (52%) et de sables moyens (44%). De faibles proportions de sables grossiers (3%) et de graviers fins (1%) sont également présentes (Tableau 3 et Figure 7).



**Figure 7. Granulométrie typique de la communauté des sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes A2.23**

La communauté des sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes présente une richesse spécifique moyenne de  $6,5 \pm 3,6$  espèces avec 80 espèces différentes recensées, une densité moyenne de  $682 \pm 1835$  ind.m<sup>-2</sup>, une biomasse moyenne de  $6,59 \pm 14,79$  g.m<sup>-2</sup>, une diversité spécifique de  $1,92 \pm 0,67$  et une régularité de  $0,77 \pm 0,16$ . Cette dernière valeur illustre une assez bonne répartition des individus entre les différentes espèces au sein de cette communauté, proche du maximum possible égal à 1 (Tableau 2). Les espèces rencontrées sont des Amphipodes tels que *Bathyporeia pelagica* et *Urothoe poseidonis*, des Polychètes comme *Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* et *Spiophanes bombyx* principalement et des Mollusques Bivalves comme *Donax vittatus* et *Ensis directus* (Figure 8).

Sa superficie est de 56 km<sup>2</sup>. Elle est la communauté la plus représentée sur notre littoral (52% de la surface totale des estrans).

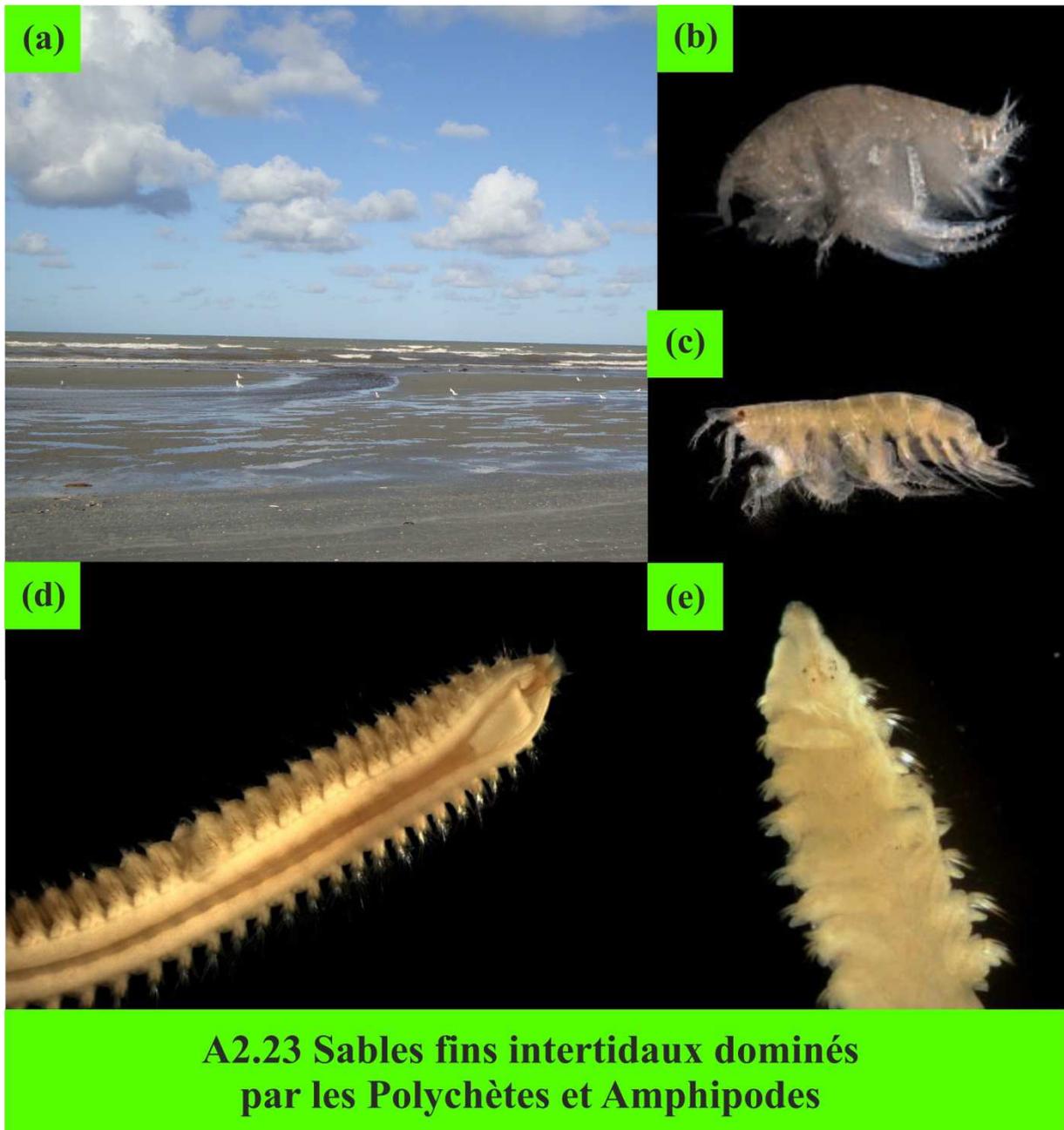
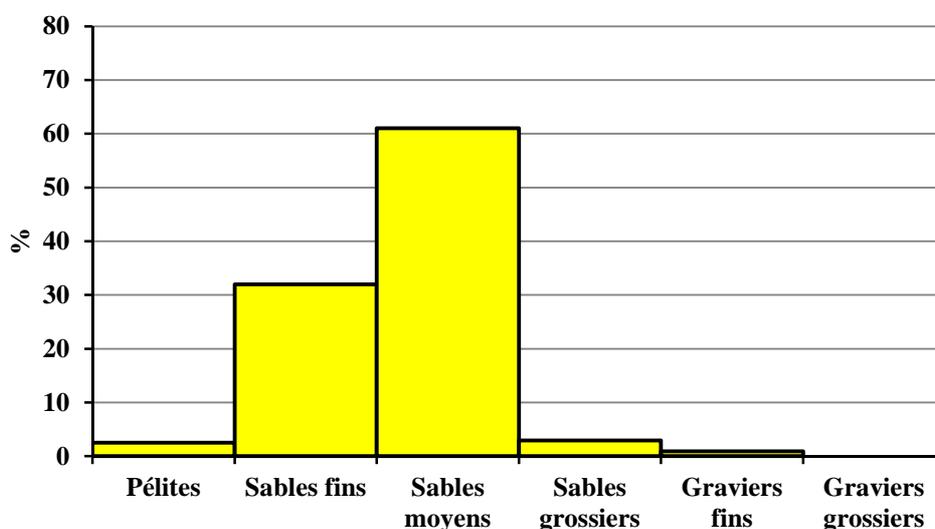


