



IFREMER, Océanographie et Dynamique des Ecosystème
Unité littoral
Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Nord
Station de Dinard
Centre de Recherche et d'Etudes des Systèmes COTiers (CRESCO)

Ifremer/ODE/LITTORAL/LERBN-15-011

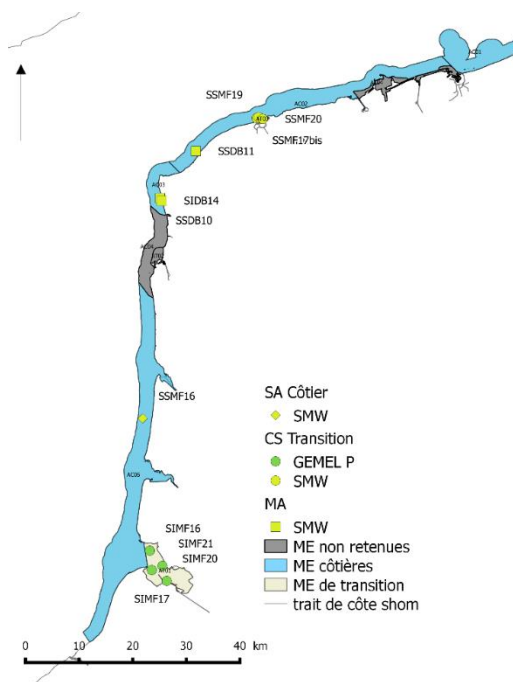
Coordination: Aurélie Garcia (MNHN), Nicolas Desroy (Ifremer),
Patrick Le Mao (Ifremer).

Participants :



Contrôle de surveillance benthique de la
Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) :
ANNEE 2014

➤ **District Artois-Picardie**



Décembre 2015

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : Décembre 2015
Validé par : Adresse électronique :		nombre de pages : 45 p. + annexes
		bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : français
Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2014 – District Artois-Picardie		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Aurélie Garcia Desroy Nicolas Le Mao Patrick		Ifremer/ODE/UNITE LITTORAL/LERBN – 15-011
Cadre de la recherche : Soutien à la Directive Cadre Eau		
Destinataires : Agence de l'eau Artois-Picardie, DIREN Nord-Pas de Calais et Picardie, Rehent		
Résumé Ce rapport présente les résultats des opérations menées en 2014, sur l'ensemble des masses d'eau côtières et de transition rattachées au district Artois-Picardie.		
Abstract This report deals with results of monitoring carried out in 2014 for the area concerned by the Artois-Picardie water district.		
Mots-clés Directive Cadre Eau, Benthos, Réseau de surveillance, Manche		
Keys words European Water Framework Directive, Benthos, Monitoring Network, English Channel		

Paramètre	Tâche	Participant
Macroinvertébrés de substrats meubles	Prélèvements	Vincent BOUCHET (LOG) Muriel CROUVOISIER (LOG) Dominique MENU (LOG) Marie-Caroline GOURMELON (LOG) Dimitri COLLARD (LOG) Thierry RUELLET (GEMEL) Jean-Denis TALLEUX (GEMEL)
	Analyses laboratoire	Vincent BOUCHET (LOG) Muriel CROUVOISIER (LOG) Dominique MENU (LOG) Marie-Caroline GOURMELON (LOG) Dimitri COLLARD (LOG) Jean-Denis TALLEUX (GEMEL)
	Bancarisation des données	Aurélie GARCIA (MNHN D)
	Rédaction	Aurélie GARCIA (MNHN D)
Macroalgues de substrats durs	Prélèvements	François GEVAERT (LOG), Gwendoline DUONG (LOG), Dominique MENU (LOG)
	Analyses laboratoire	François GEVAERT (LOG), Dominique MENU (LOG)
	Bancarisation des données	Emilie GAUTHIER (Ifremer)
	Calcul indicateur	François GEVAERT (LOG), Michel LE DUFF (IUEM), Aodren LE GAL (MNHN C)
	Rédaction	François GEVAERT (LOG)

SOMMAIRE

1 RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBLIGATIONS IMPOSEES PAR LA DIRECTIVE EUROPEENNE CADRE SUR L'EAU	1
1.1 Rappel des attendus relatifs aux éléments de qualité biologique du benthos marin pour la DCE (Guillaumont et al., 2005).....	1
1.2 Rappel des caractéristiques des masses d'eau du district côtier Artois-Picardie.....	2
1.3 Partenaires de la mise en œuvre de la surveillance du compartiment benthique en Artois-Picardie.....	2
2 SUIVI STATIONNEL DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DE SUBSTRATS MEUBLES	4
2.1 Objectif de l'étude	4
2.2 Stratégie générale	4
2.3 Qualification biologique des masses d'eau côtières.....	8
2.4 Résultats.....	10
2.5 Calcul de l'indice.....	19
3 SUIVI STATIONNEL DES MACROALGUES INTERTIDALES DE SUBSTRAT DUR.....	21
3.1 I. Examen des données brutes.....	23
4 SUIVI STATIONNEL DES MACROALGUES SUBTIDALES DE SUBSTRAT DUR.....	29
4.1 Relevés sur le site d'Audresselles (AC03-SSDB10).....	31
4.2 Relevés sur le site de Wissant (Les Wardes AC02-SSDB11).....	35
5 SYNTHÈSE 2014 DES INDICES BENTHIQUES.....	41
6 OPERATIONS PROGRAMMEES EN 2015 ET 2016	43
7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
8 ANNEXES.....	46

1 RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBLIGATIONS IMPOSEES PAR LA DIRECTIVE EUROPEENNE CADRE SUR L'EAU

1.1 RAPPEL DES ATTENDUS RELATIFS AUX ELEMENTS DE QUALITE BIOLOGIQUE DU BENTHOS MARIN POUR LA DCE (GUILLAUMONT ET AL., 2005)

L'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) nécessite la mise en place de contrôles pour évaluer l'état écologique des Masses d'eau côtières et de transition avec comme objectif l'atteinte du bon état en 2015. L'ensemble des eaux côtières, dont la limite extérieure s'établit à 1 mille de la ligne de base, et des eaux de transition, correspondant aux eaux de surface situées près des embouchures de rivières/fleuves et partiellement salines mais influencées par les eaux douces, a fait l'objet d'un découpage en Masses d'Eau. Ces Masses d'Eau ont été définies en fonction de leurs caractéristiques physiques ainsi que des pressions qui s'y exercent.

Sur ces Masses d'Eau, différents types de contrôle peuvent être exercés :

- le **contrôle de surveillance**, appliqué sur une sélection de Masses d'Eau considérées comme représentatives en se référant à la typologie préétablie. Les objectifs de cette surveillance sont de « (...) *concevoir de manière efficace et valable les futurs programmes de surveillance, évaluer les changements à long terme des conditions naturelles, évaluer les changements à long terme résultant d'une importante activité anthropique.* » (Annexe V – art. 1.3.1) ;
- le **contrôle opérationnel**, appliqué sur les Masses d'Eau présentant un Risque de Non Atteinte du Bon Etat Ecologique (RNABE) d'ici 2015, afin d'en établir l'état et d'en évaluer les changements dus aux programmes de mesure mis en place ;
- le **contrôle additionnel**, requis pour les zones protégées (notamment les zones de protection d'habitat et/ou d'espèces résultant des directives européennes "Oiseaux" et "Habitats", risquant de ne pas répondre à leurs objectifs environnementaux) ;
- le **contrôle d'enquête**, appliqué aux Masses d'Eau présentant un RNABE pour des raisons inconnues, ainsi qu'aux zones touchées par des pollutions accidentelles, pour lesquelles le benthos est un indicateur privilégié de l'ampleur et de l'incidence des contaminations.

L'article 1.1.4 de l'annexe V de la DCE précise les paramètres biologiques qui participent à l'évaluation de l'état écologique des Masses d'eau côtières. Ces derniers se réfèrent à la composition, l'abondance et la biomasse du phytoplancton, à la composition et l'abondance de la flore aquatique (autre que le phytoplancton) et à la composition et l'abondance de la faune benthique invertébrée.

Dans le cadre du contrôle de surveillance du compartiment benthique, la végétation benthique (macroalgues et angiospermes), ainsi que les macroinvertébrés benthiques, doivent obligatoirement être pris en considération.

Pour les contrôles opérationnels, les éléments les plus sensibles seront retenus : "(...) *afin d'évaluer l'ampleur des pressions auxquelles les masses d'eau de surface sont soumises, les États membres contrôlent les éléments de qualité qui permettent de déterminer les pressions*

auxquelles la ou les masses sont soumises. Afin d'évaluer l'incidence de ces pressions, les États membres contrôlent (...) les paramètres permettant de déterminer l'élément de qualité biologique ou les éléments qui sont les plus sensibles aux pressions auxquelles les masses d'eau sont soumises (...)"

A partir du texte de la DCE, des travaux de réflexion ont été conduits au niveau européen (travaux du groupe COAST, aboutissant notamment à des recommandations générales consignées dans le rapport *Guidance on monitoring* destiné à guider les stratégies à mettre en œuvre dans chaque pays, travaux des groupes informels d'intercalibration NEA GIG), chaque pays restant libre de définir la stratégie de surveillance la plus adaptée, avec toutefois un impératif d'intercalibration sur le classement relatif à l'état écologique des Masses d'Eau défini selon cinq niveaux (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais - Art. 1.2. de l'annexe V de la DCE).