Figure 8. (a) Bas de plage colonisé par la communauté des sables fins intertidaux dominés par les Polychètes et Amphipodes A2.23 (plage de Merlimont, © Céline Rolet), (b) l'Amphipode *Urothoe poseidonis* (taille 6 mm ; © Hans Hillewaert), (c) l'Amphipode *Bathyporeia pelagica* (taille 6 mm ; © Hans Hillewaert) (d) le Polychète *Nephtys cirrosa* (taille 60-100 mm ; © Hans Hillewaert) et (e) le Polychète *Spio martinensis* (taille 30 mm ; © Hans Hillewaert)

## **D- La communauté des sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves (A2.24)**

Cette communauté est principalement présente dans les fonds des baies d'Authie et de Canche et le long des chenaux de ces deux rivières. On la retrouve également dans les hauts niveaux de deux plages de la région : les Hemmes de Marck et Gravelines (voir cartes). Elle est caractérisée par des sables moyens (61%), des sables fins (32%), des sables grossiers (3%) mais aussi par la présence de pélites (vases) avec 3%. Les graviers fins sont présents en faible proportion (Tableau 3 et Figure 9).



**Figure 9. Granulométrie typique de la communauté de sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves A2.24**

La communauté des sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves présente une richesse spécifique similaire aux deux autres principales communautés situées sur la zone intertidale (A2.223 et A2.23) avec  $6,3 \pm 3,6$  espèces mais seulement 37 espèces recensées. Les densités et biomasses y sont plus élevées ( $6774 \pm 11239$  ind.m<sup>-2</sup> et  $21,59 \pm 72,36$  g.m<sup>-2</sup>) mais la diversité spécifique et la régularité plus faibles ( $H = 1,33 \pm 0,68$  et  $E = 0,55 \pm 0,25$  ; Tableau 2). Cette communauté est caractérisée par des espèces à affinité sablo-vaseuses : les Mollusques *Peringia ulvae*, *Cerastoderma edule* et *Macoma balthica* ; les Crustacés *Corophium arenarium*, *Bathyporeia pilosa*, *Eurydice affinis* et les Annélides Polychètes *Pygospio elegans* et *Hediste diversicolor* (Figure 10).

Cette communauté couvre 9,9% de la zone intertidale du littoral Nord - Pas-de-Calais, soit 10,5 km<sup>2</sup> au total.



**Figure 10. (a) Les hauts niveaux de plage et/ou fonds des baies colonisés par la communauté des sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves A2.24 (Hemmes de Marck, © Christophe Luczak), (b) le Polychète *Pygospio elegans* (taille 10-15 mm ; © fyu.fi), (c) le Mollusque Bivalve *Macoma balthica* (taille 25 mm ; © Hans Hillewaert), (d) l'Amphipode *Corophium arenarium* (taille 7 mm ; © Marc Cochu) et (e) le Gastéropode *Peringia ulvae* (taille 6 mm ; © G & Ph Poppe)**

L'analyse met également en évidence la présence de trois sous-communautés (niveau 5 de la classification EUNIS) appartenant à la communauté A2.24 «Sables envasés intertidaux dominés par les Polychètes et Bivalves» et détaillées ci-dessous:

- La communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes codée A2.242.
- La communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* codée A2.244.
- La communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* A2.245.