1.2 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DES MASSES D'EAU DU DISTRICT COTIER ARTOIS-PICARDIE

Le district côtier Artois-Picardie est composé de cinq masses d'eau côtières et de quatre masses d'eau de transition (Figure 1). Au total, quatre masses d'eau côtières ont été retenues pour le contrôle de surveillance ainsi que deux masses d'eau de transition (*cf.* Guérin *et al.*, 2007 pour la présentation des caractéristiques générales et biologiques des masses d'eau).

1.3 PARTENAIRES DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE DU COMPARTIMENT BENTHIQUE EN ARTOIS-PICARDIE

Au vu de la charge de travail et de l'étendue du linéaire, la présente étude n'aurait pu exister sans la collaboration depuis 2007 de différents acteurs locaux.

Afin d'assurer la bonne réalisation du contrôle de surveillance en 2014, deux partenaires ont été sollicités (Tableau 1) pour le suivi de l'élément de qualité « Macroinvertébrés de substrats meubles » et un pour l'élément de qualité « Flore autre que phytoplancton ».

Tableau 1 : Répartition entre partenaires des paramètres et sites de prélèvements.

Partenaires	Paramètres	Sites
Groupe d'Etude des Milieux Estuarien et Littoraux	Macroinvertébrés	SIMF16
		SIMF17
		SIMF20
		SIMF21
		SSMF16
Laboratoire d'Océanographie et de Géosciences	Macroinvertébrés	SSMF17
		SSMF17 bis
		SSMF19
		SSMF20
		SIDB14
		SSDB10
	Macroalgues	SSDB11

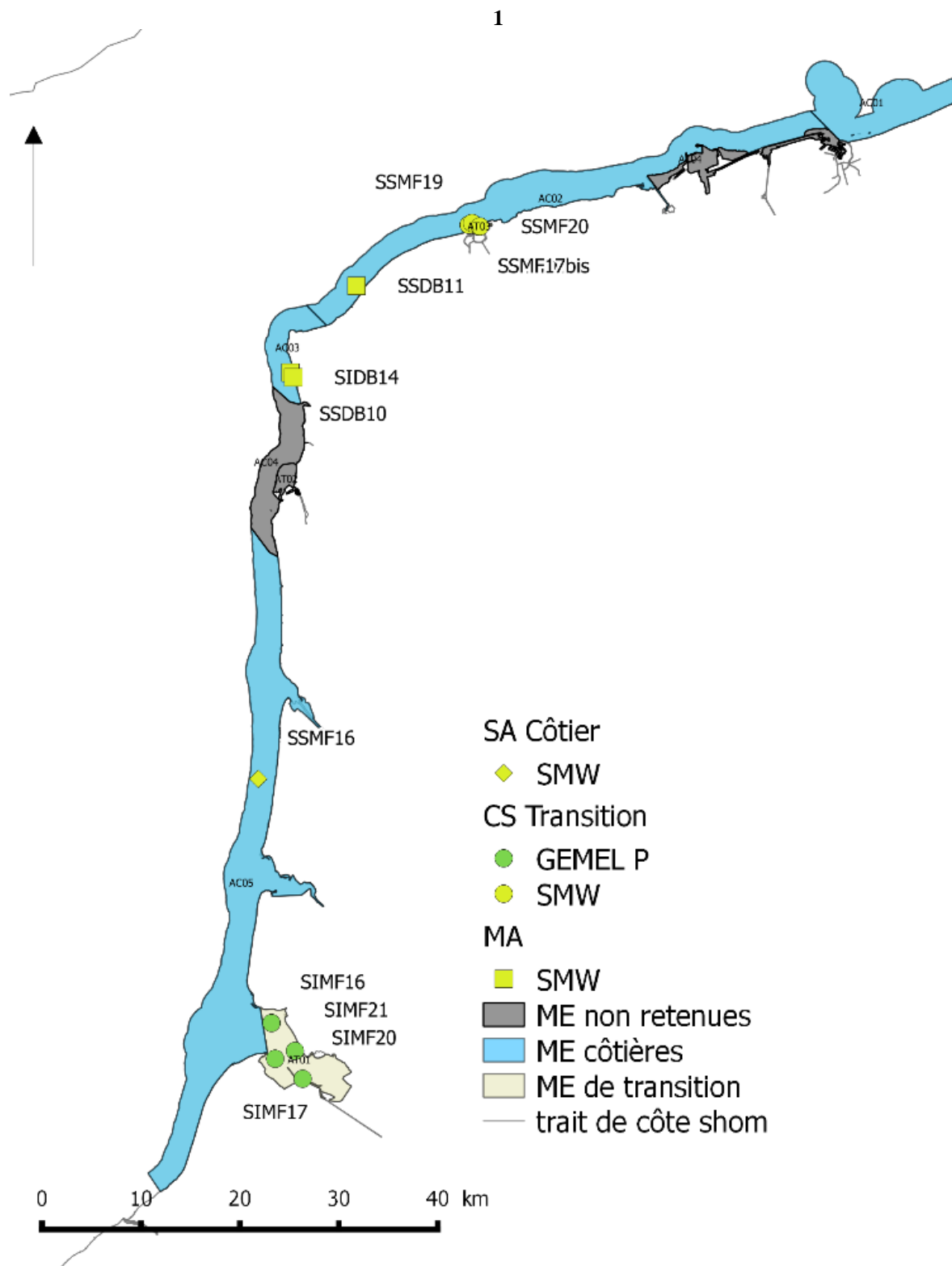


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage des l'éléments de qualité « Macroinvertébrés de substrats meubles » et « Flore autre que phytoplancton » lors du suivi 2014

2 SUIVI STATIONNEL DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DE SUBSTRATS MEUBLES

2.1 OBJECTIF DE L'ETUDE

L'étude porte sur le suivi des communautés d'invertébrés benthiques des masses d'eau du district Artois-Picardie et l'évaluation de leur qualité biologique. Les macroinvertébrés benthiques constituent en effet d'excellents intégrateurs et indicateurs de l'état général du milieu et peuvent permettre notamment, grâce à certains organismes sensibles, d'identifier et de quantifier les pressions d'origine anthropique qui s'exercent sur ces masses d'eau. Les paramètres de l'élément de qualité "invertébrés benthiques" permettant de définir l'état écologique sont :

- le niveau de diversité et d'abondance des taxa (...);
- les taxa sensibles aux perturbations (...).

Afin de compléter le contrôle de surveillance des communautés d'invertébrés benthiques ayant lieu une fois tous les trois ans, un réseau de sites appelés "sites d'appui" a été mis en place avec une fréquence annuelle d'échantillonnage. Ces prélèvements intermédiaires sur un nombre limité de sites distribués le long des côtes de la Manche et de l'Atlantique ont pour but de fournir une information quant à la variabilité spatio-temporelle des communautés benthiques. A cette échelle d'espace, il sera possible de savoir si une divergence observée par rapport à un état initial est de cause naturelle ou non.

2.2 STRATEGIE GENERALE

En 2014, la totalité des sites localisés en eaux de transition a fait l'objet d'un suivi. Ainsi, quatre sites subtidaux et quatre sites intertidaux ont été échantillonnés (au printemps pour les sites situés dans les masses d'eau côtières et à l'automne pour les sites situés dans les masses d'eau de transition). Les coordonnées des sites sont présentées en annexe 1. Un cinquième site subtidal (SSMF16), appartenant au réseau des sites d'appui des eaux côtières a également été suivi. Le site SSMF16 situé en face de la commune de Merlimont, est considéré comme site d'appui depuis 2013.

Dans un souci de calibration des méthodes d'acquisition et de qualité de la donnée, le GEMEL et le LOG ont utilisé les protocoles pour l'observation de la macrofaune benthique et l'analyse sédimentologique, conduites par la fiche n°10 des « Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE » (Guillaumont & Gauthier, 2005), les circulaires de surveillance (Guérin et Desroy, 2008) et de la norme ISO/FDIS 16665 : 2005.

Tableau 1 : Précision sur l'échantillonnage des sites d'appui en 2013

	Site	Code Masse d'eau	Date	Engin d'échantillonnage	Nombre de prélèvements
SUB	SSMF16 – Merlimont SM	AC05	21/05/2014	Benne Van Veen (0,1 m ²)	5
	SSMF 17 – Calais SM	AT03M	16/05/2014		
	SSMF 17 bis – Calais SM	AT03M			
	SSMF19 – CALPORext – Calais SM	AT03M	10/09/2014		
	SSMF19 – CALPORext – Calais SM	AT03M			
INT	SIMF16 – Le Crotoy IM	AT01	16/09/2014	Carottier à main (0,02m ²)	13
	SIMF17 – Cayeux IM	AT01	15/09/2014		
	SIMF20 – 3_25 – St Valery IM	AT01			
	SIMF21 – 5_18 – Le Crotoy IM	AT01	1/09/2014		

2.2.1 Prélèvements et analyses biologiques

La macrofaune benthique a été échantillonnée en domaine subtidal à l'aide d'une benne Van Veen (0,1m²) à raison de cinq répliqués. En domaine intertidal, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un carottier à main, à raison de huit répliqués. Le nombre de répliqués et les dates de prélèvement sont résumés dans le Tableau 1.

Les prélèvements ont été tamisés sur une maille ronde de 1 mm, puis les refus ont été fixés et conservés dans une solution de formaldéhyde (de 4 à 10%). Les organismes ont ensuite été déterminés et dénombrés spécifiquement. Certains groupes peuvent faire exception (Bryozoa, Chaetognatha, Copepoda, Ctenophora, Echiura, Hemichordata, Hydrozoa, Insecta, Nemertea, Nematoda, Oligochaeta, Ostracoda, Phoronida, Platyhelminthes, Pogonophora, Priapulida). Les noms d'espèces déterminées ont été actualisés selon le référentiel officiel international : Word Register of Marine Species (WoRMS).

2.2.2 Prélèvements et analyses sédimentaires

Un prélèvement supplémentaire de sédiment a été effectué au sein de chaque site afin de déterminer la distribution granulométrique du sédiment. Il a été réalisé par échantillonnage vertical avec un tube de 3 à 5 cm de diamètre sur 5 cm de profondeur en domaine intertidal. En domaine subtidal, le prélèvement est réalisé par sous-échantillonnage dans une benne additionnelle dédiée aux analyses sédimentaires.

Après désalinisation, le sédiment a été séché dans une étuve à 60°C pendant 48 heures. Pour les échantillons présentant une fraction fine (<63 µm) importante, le sédiment a été rincé sur un tamis AFNOR 63 µm ; la partie fine récupérée a été mise à sécher (60°C pendant 48h) pour obtenir le poids sec. Le refus de sédiment (> 63 µm) a ensuite été tamisé à sec sur une colonne vibrante de 26 tamis de maille décroissante (de 20 à 0,063 mm). Les refus de tamis ont été pesés au centième de gramme près.

Un second prélèvement de sédiment a également été réalisé dans chaque site selon le même procédé pour quantifier la teneur totale en matière organique. Il a été conservé à l'abri de la lumière au congélateur -20°C. Après décongélation, la teneur en matière organique des sédiments a été déterminée sur la fraction inférieure à 63 µm par la méthode de perte au feu : 1 heures à 550°C pour les analyses réalisées au LOG et 6 heures à 465°C pour celles effectuées par le GEMEL. La différence de poids, exprimée en pourcentage, indique la teneur en matière organique de la fraction inférieure à 63 µm de l'échantillon.

2.2.3 Traitement des données

Analyses sédimentaires

Les indices et paramètres granulométriques permettant de caractériser le sédiment ont été calculés grâce au package G2Sd développé par Gallon et Fournier (2014) :

- la texture du sédiment et les histogrammes de distributions des fréquences de classes granulométriques (classification de Blott et Pye, 2001)

Tableau 2 : Classification de Blott et Pye (GRADISTAT Program, 2001) comparée à celle utilisée par Udden (1914), Wentworth (1922) et Friedman et Sanders (1978).

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/μm	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program
			Very large boulders	
-11	2048 mm		Large boulders	Very large
-10	1024	Cobbles	Medium boulders	Large
-9	512		Small boulders	Medium
-8	256		Large cobbles	Small
-7	128		Small cobbles	Very small
-6	64			
-5	32	Pebbles	Very coarse pebbles	Very coarse
-4	16		Coarse pebbles	Coarse
-3	8		Medium pebbles	Medium
-2	4		Fine pebbles	Fine
-1	2	Granules	Very fine pebbles	Very fine
0	1	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
1	500 μm	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
2		Medium sand	Medium sand	Medium
3		Fine sand	Fine sand	Fine
4		Very fine sand	Very fine sand	Very fine
5	31	Silt	Very coarse silt	Very coarse
6	16		Coarse silt	Coarse
7	8		Medium silt	Medium
8	4		Fine silt	Fine
9	2		Very fine silt	Very fine
		Clay	Clay	Clay

- la médiane ou Q_{50} (paramètre de position) donne une estimation de la taille moyenne des grains,
- l'indice de Trask ou Sorting-Index : S_o (paramètre de dispersion) où Q_{25} et Q_{75} sont les quartiles.

Équation 1: indice de Trask

$$S_o(mm) = \sqrt{\frac{Q_{25}(mm)}{Q_{75}(mm)}}$$

Le sédiment est homogène pour un indice de 1. Le Tableau 3 issu de Fournier *et al.* (2012) récapitule les classements.

Tableau 3: Classement du sédiment en fonction de l'indice de Trask (So) (Fournier, 2012).

So	Classement
1 à 1,17	Très bien classé
1,17 à 1,20	Bien classé
1,20 à 1,35	Assez bien classé
1,35 à 1,87	Moyennement classé
1,87 à 2,75	Mal classé
> 2,75	Très mal classé

Analyse de la dynamique temporelle des communautés benthiques

Grâce à la mise en place, depuis 2007, du réseau de sites d'appui, il est maintenant possible de commencer à analyser de manière plus pertinente l'évolution temporelle de la composition des communautés benthiques.

De façon générale, les abondances d'espèces suivent une distribution asymétrique, certaines espèces pouvant atteindre des abondances telles qu'elles écrasent statistiquement la présence d'autres espèces. Lorsque nécessaire, la matrice des abondances a donc été transformée par la fonction racine carrée pour réduire l'importance des espèces très abondantes et donner d'avantage de poids aux espèces moins représentées, tout en conservant l'ordre de dominance entre les espèces communes (Thorne *et al.*, 1999).

Dans un premier temps, une analyse d'ordination par Positionnement Multidimensionnel non Métrique (n-MDS) des sites, a permis de visualiser leur répartition au travers de l'étagement (intertidal et subtidal) et du type de masse d'eau (côtier et de transition). Cette analyse est basée sur une matrice de distance de Bray-Curtis réalisée à partir des abondances moyennes des espèces rapportées à 0,1 m²

Une analyse MDS a permis de traduire dans un plan en deux dimensions les données de la matrice de distance entre les communautés benthiques des différents sites étudiés. De façon générale, plus les sites sont proches sur le graphique, plus les communautés sont similaires. Dans le cas d'une analyse n-MDS, le but est de représenter les distances entre les objets, en respectant l'ordre entre les proximités plutôt que leurs valeurs exactes.

Le regroupement des sites, représenté par la n-MDS au travers des différents facteurs, a été évalué au moyen d'une analyse de variance multivariée par permutation (PermAnova ; Anderson, 2005). Cette analyse permet de vérifier s'il existe une réelle différence entre ces facteurs. Cette méthode statistique non paramétrique est basée sur des permutations, elle s'absout donc des conditions d'applications normalement requises en statistique paramétrique comme par exemple la normalité des résidus (Anderson et Legendre, 1999). En fonction des résultats de la PermAnova, les modalités des facteurs significatifs seront traitées séparément.

Au sein de chaque facteur significatif, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) utilisant une matrice de similarité (1-D_{BC}, D_{BC} : dissimilarité de Bray Curtis) a permis de définir des groupes en utilisant un seuil de similarité arbitraire de 20%. La CAH consiste à regrouper les passages (année_site) les plus proches sous forme d'un dendrogramme, dont la longueur des branches représente la distance moyenne entre les passages et groupes de passages, c'est-à-dire leur pourcentage de similarité. La pertinence de la différenciation des groupes a été évaluée à l'aide d'une PermAnova.

Les variations de richesses spécifiques moyennes et d'abondances moyennes ont été testées entre les différents groupes par une analyse de variance (ANOVA) suivie d'un test post-hoc de Tukey discriminant les groupes entre eux. Le test de Tukey consiste à comparer chaque

paire de moyennes comme si ces deux moyennes pouvaient être la plus grande et la plus petite dans l'ensemble des n moyennes à comparer.

Pour chaque groupe les espèces caractéristiques intra-groupe ont été déterminées grâce à la méthode IndVal. Cet indice créé par Dufrene et Legendre (1997) a pour objectif de caractériser des groupes par un assemblage d'espèce. Il se base sur la spécificité (A) qui correspond à l'abondance d'une espèce (j) dans un groupe (k) plutôt qu'un autre et la fidélité (B) qui correspond à l'occurrence d'une espèce (j) dans un groupe (k) plutôt qu'un autre.

Équation 2 : Méthode IndVal – Dufrene & Legendre (1997)

$$IndVal_{groupe\ k, espèce\ j} = 100 \times A_{kj} \times B_{kj}$$

Enfin, la contribution des espèces à la dissimilarité inter-groupe a été évaluée à l'aide de la routine SIMPER (SIMilarity PERcentage : Clarke, 1993). Pour différencier les groupes, la méthode SIMPER calcule la dissimilarité de Bray Curtis moyenne entre tous les groupes (c.a.d. tous les sites appartenant au groupe 1 versus tous les sites appartenant au groupe 2). Comme la dissimilarité de Bray-Curtis intègre la contribution de chaque élément (ex. chaque espèce), la dissimilarité moyenne entre les sites d'un groupe et les sites d'un autre groupe peut être exprimé comme la contribution moyenne de chaque espèce.

2.3 QUALIFICATION BIOLOGIQUE DES MASSES D'EAU COTIERES

L'indice idéal, qui résume en une valeur unique représentative d'une somme importante d'informations écologiques sur les communautés benthiques, doit répondre à deux conditions :

- être indépendant des facteurs externes : il doit être indépendant de la surface totale de l'échantillonnage, du type d'habitat, du degré d'identification taxonomique ;
- être capable de refléter les différences entre les communautés, en relation avec les facteurs de perturbation, qu'il s'agisse de la richesse spécifique, de l'équitabilité de la distribution des espèces ou du caractère sensible ou tolérant des espèces. C'est ce qui définit son pouvoir discriminant.