## E- La communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes (A2.242)

Cette communauté est située en zone abritée dans l'Avant-Port-Ouest de Dunkerque et occupe les moyens niveaux de la zone intertidale soit 1,1 km<sup>2</sup> (voir carte). Le sédiment est principalement composé de sables moyens (77%), de sables fins (18%) et de sables grossiers (2%) auxquels s'ajoutent 3% de pélites (Tableau 3 et Figure 11).

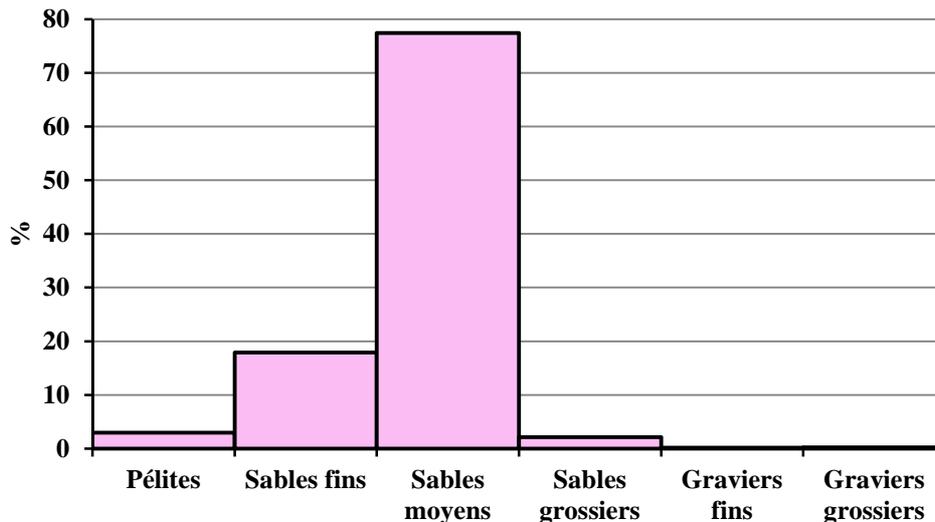


Figure 11. Granulométrie typique de la communauté de sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes A2.242

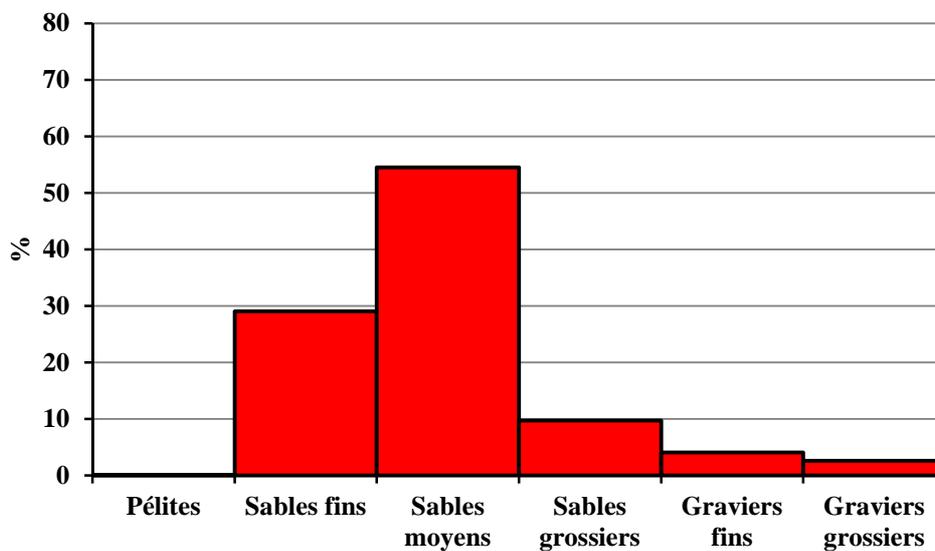
La richesse spécifique et la diversité spécifique de la communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes sont importantes ( $17,5 \pm 4,9$  espèces recensées en moyenne et une diversité de  $2,67 \pm 0,08$ ) par rapport aux autres communautés présentes sur notre littoral. Les densités et biomasses sont également élevées ( $4749 \pm 3698$  ind.m<sup>-2</sup> et  $12,80 \pm 10,80$  g.m<sup>-2</sup>; Tableau 2). Cette communauté se caractérise par la présence de Mollusques Bivalves comme *Cerastoderma edule* et *Macoma balthica*, et de Polychètes tels que *Eteone longa*, *Pygospio elegans*, *Phyllodoce mucosa* et *Capitella capitata* (Figure 12).