De nombreux outils ont été développés afin de répondre aux exigences de la Directive européenne Cadre sur l'Eau pour l'évaluation de la qualité des eaux côtières.

L'indicateur retenu par la France, à l'issue de sa participation à l'exercice européen d'intercalibration au sein du GIG NEA, est le M-AMBI.

Cet indice, version améliorée de l'AMBI développé par A. Borja et son équipe (Borja *et al.*, 2004, Muxika *et al.*, 2007), repose :

- sur la reconnaissance dans la communauté de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes, comme proposé par Hily (1984). Cet indice est basé sur la pondération de chaque groupe écologique par une constante qui représente le niveau de perturbation auquel les espèces sont associées, selon la formule :

Équation 3 : Marine Biotic Index - AMBI

$$AMBI = \{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\}$$

Tableau 4 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984).

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	sensibles à une hypertrophisation	- largement dominantes en conditions normales - disparaissent les premières lors de l'enrichissement en matière organique du milieu - dernières à se réinstaller	- suspensivores, carnivores sélectifs, quelques dépositores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	- espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de MO	- carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	Tolérantes à une hypertrophisation	- naturellement présentes dans les vases, mais, leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont le signe d'un déséquilibre du système	- dépositores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé en MO
IV	Opportunistes de second ordre	- cycle de vie court (souvent <1 an) proliférant dans les sédiments réduits	- dépositores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	- prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	- dépositores

- sur la richesse spécifique (S), ou nombre d'espèces présentant au moins un individu pour le site ;

- sur l'indice de diversité de Shannon-Weaver,

Équation 4 : indice de Shannon-Weaver

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log p_i$$

Où : p_i est la proportion de l'espèce i dans le nombre total d'individus du milieu d'étude. i allant de 1 à S

Ces paramètres sont calculés pour tous les sites. Avec le jeu de données résultant, une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée, déterminant trois axes perpendiculaires minimisant le critère des moindres carrés. La projection dans ce nouveau repère des deux points de référence correspondant à l'état le plus dégradé et l'état le meilleur, permet de définir un nouvel axe sur lequel est projeté l'ensemble des points des sites (Figure 3). Pour chacun d'eux est calculée la distance qui le sépare du point le plus dégradé, en considérant que le segment de droite du point le plus dégradé à celui du meilleur état, a une longueur de 1. Cette distance bornée par 0 et 1 est le M-AMBI.

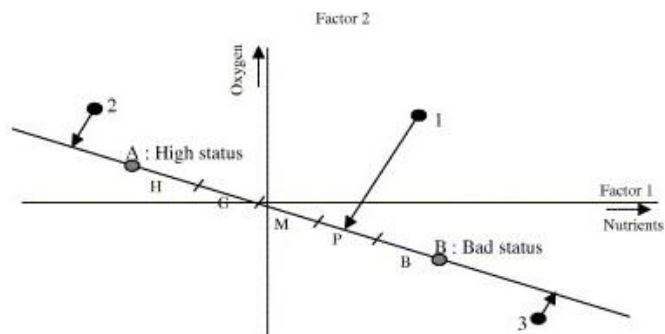


Figure 2 : Définition du statut des sites échantillonnés par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald *et al.*, 2005).

Les sites échantillonnés se réfèrent à deux types d'environnements hydrosédimentaires i) sables fins plus ou moins envasés subtidiaux, ii) sables fins plus ou moins envasés intertidaux, auxquelles correspondent deux conditions de référence distinctes (Tableau 5).

Tableau 5 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières.

Environnement hydrosédimentaire	Etat	S	H'	AMBI
Sables fins plus ou moins envasés subtidiaux	Très bon	58	4	1
	Mauvais	1	0	6
Sables fins plus ou moins envasés intertidaux	Très bon	35	4	1
	Mauvais	1	0	6

La grille de lecture du M-AMBI, telle qu'adoptée par la France au sein du GIG NEA, est la suivante :

Classes	[0 ;0,2]]0,2 ;0,39]]0,39 ;0,53]]0,53 ;0,77]]0,77 ;1]
Etat écologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

2.3.1 Conditions d'utilisation du M-AMBI

Malgré le fait qu'il soit parlant pour tous, simple d'utilisation (logiciel AMBI) et déjà testé et validé sur un large spectre de données, le M-AMBI doit être manipulé et interprété avec précautions.

D'après Borja (2013) :

- la richesse spécifique (S) doit être supérieure à 4 ;
- l'abondance (N) doit être supérieure à 6 ;
- le pourcentage de taxa Non-Assignés (% NA) à un groupe écologique doit être inférieur à 20% ;
- les taxa doivent être actualisés et les synonymes identifiés avant l'assignation à un groupe écologique ;
- la surface d'échantillonnage doit être identique pour tous les prélèvements ;
- un minimum 50 sites est recommandé pour optimiser la robustesse du M-AMBI.

2.3.2 Traitement de la base de données

D'après Borja et Muxika (2005), la robustesse de l'AMBI et donc du M-AMBI, peut être réduite par des événements locaux (faible salinité, stress naturel, impact physique) qui génèrent une augmentation des espèces opportunistes et par la suite, une augmentation des valeurs de AMBI, entraînant à une mauvaise classification.

L'analyse structurelle des communautés est là pour minimiser ce type de confusion mais afin que l'indice soit le plus réaliste possible, la base de données a subi quelques aménagements. Ainsi les taxa qui n'appartiennent pas aux invertébrés benthiques de substrats meubles des eaux côtières ont été exclus de la base. La norme ISO/FDIS 1666 :2005 (F) et le protocole de Guérin et Desroy (2008), préconisent d'identifier jusqu'au niveau spécifique les organismes prélevés, en tenant compte du fait que certains taxa ne peuvent être identifiés qu'à un niveau supérieur. Hormis s'ils sont référencés dans la liste d'espèces actualisée en 2012, les hauts niveaux taxonomiques n'ont pas été pris en compte.

2.4 RESULTATS

Dans cette partie, seuls les résultats synthétiques sont présentés. Les données brutes sont disponibles dans la base de données Quadrigé². Les résultats de l'analyse sédimentaire obtenus grâce au package G2Sd sont disponibles en annexe II.

2.4.1 Caractéristiques sédimentaires

Selon la classification de Blot et Pye (2001), l'ensemble des sites échantillonnés est caractérisé par des sables moyens à fins plus ou moins envasés (Figure 3), à l'exception du site

du port de Calais (SSMF17) caractérisé en 2013 et 2014 par des vases hétérogènes (vases avec gravier).

La taille des médianes granulométriques ($D_{50\mu m}$; Figure 4A) est stable dans le temps sauf pour les sédiments de trois des sites subtidaux du port de Calais (SSMF17, SSMF17bis et SSMF20).

Au regard de l'indice de Trask (S_o ; Figure 4B), les sédiments des sites en zone intertidale sont plus homogènes que les sédiments des sites situés en zone subtidale. Dix passages année_site ont un indice de Trask supérieur à 2,75. Les quatre sites du port de Calais (SSMF17, SSMF17bis, SSMF19 et SSMF20) sont caractérisés par des sédiments particulièrement hétérogènes.

Les taux de matière organique (MO % ; Figure 4C) fournis sont délicats à interpréter car les analyses ont été réalisées sur la fraction inférieure à $63 \mu m$ sur des sédiments contenant peu de particules fines. Seuls les résultats des sites ayant une fraction fine supérieure à 50% (Figure 3), étant considéré comme de la vase, sont exploitables. De plus, le nouveau protocole en vigueur depuis 2015 (Garcia *et al.*) propose de travailler sur la teneur en matière organique présente dans la totalité du sédiment et non uniquement dans la fraction inférieure à $63 \mu m$.