Figure 12. (a) Les moyens niveaux de l'Avant-Port-Ouest de Dunkerque colonisés par la communauté des sables envasés intertidaux à *Cerastoderma edule* et Polychètes A2.242 (Avant-Port-Ouest de Dunkerque, © Céline Rolet), (b) le Polychète *Eteone longa* (taille 25-60 mm ; © Céline Rolet), (c) la coque *Cerastoderma edule* (taille 50 mm ; © GEMEL Picardie), (d) les Polychètes *Capitella capitata* (taille 20-100 mm ; © Hans Hillewaert) et (e) *Pygospio elegans* (taille 10-15 mm ; © fyu.fi)

## **F- La communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* (A2.244)**

Cette communauté est représentée par une petite zone (0,3 km<sup>2</sup>) située dans les hauts niveaux d'une partie de la plage du Casino de Oye-Plage (voir carte). Les sédiments contiennent une part plus importante de particules grossières par rapport aux sédiments des autres communautés : 54% de sables moyens, 10% de sables grossiers, 4% de graviers fins et 3% de graviers grossiers. Les sables fins sont représentés à 29% et les pélites sont présentes en faible proportion (0,1% ; Tableau 3 et Figure 13).



**Figure 13. Granulométrie typique de la communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* A2.244**

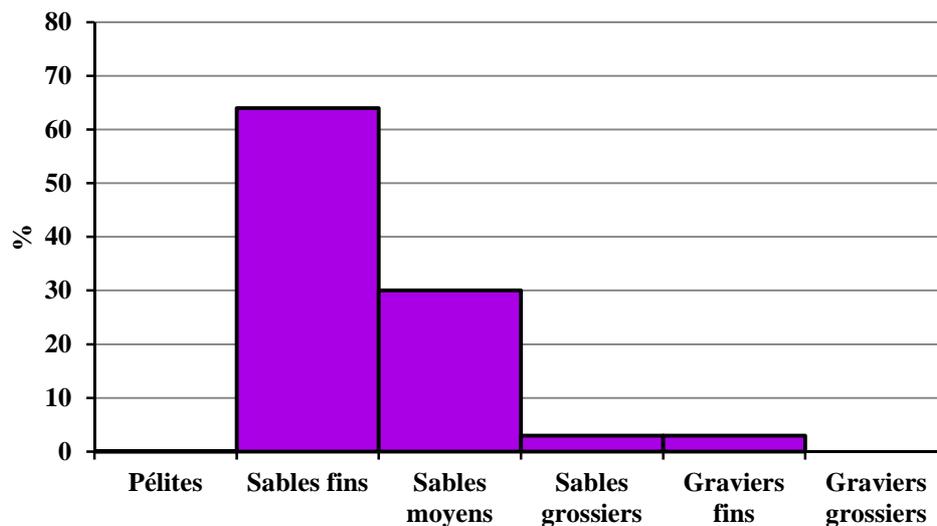
La communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium*, tout comme la zone de dessiccation A2.21, présente une faible diversité spécifique ( $H = 0,73 \pm 1,03$ ). La richesse spécifique, les densités et biomasses moyennes y sont également réduites (2 espèces recensées en moyenne, 47 ind.m<sup>-2</sup> et 0,07 ± 0,09 g.m<sup>-2</sup> ; Tableau 2). Peu d'espèces sont donc rencontrées dans cette communauté située dans les hauts niveaux de plage. Le Crustacé Amphipode *Corophium arenarium*, le Mollusque Gastéropode *Peringia ulvae* et des larves d'insectes ont été échantillonnés au sein de cette communauté (Figure 14). Bien qu'il n'ait pas été échantillonné lors des campagnes de prélèvement, la présence du Crustacé Amphipode *Bathyporeia pilosa* dans cette communauté est attestée (C. Rolet, observation personnelle).



Figure 14. (a) Les hauts niveaux de la plage du Platier d'Oye colonisés par la communauté des sables envasés intertidaux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* A2.244 (Oye-Plage, © Céline Rolet), les Amphipodes caractéristiques de cette communauté (b) *Corophium arenarium* (taille 7 mm ; © Marc Cochu) et (c) *Bathyporeia pilosa* (taille 6 mm ; © Hans Hillewaert) et (d) le Gastéropode *Peringia ulvae* (taille 6 mm ; © G & Ph Poppe)

## **G- La communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* (A2.245)**

Cette communauté est présente dans les ports de Dunkerque et de Boulogne-sur-Mer mais également au centre de la baie de Canche (voir cartes). Elle est principalement localisée dans les bas niveaux de l'estran des zones abritées. Le sédiment où se développe cette communauté est composé en majorité de sables fins (64%) et de sables moyens (30%). Une fraction de particules plus grossières est également présente au sein de ce sédiment (3% de sables grossiers et 3% de graviers fins) (Tableau 3 et Figure 15).