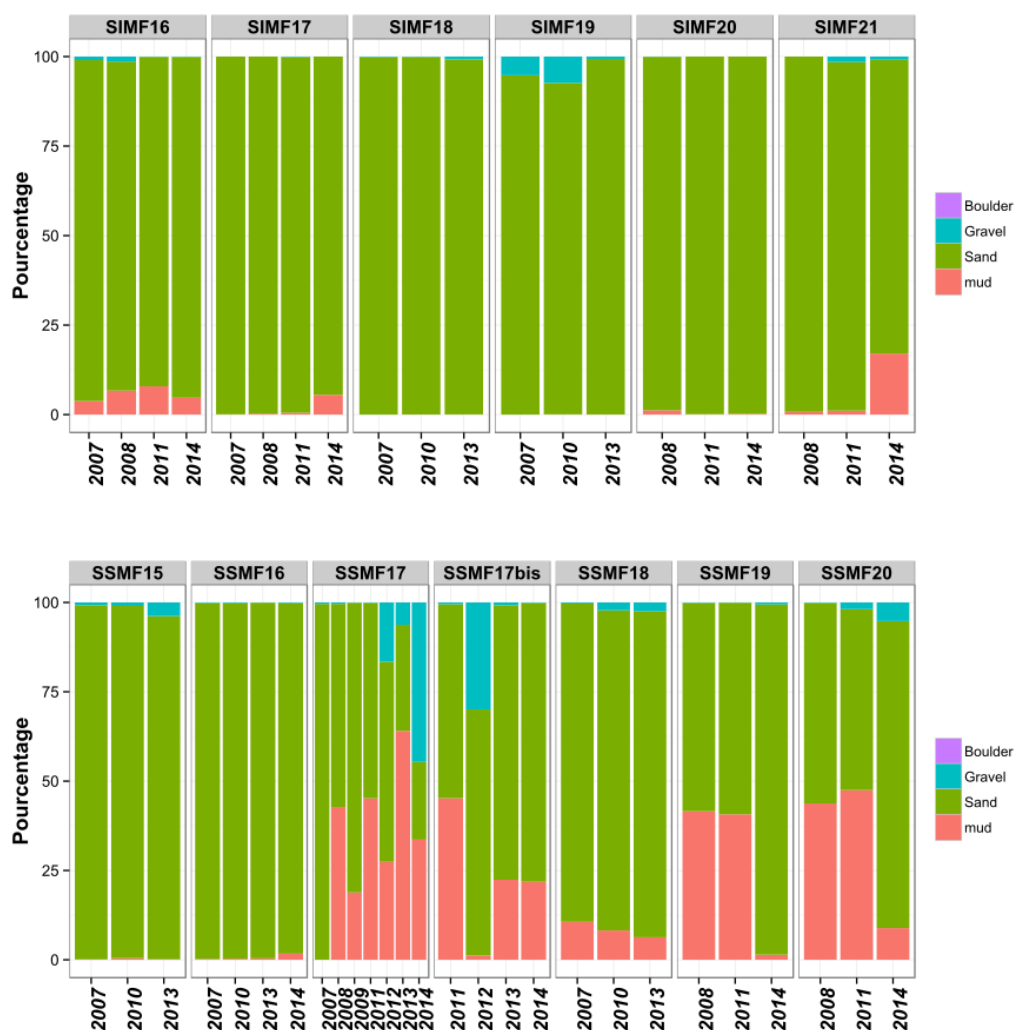


Figure 3 : Histogrammes de distribution des fréquences de classes granulométriques des fréquences caractérisant les sites du domaine intertidal (SIMF) et subtidal (SSMF) depuis 2007.

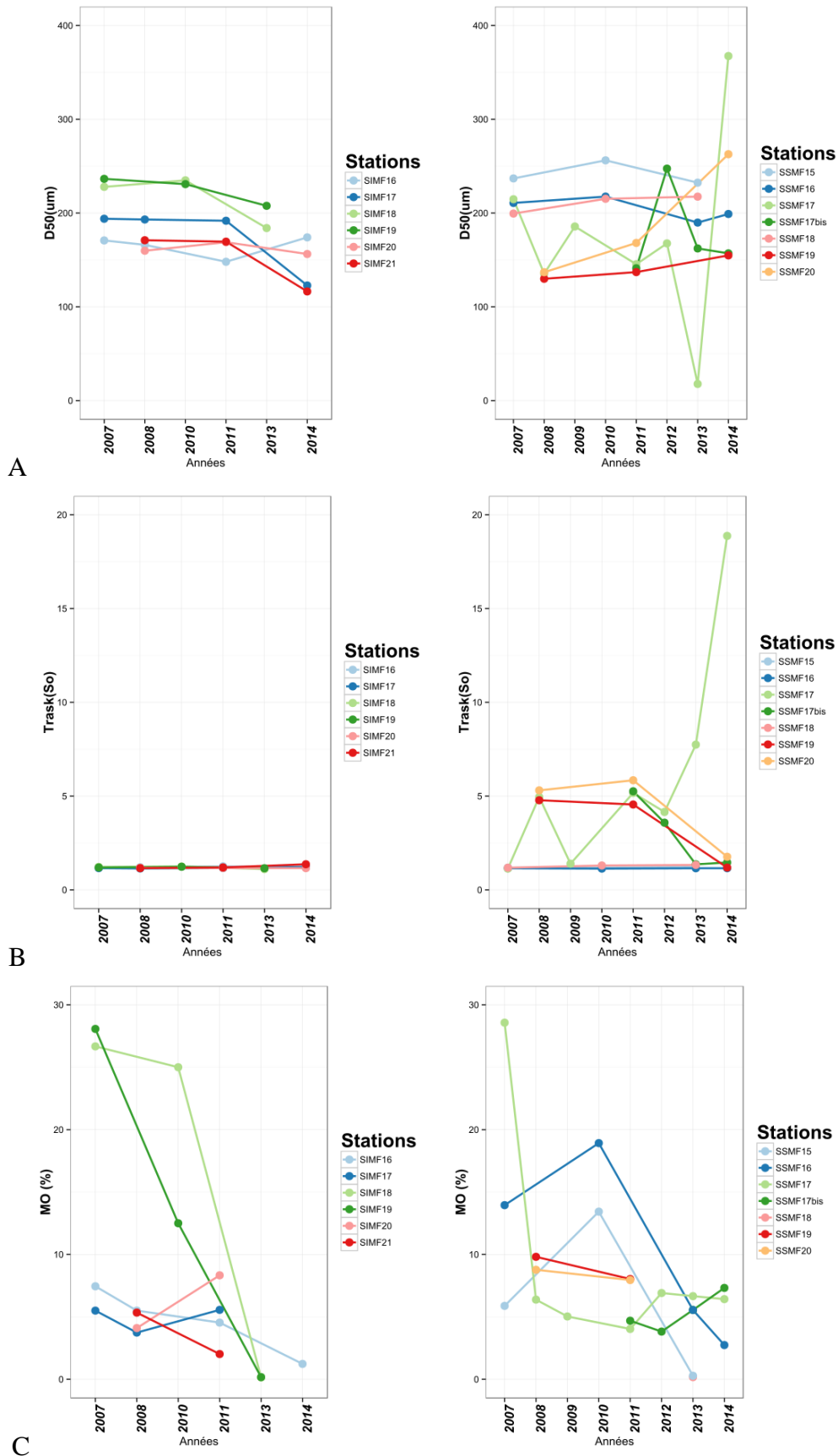


Figure 4 : Evolution des paramètres sédimentologiques associés, depuis 2007. A : médiane granulométrique (D_{50}), B : indice de Trask (So), C : teneur en matière organique (MO) sur la fraction inférieure à 63 μm .

2.4.2 Caractéristiques biologiques générales

Les indices de diversité : Richesse spécifique (S) et indice de Piélou(J')

Un total de 234 taxa a été identifié sur l'ensemble des sites suivis depuis 2007. En 2014, un total de 77 taxa a été identifié aux sites situés en eau de transition.

Les résultats de richesse spécifique (S) illustrés par la Figure 5 montrent une dichotomie entre le domaine intertidal et le domaine subtidal. En zone subtidale, la S totale maximale a été observée au site de la Baie de Somme (SSMF15) en 2013 (S = 68) et la plus faible au site du port de Calais (SSMF17bis) en 2012 (S = 2). En 2014 le site subtidal où la diversité la plus élevée a été observée est le site de Merlimont (SSMF16) (S= ?). La S totale maximale en zone intertidale a été observée sur le site du Crotoy (SIMF16) en 2014 (S = 17) et la plus faible sur le site de Cayeux (SIMF17) en 2014 également (S = 4).

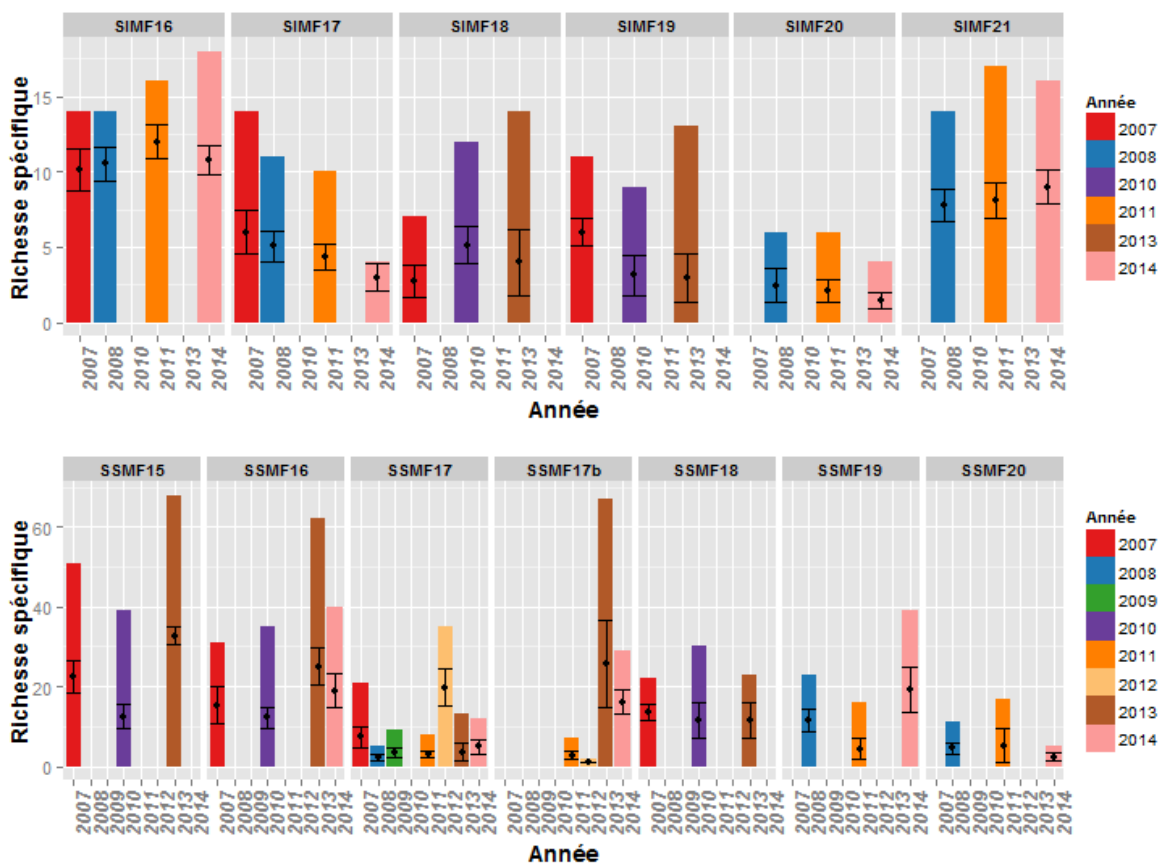


Figure 5 : Richesse spécifique totale et moyenne (\pm ET) observées aux différents sites échantillonnés depuis 2007.

Les valeurs de l'indice d'équitabilité de Piélou (J'), calculées à partir de la S totale de chaque site, fluctuent entre 0,01 et 0,92 (Figure 6). Plus de 87 % des passages année_site ont une valeur de J' moyen supérieur au J' total du site. Cela signifie que les échantillons sont hétérogènes et par conséquent qu'il est nécessaire de faire des réplicats pour avoir une bonne représentativité de la communauté. Un peu plus de 50% des passages année_sites présentent des valeurs de J' élevées ($J' > 0.5$) ce qui témoigne d'une répartition équilibrée des individus au sein des taxa présents. Les communautés présentes dans l'autre partie des passages année_site ont tendance à être dominées par un taxon en particulier ($J' < 0.5$).

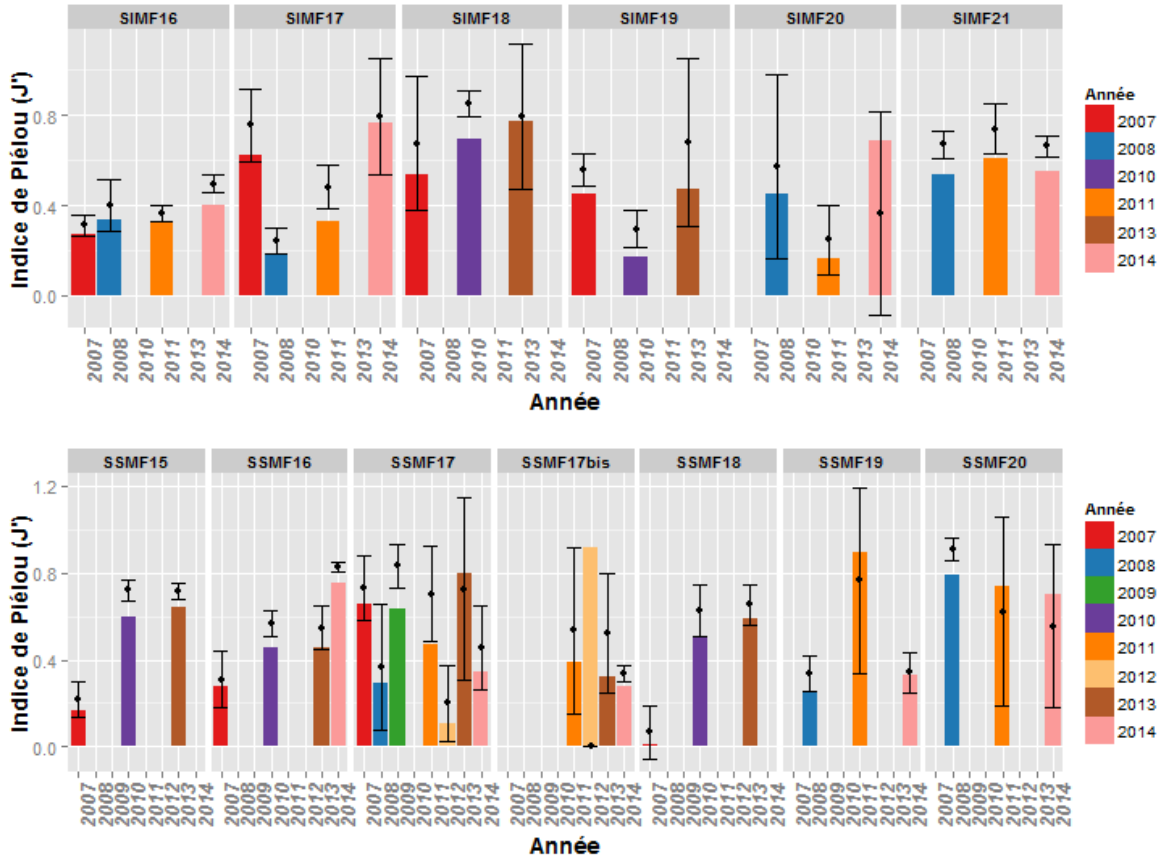


Figure 6 : Indice de Piélou total et moyen (\pm ET) observés aux différents sites échantillonnés depuis 2007.

Abondances

Les valeurs d'abondances moyennes (N) présentées sur la Figure 7 montrent une dichotomie entre le domaine intertidal (1288 ± 2090 ind./0,1 m²) et le domaine subtidal (737 ± 1924 ind./0,1 m²).

En domaine intertidal la valeur d'abondance moyenne la plus faible a été observée en 2014 au site de Saint-Valéry (SIMF20 : 14 ± 11 ind./0,1 m²) et la valeur la plus élevée en 2011 au site du Crotoy (SIMF16 : 6895 ± 616 ind./0,1 m²). Ce site présente les valeurs d'abondances moyennes les plus élevées tout au long du suivi. En domaine subtidal la valeur la plus faible a été observée en 2013 au site du port de Calais (SSMF17bis : 1 ind./0,1 m²) et la valeur la plus élevée a été observée en 2007 au site de Merlimont (SSMF18 : 9948 ± 5890 ind./0,1 m²). Cette abondance particulière est dû à la dominance du l'annélide polychète *Janice conchilega*.

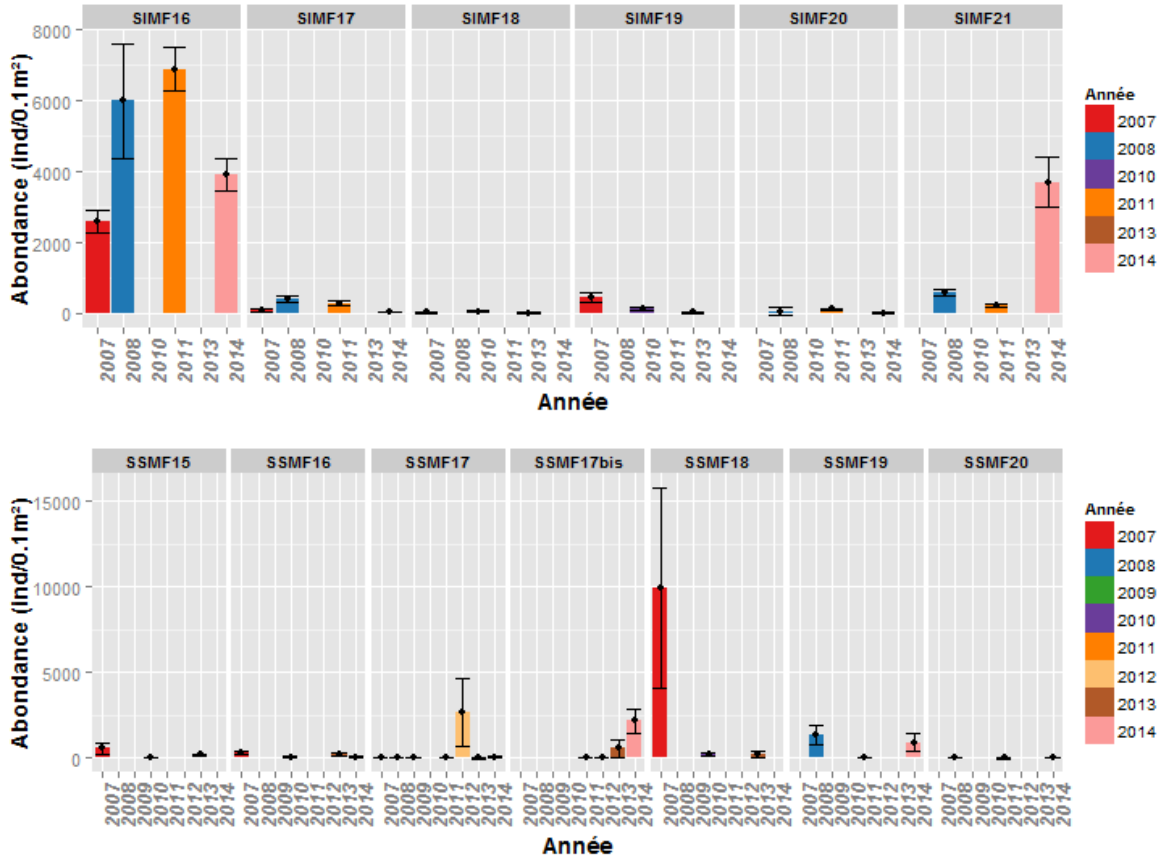


Figure 7 : Abondances moyenne (individus/0,01 m² ± ET) observées aux différents sites échantillonnés depuis 2007.