**Figure 15. Granulométrie typique de la communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* A2.245**

Vingt-six espèces différentes ont été recensées dans cette communauté ( $7,1 \pm 4,7$  espèces). La diversité est relativement importante ( $H = 1,48 \pm 0,73$ ). Les densités sont fortes avec en moyenne  $3132 \pm 5565 \text{ ind.m}^{-2}$ , tout comme la biomasse ( $5,17 \pm 8,27 \text{ g.m}^{-2}$ ; Tableau 2). Les espèces principalement rencontrées sont des Polychètes tels que *Lanice conchilega*, *Capitella capitata* et *Notomastus latericeus*. Les Mollusques Bivalves *Macoma balthica* et *Abra alba* ainsi que la crevette grise *Crangon crangon* sont également recensés (Figure 16). L'Annélide Polychète *Lanice conchilega* peut présenter des densités élevées ; les tubes formés par ce ver sont alors visibles à la surface du sédiment (Figure 17).

La communauté A2.245 couvre  $0,85 \text{ km}^2$  de la zone intertidale du Nord - Pas-de-Calais (0,80% de la surface totale).



Figure 16. (a) Les bas niveaux des ports colonisés par la communauté des sables intertidaux à *Lanice conchilega* A2.245 (Avant-Port-Ouest de Dunkerque, © Céline Rolet), (b) le Polychète *Lanice conchilega* (taille 250-300 mm ; © Hans Hillewaert), (c) la crevette grise *Crangon crangon* (taille 90 mm ; © Hans Hillewaert) et les Polychètes (d) *Phyllodoce mucosa* (taille 100 mm ; © Hans Hillewaert) et (e) *Capitella capitata* (taille 20-100 mm ; © Hans Hillewaert)



**Figure 17. Tubes de l'Annélide Polychète *Lanice conchilega*, espèce représentative de la communauté A2.245 et pouvant présenter des densités très élevées (© Christophe Luczak)**

Les **substrats rocheux A1**, sur le littoral Nord - Pas-de-Calais, représentent 3,3 km<sup>2</sup> (soit 3% de la surface intertidale totale). Ils sont localisés au niveau de Equihen-plage, Le Portel, de Wimereux jusqu'au Cap Gris-Nez et du Cap Gris-Nez au Cap Blanc-Nez.

## Bibliographie

- 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, série D*, 280 : 571-574.
- 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, série D*, 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, série D*, 280 : 209-212.
- Clarke, K.R. et Warwick, R.M. (2001).** Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth.
- Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L., Lieberknecht, L.M., Northen, K.O. et Reker, J.B. (2004)** The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05 JNCC, Peterborough ISBN 1 861 07561 8 (internet version: [www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification](http://www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification)).
- Davies, C.E., Moss, D. et Hill, M.O. (2004).** EUNIS habitat classification revised 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. European Environment Agency. 307 pp.
- Davoult, D. (1983).** Etude du benthos intertidal entre Calais et l'Aa. *Mémoire de DEA, USTL/ Station Marine de Wimereux* : 36 pp.
- Davoult, D., Dewarumez, J.M., Prygiel, J. et Richard, A. (1988).** Carte des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord. *Carte et notice explicative. Station Marine de Wimereux* : 30 pp.
- Degraer, S., Volckaert, A. et Vincx, M. (2003).** Macrobenthic zonation patterns along a morphodynamical continuum of macrotidal, low tidebar: rip and ultra-dissipative sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56: 459-468.
- 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.
- Foveau, A. (2009).** Habitats et communautés benthiques du bassin oriental de la Manche : état des lieux au début du XXIème siècle. *Thèse de Doctorat de l'Université de Lille 1* : 308 pp.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D. et Luczak, C. (2008).** Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution. *Dunod*, Paris, 558 pp.
- Galparsoro, I., Connor, D-W., Borja, Á., Aish, A., Amorim, P., Bajjouk, T., Chambers, C., Coggan, R., Dirberg, G., Ellwood, H., Evans, D., Goodin, K-L., Grehan, A., Haldin, J., Howell, K., Jenkins, C., Michez, N., Mo, G., Buhl-Mortensen, P., Pearce, B., Populus, J., Salomidi, M., Sánchez, F., Serrano, A., Shumchenia, E., Tempera, F. et Vasquez, M. (2012).** Using EUNIS habitat classification for benthic mapping in European seas: Present concerns and future needs. *Marine Pollution Bulletin*, 60 (12): 2187-2196.
- Gentil, F. et Cabioch, L. (1997).** Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et Manche centrale sud : 18 pp + carte.