2.4.3 Evolution temporelle de la structure des communautés des macro-invertébrés benthiques

La n-MDS (stress = 0,15) basée sur la matrice de distance de Bray-Curtis dissocie les sites intertidaux et subtidaux (PermAnova, *p-value* = 0,001 ; Figure 8) mais les sites côtiers ne sont pas statistiquement différents de ceux situés en eaux de transition. Au vu des dissemblances observées, les domaines intertidaux et subtidaux ont donc été analysés séparément.

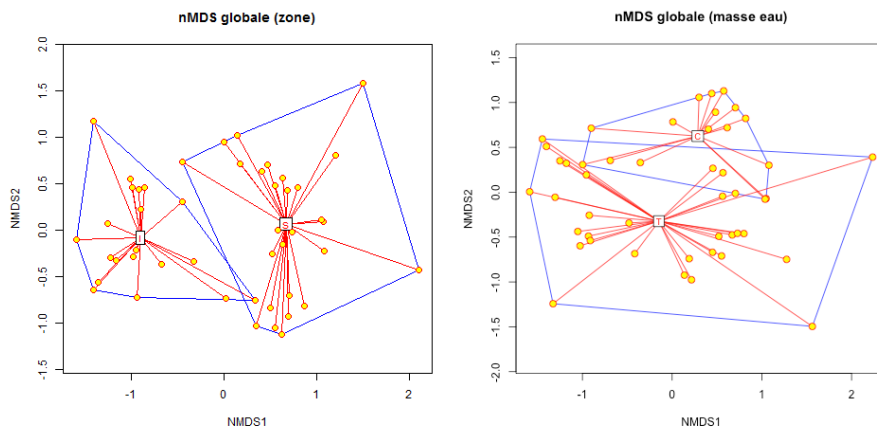


Figure 8 : Diagrammes d'ordination issus de la nMDS basée sur la matrice de distance (Bray-Curtis) entre sites calculé à partir des abondances spécifique par site après transformation en racine carré. Sites ●, enveloppes convexes ▭, étoile de barycentre ✖. a : groupement par zone (I : intertidal, S : subtidal). b : groupement par masse d'eau (C : côtier, T : transition).

Intertidal

Le dendrogramme (Figure 9), issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir de la matrice de distance de Bray-Curtis entre les sites du domaine intertidal, permet de distinguer quatre groupes de sites s'agréant significativement (PermAnova : p -value = 0001) à un niveau de similarité supérieur à 20%.

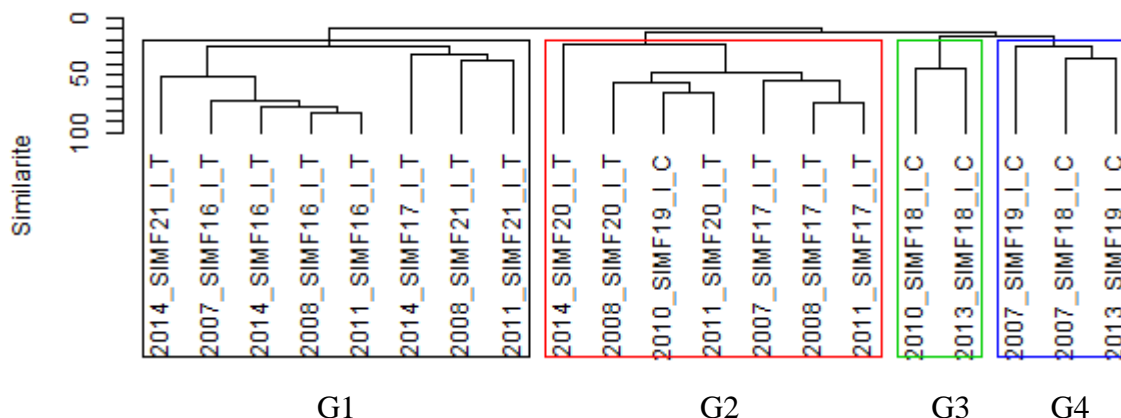


Figure 9 : Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre sites intertidaux.

Le premier groupe (G1 en noir ; Figure 9) est constitué de l'ensemble des années de suivi des deux sites du Crotoy (SIMF16 et SIMF21) et de l'année de suivi 2014 du site du Cayeux (SIMF17). L'ensemble des sites du groupe 1 sont situés en eaux de transition. L'abondance moyenne (2906 ± 2599 ind./01m²) de ce groupe est significativement plus élevée (test de Tukey ; p -value = 0,001) que celle du groupe 2 (Figure 10 B). Le polychète *Hediste diversicolore* et le bivalve *Macoma balthica* sont des espèces typiques des sables vaseux, vases sableuses et vases intertidales, des niveaux moyens et inférieurs du secteur aval d'estuaires, baies et bras de mer abrités à des salinités variables (habitat EUNIS A2.312). Des macrophytes du genre *Uva* peuvent former des tapis à la surface du sédiment pendant les mois d'été, en particulier dans les zones riches en nutriments (Bajjouk & Guillaumont, 2015). Ce phénomène justifierait la forte abondance moyenne très variable selon les passages année_site ($min = 0$; $max = 5250$ ind/0,1 m²) de *Peringia ulvae* un gastéropode microbrouleur (2163 ind/0,1 m²). La méthode IndVal désigne comme significativement caractéristiques les taxa : *Cliellata*, *Pygospio elegans*, *Cerastoderma edule*, *Scrobicularia plana*.

Le deuxième groupe (G2 en rouge ; Figure 9) est composé de la totalité des années de suivi du site de Saint-Valéry (SIMF20) et du site de Cayeux (SIMF17) sauf pour l'année 2014. Les sites qui apparaissent dans ce groupe sont tous localisés en eaux de transition en dehors du site côtier d'Oyé (2014-SIMF19). La méthode IndVal définit l'amphipode *Bathyporeia pilosa* comme espèce statistiquement caractéristique du groupe 2. Cette espèce peut être trouvée en zone intertidale au-dessus des hauts niveaux de morte-eau sur les plages de sables fins. Elle est capable de supporter de faible salinité.

Le troisième groupe (G3 en vert, Figure 9) regroupe deux années de suivi (2010, 2013) du site côtier de Merlimont (SIMF18). Ce petit groupe possède la plus faible valeur abondance moyenne (36 ± 14). Il est dominé en abondance par le polychète carnivore *Nephtys cirrosa* et les espèces caractéristiques mise statistiquement en avant par l'IndVal sont le mysidacé hyperbenthique *Gastrosaccus spinifer*, le crabe *Portumnus latipes* et le polychète *Spio elegans*. Cet ensemble d'espèces est typique des sables propres intertidaux de bas étage avec enrichissement en MO décrit en mer du nord par Elliott *et. al* en 1997. L'espèce responsable de la discrimination de l'année 2007 dans le groupe 5, identifié par la procédure SIMPER, est

l'amphipode *Bathyporeia sarsi* (9%). Cette espèce appartient malgré tout au cortège d'espèces des habitats de sables propres intertidaux (Bajjouk *et. al*, 2015)

Le quatrième et dernier groupe (G4 en bleu ; Figure 9) est constitué des années de suivi 2007 des sites côtiers de Merlimont (SIMF18) et d'Oye (SIMF19) ainsi que l'année 2013 de ce dernier. La méthode IndVal désigne l'amphipode *Bathyporeia sarsi* comme espèce significativement caractéristique de ce groupe et la procédure *SIMPER* identifie l'amphipode *Bathyporeia pilosa* comme étant responsable à 18% de la sortie de l'année de suivi 2010 du site d'Oye dans le groupe 2. Ces deux amphipodes sont communs des plages du nord de la France mais *B. pilosa* se trouve dans des niveaux de l'estran plus haut que *B. sarsi*.

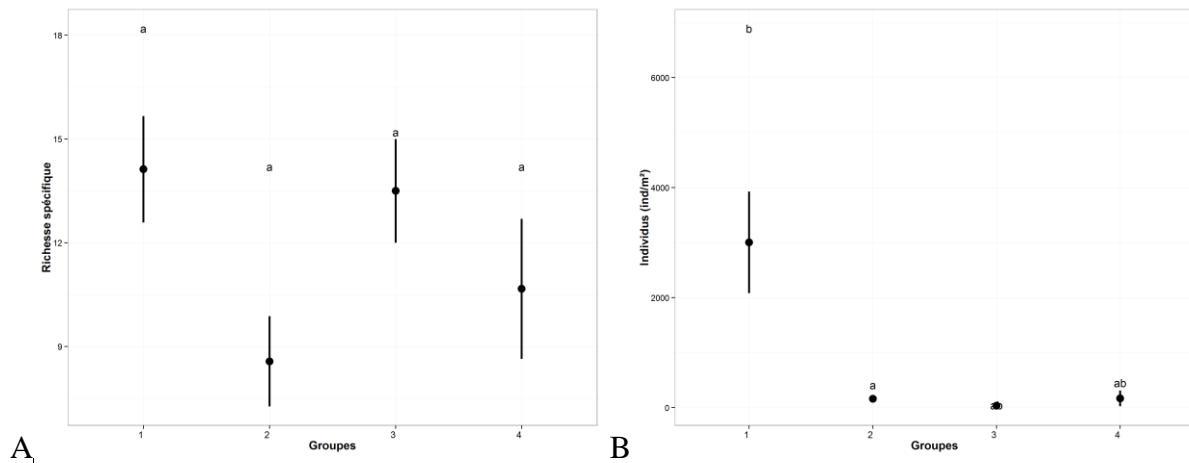


Figure 10 : Richesse (A) et abondance (B) des assemblages intertidaux déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post-hoc de tukey HSD au seuil de 0,05.