- Godet, L., Fournier, J., Toupoint, N. et Olivier, F. (2009).** Mapping and monitoring intertidal benthic habitats: a review of techniques and a proposal for a new visual methodology for the European coasts. *Progress in Physical Geography*, 33 : 378-402.
- ICES (1986).** Fifth report on the Benthos Ecology Group. *I.C.E.S, Ostende, 12-15 may, CM, L.27*, 33 pp.
- Larsonneur, C. (1977).** La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français. Méthode mise au point et utilisée en Manche. *Journal de Recherche Océanographique*, 2 : 33-39.
- Legendre, P. et Legendre, L. (2012).** Numerical Ecology. Third English edition. Elsevier, Amsterdam, 990 pp.
- Prygiel, J., Davault, 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, série II* : 5-10.
- R Core Team (2013).** R : A language and environment for statistical computing. *Foundation for Statistical Computing*. Available from <http://www.r-project.org/>
- Richard, A., Souplet, A., Dewarumez, J.M., Chamley, H. et Colbeaux, J.P. (1980).** Etude préalable à l'extension portuaire de Calais (Bionomie – Sédimentologie). *Rapport d'étude. USTL / Station Marine de Wimereux. Laboratoire de sédimentologie* : 17 pp.
- Souplet, A. et Dewarumez, J.M. (1980).** Les peuplements benthiques du littoral de la région de Dunkerque. *Cahiers de Biologie Marine*, 21 : 23-39.
- 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 belge. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, série D*, 290 : 627-630.

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire d’Océanologie et de Géosciences (LOG), UMR CNRS 8187, Université de Lille 1 – Station Marine par des chercheurs de l’équipe « Biodiversité et Climat ». Il s’insère dans le projet MACROFONE « Les communautés **MACRO**zoobenthiques des sédiments meubles intertidaux du Nord - Pas-de-Calais : structure et **FON**ctionnement **E**cologiques, relations avec l’avifaune hivernante », financé par la Région Nord - Pas-de-Calais et par la Fondation de la Recherche sur la Biodiversité (FRB 2013-2015) en partenariat avec Eden 62 et le Conservatoire Faunistique Régional (CFR).



## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail, en fournissant leurs données de terrain et/ou en ayant participé aux campagnes de prélèvements en 2012 :

Sandrine Alizier, Katia Butelle, Thierry Caron, Muriel Crouvoisier, Dominique Davoult, Jean-Claude Dauvin, Gaspard Delebecq, Nicolas Desroy, Juliette Fouquet, Eric Goberville, Mikaël Jaffré, Julien Lanshere, Guillaume Legallais, Thomas Luczak, Antoine Meirland, Dominique Menu, Michel Priem, Thierry Ruellet, Virginie Serreau, Jean-Denis Talleux et Carole Vallet.

Un grand merci au Dr Hans Hillewaert, à Marc Cochu et Florence Gully pour leurs photographies concernant la macrofaune benthique.

## Crédits photographiques

Céline Rolet

Hans Hillewaert

Christophe Luczak

Marc Cochu et Florence Gully

GEMEL Picardie

## Citation bibliographique

Rolet, C., Luczak, C., Spilmont, N. et Dewarumez, J-M. (2014). Cartographie des communautés benthiques intertidales des substrats meubles de la région Nord – Pas-de-Calais. Laboratoire d’Océanologie et de Géosciences UMR CNRS LOG 8187, Wimereux, 33 pp + 2 cartes.

## ANNEXE 1 : Analyses statistiques pour la détermination des communautés macrobenthiques

Afin d'identifier les communautés macrobenthiques, nous avons utilisé un couplage entre une ordination multidimensionnelle (définissant gradients et groupes) et une classification (identifiant les groupes et les ruptures entre ces derniers) (Clarke & Warwick, 2001 ; Legendre & Legendre, 2012).

Une classification ascendante hiérarchique (représentée sous forme de dendrogramme) et une ordination multidimensionnelle non métrique (nMDS) ont été réalisées à partir d'une matrice de distance utilisant la métrique de Bray-Curtis. Cette matrice a été calculée sur les données de densité ( $\text{ind.m}^{-2}$ ) préalablement transformées par la fonction double racine carrée ( $\sqrt{\sqrt{x}}$ ) afin de modérer l'influence des espèces dominantes.

Les groupes issus de la méthode des liens moyens projetés sur le plan 1-2 de l'ordination multidimensionnelle non métrique (nMDS) ont permis d'identifier les différentes communautés macrobenthiques présentes le long du littoral Nord - Pas-de-Calais (Figure 1).

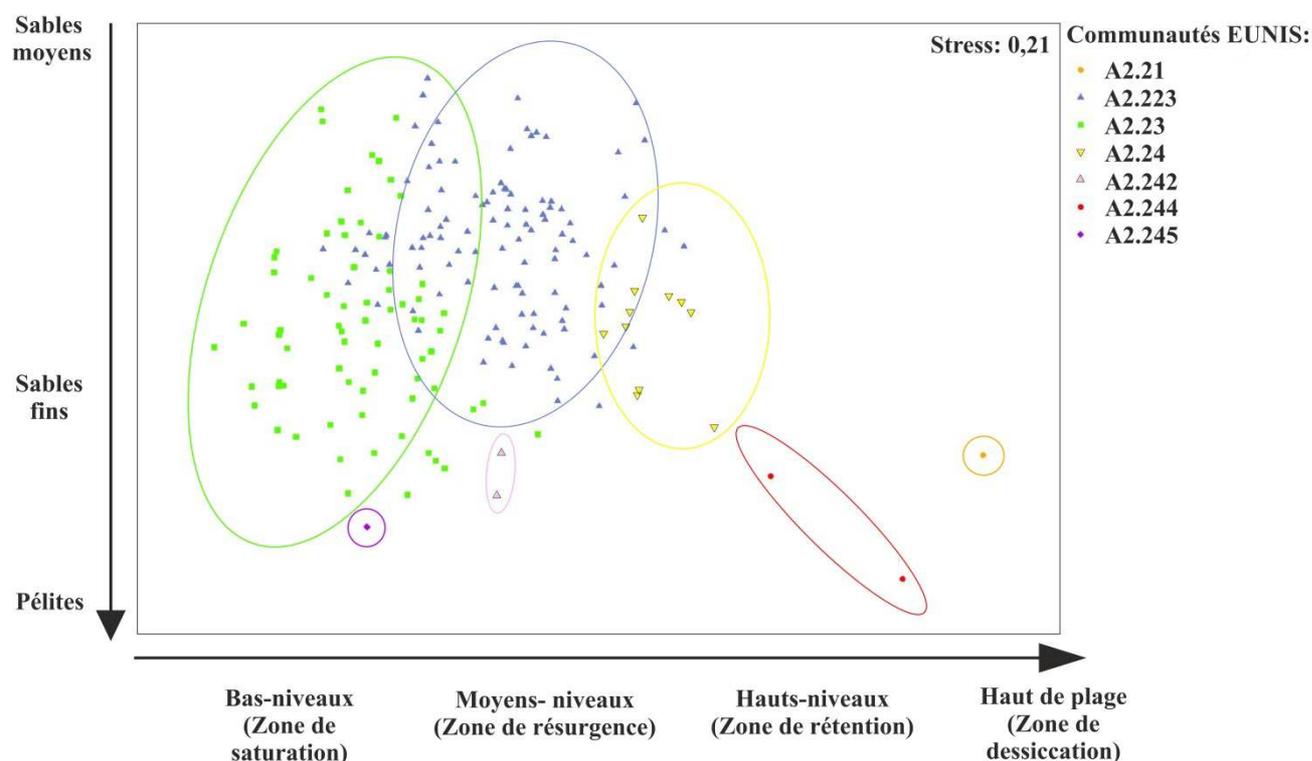


Figure 1. nMDS permettant l'identification des différentes communautés benthiques et la mise en évidence des gradients bas de plage/haut de plage et sables moyens/pélites. Analyse réalisée sur les données de densités de macrofaune des stations échantillonnées sur les plages du littoral Nord - Pas-de-Calais. Les groupes sont issus de la classification basée sur la même matrice de distance. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2013).

**ANNEXE 2 : Liste des espèces recensées pour chacune des communautés  
présentes sur le littoral de la région Nord - Pas-de-Calais**

Espèces recensées	A2.21	A2.223	A2.23	A2.24	A2.242	A2.244	A2.245
<b>Annélides Polychètes</b>							
<i>Aonides oxycephala</i>		X					
<i>Arenicola marina</i>		X	X	X	X		X
<i>Capitella capitata</i>	X	X	X	X	XXX		X
<i>Cautleriella alata</i>		X	X				
<i>Chaetozone christei</i>		X	X				
<i>Chaetozone gibber</i>					X		X
<i>Eteone longa</i>		X	X	X	X		
<i>Eumida sanguinea</i>			X				
<i>Eunereis longissima</i>		X			X		X
<i>Glycera tridactyla</i>		X	X				
<i>Hediste diversicolor</i>	X	X		XX			
<i>Heteromastus filiformis</i>		X	X	X	X		
<i>Hilbigneris gracilis</i>			X				
<i>Lanice conchilega</i>		X	X	X	X		XXX
<i>Magelona alleni</i>			X				
<i>Magelona johnstoni</i>			X				
<i>Magelona mirabilis</i>		X	X	X			
<i>Malmgreniella arenicolae</i>							X
<i>Nephtys assimilis</i>			X				
<i>Nephtys caeca</i>		X	X				
<i>Nephtys cirrosa</i>		X	XXX	X	X		X
<i>Nephtys hombergii</i>		X	X	X	X		X
<i>Notomastus latericeus</i>					X		X
<i>Ophelia celtica</i>				X			
<i>Ophelia rathkei</i>		X					
<i>Paraonis fulgens</i>		X	X				
<i>Phyllodoce laminosa</i>			X				X
<i>Phyllodoce mucosa</i>		X	X		XX		
<i>Poecilochaetus serpens</i>							X
<i>Pygospio elegans</i>	XX	X	X	XXX	XXX		X
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>	XX	XXX	XX	X			X
<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>			X				X
<i>Sigalion mathildae</i>			X				
<i>Spio martinensis</i>		X	XXX	X			X
<i>Spiophanes bombyx</i>		X	X	X	X		X
<i>Syllidae spp.</i>			X				

Espèces recensées	A2.21	A2.223	A2.23	A2.24	A2.242	A2.244	A2.245
<b>Mollusques Bivalves</b>							
<i>Abra alba</i>		X	X				X
<i>Angulus fabula</i>			X				
<i>Angulus tenuis</i>		X	X				
<i>Cerastoderma edule</i>		X	X	X	X		X
<i>Donax vittatus</i>		X	XX				X
<i>Ensis directus</i>		X	X				
<i>Ensis magnus</i>			X				
<i>Kurtiella bidentata</i>					X		
<i>Macoma balthica</i>	X	X	X	X	XX		X
<i>Mya arenaria</i>				X			
<i>Mya truncata</i>				X			
<i>Mytilus edulis</i>		X					
<i>Petricolaria pholadiformis</i>				X			
<i>Scrobicularia plana</i>				X	X		
<i>Spisula solida</i>		X	X	X			
<i>Tellimya ferruginosa</i>			X				
<b>Mollusques Gastéropodes</b>							
<i>Buccinum undatum</i>							X
<i>Nassarius reticulatus</i>							X
<i>Peringia ulvae</i>	X	XX	X	XXX	X	XXX	
<b>Crustacés Amphipodes</b>							
<i>Amphilocheus neapolitanus</i>			X				
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>		X					
<i>Bathyporeia pelagica</i>		X	XX	X			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		XXX	X	XX			X
<i>Bathyporeia sarsi</i>	X	XX	X	X	X		X
<i>Calliopis laeviusculus</i>		X					
<i>Corophium arenarium</i>		XX	X	XXX	XXX	XXX	
<i>Corophium volutator</i>				X			
<i>Deshayesorchestia deshayesii</i>	X						
<i>Gammarus finmarchicus</i>			X				
<i>Gammarus zaddachi</i>		X	X				
<i>Haustorius arenarius</i>		XX	XX	X			X
<i>Leucothoe incisa</i>			X				
<i>Nototropis falcatus</i>			X				
<i>Nototropis swammerdamei</i>	X	X	X				
<i>Orchestia gammarellus</i>	X						
<i>Photis longicaudata</i>			X				
<i>Pontocrates altamarinus</i>		X	X				
<i>Pontocrates arenarius</i>		X	X				
<i>Talitrus saltator</i>	X	X					
<i>Urothoe brevicornis</i>			X				
<i>Urothoe poseidonis</i>		X	XX	X	XX		

Espèces recensées	A2.21	A2.223	A2.23	A2.24	A2.242	A2.244	A2.245
<b>Crustacés Isopodes</b>							
<i>Eurydice affinis</i>		x	x	x			
<i>Eurydice pulchra</i>	xx	xxx	x	x			
<i>Idotea pelagica</i>			x				
<i>Lekanesphaera monodi</i>		x					
<i>Ligia oceanica</i>	x						
<b>Crustacés Mysidacés</b>							
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	x	x	x				
<i>Schistomysis spiritus</i>			x				
<b>Crustacés Cumacés</b>							
<i>Cumopsis goodsir</i>		x	xx				
<i>Cumopsis longipes</i>			x				
<i>Pseudocuma (Pseudocuma) longicorne</i>			x				
<i>Vaunthompsonia cristata</i>			x				
<b>Crustacés Décapodes</b>							
<i>Anapagurus hyndmanni</i>			x				
<i>Carcinus maenas</i>		x	x	x	x		
<i>Crangon allmanni</i>			x	x			
<i>Crangon crangon</i>		x	x	x	x		x
<i>Diogenes pugilator</i>			x				
<i>Liocarcinus depurator</i>			x				
<i>Liocarcinus holsatus</i>			x				
<i>Liocarcinus navigator</i>			x				
<i>Liocarcinus pusillus</i>			x				
<i>Palaemon serratus</i>		x			x		
<i>Pinnotheres pisum</i>			x				
<i>Portumnus latipes</i>		x	x				
<b>Echinodermes</b>							
<i>Ophiura albida</i>		x	x				
<i>Ophiura ophiura</i>		x					
<b>Pycnogonides</b>							
<i>Nymphon brevirostre</i>			x				
<b>Divers</b>							
<i>Poissons</i>			x				
<i>Insectes</i>	x	x		x		xxx	
<i>Nématodes</i>		x	x				
<i>Némertes</i>		x	x	x			
<i>Oligochètes</i>	xxx	x	x	x			
<b>Nombre total d'espèces recensées</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>37</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>26</b>

x: recensée

xx: abondance de l'espèce > 5%

xxx: abondance de l'espèce > 10%

x: recensée à la transition entre deux communautés macrobenthiques mais non caractéristique de la zone