Subtidal

Le dendrogramme (Figure 11), issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir de la matrice de distance de Bray-Curtis entre les sites du domaine subtidal, permet de distinguer trois groupes de sites (« G ») qui s'agrègent significativement (PermAnova : $p\text{-value} = 0,001$) à un niveau de similarité supérieur à 20% et trois passage année_site isolés (« P »).

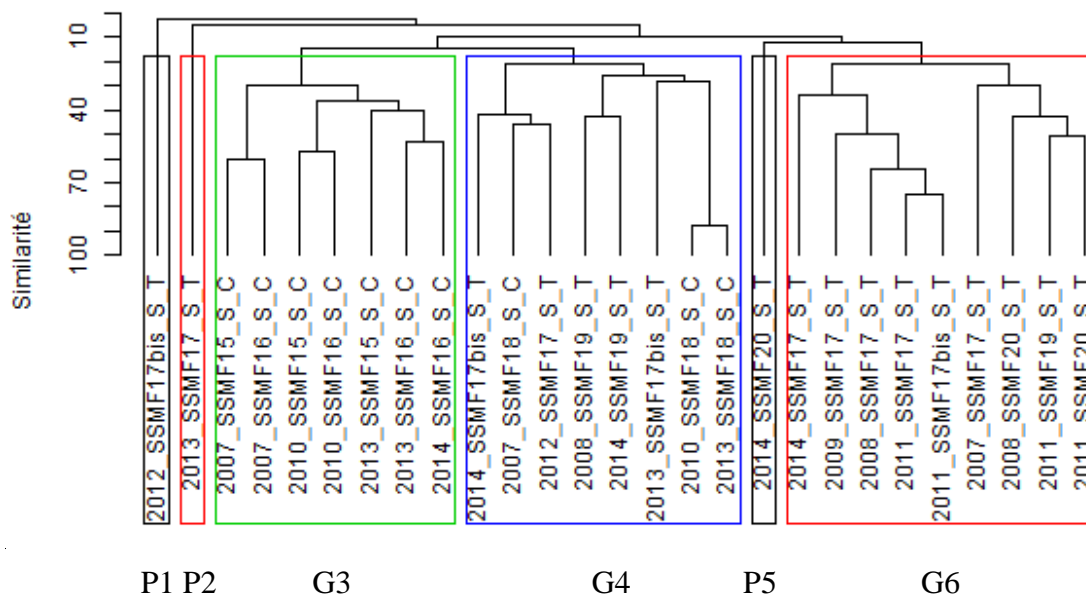


Figure 11 : Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hierarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre sites subtidiaux. P= Passage année_site ; G = Groupe de passages

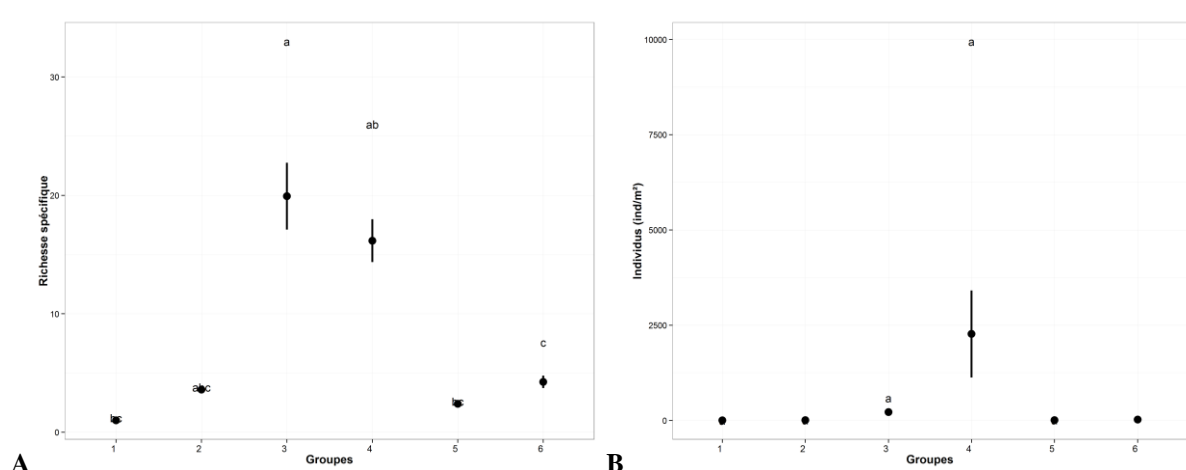


Figure 12 : Richesse (A) et abondance (B) des ensembles subtidiaux déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post hoc de Tukey HSD avec un seuil de 0.05.

L'année de suivi 2012 du deuxième site d'appui du port de Calais (SSMF17bis) est le premier passage isolé par la CAH (P1 en noir ; Figure 11). Ce site a été ajouté en 2011 pour renforcer le suivi annuel du port pendant les travaux « Calais 2015 ». De plus le site identifié initialement pour le suivi devrait se trouver dans l'enceinte du port à l'issue des travaux. La richesse spécifique (S=2) et l'abondance (N=1) sont très faibles. Deux répliquats sur cinq sont azoïques sur une maille de 1 mm. Le sédiment observé comportait une forte proportion de vase portuaire en « boulette ». L'absence du bivalve *Abra alba* est responsable à 18% de la discrimination de ce passage.

Le deuxième passage isolé (P2 en rouge ; Figure 11) est l'année de suivi 2013 du site d'appui initial du port de Calais (SSMF17). L'augmentation de la médiane granulométrique et la présence de l'ascidie *Molgula oculata* et l'absence du bivalve *Abra alba* indique que le sédiment est plus propre en 2013 que les autres années.

Le groupe 3 (G3 en vert ; Figure 11) est constitué de l'ensemble des années de suivi des sites côtiers de Merlimont (SSMF16) et de la Baie de Somme (SSMF15). La richesse spécifique

moyenne de ce groupe est la plus élevée ($S = 47 \pm 14$). Elle est même statistiquement différente (Figure 12 A) de celle des unités P1, P5 et G6 (test de Tukey ; p -value P1-G3 = 0,02, p -value P5-G3 = 0,04, p -value G6-G3 = 0,001). Le grand nombre de taxa identifiés comme significativement caractéristique de ce groupe (*Iphinoe trispinosa*, *Megaluropus agilis*, *Pseudocuma (Pseudocuma) longicorne*, *Sigalion mathildae*, *Scoloplos (Scoloplos) armiger*, *Echinocardium cordatum*, *Donax vittatus*, *Nephtys cirrosa*) indique que les communautés installées sur ces sites sont stables. Espèce dominante *Lanice conchilega* (moyenne 114 ind/m², $min=1$; $max=531$)

Le groupe 4 (G4 en bleu ; Figure 11) est composé d'un mélange des sites côtiers et de transition. Le site de Graveline (SSMF18), même si il est situé dans une masse d'eau identifié comme étant une masse d'eau côtière, est sous l'influence directe du petit fleuve Aa. Les autres passages sont tous localisés dans le port de Calais (SSMF17bis, SSMF19 et SSMF20). L'abondance moyenne de ce groupe est la plus élevée (2269 ± 3228 ind./ 0,1m² ; Figure 12 B). Cette abondance distinctive est dû à la présence en forte densité de l'annélide polychète tubicole *Lanice conchilega* (1770 ind/m² ; $min=0$; $max=2531$).

Dans le groupe 6 (G6 en rouge ; Figure 11) figurent uniquement les sites localisés en eaux de transition dans le port de Calais. L'espèce dominante en abondance moyenne est le bivalve fouisseur *Abra alba* (11 ± 3 ind/m²) typique des sables envasés. La présence d'ascidies est responsables à 13% de la sortie de l'année de suivi 2014 du site SSMF20 (P5 en brun ; Figure 11).

2.5 CALCUL DE L'INDICE

L'indice calibré au niveau européen utilisé en France pour évaluer la qualité écologique des masses d'eau côtières grâce à l'élément de qualité « macro-invertébrés benthiques » est le M-AMBI (Muxika *et al.*, 2007). En eaux de transition, il n'existe pas encore d'indice validé par l'ONEMA permettant d'évaluer la qualité écologique des masses d'eau.

Le M-AMBI est calculé sur l'ensemble des masses d'eau côtières des façades Manche et Atlantique. Les sites de contrôle localisés sur ces deux façades appartiennent au réseau d'interétalonnage géographique nord-est atlantique. Les indices calculés à partir des données des contrôles de surveillance des masses d'eau côtières des campagnes de 2007 et 2010, intégrant les mises à jour (liste d'espèce, conditions d'application, mises en garde...) sont en disponibles dans le rapport de 2015 de Garcia *et al.* Un récapitulatif des indices pour l'Artois Picardie est fourni dans le chapitre 5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** page 41.

Ci-après est proposée pour l'ensemble des années de suivi (2007-2014) et les deux types de masses d'eau (côtières et de transition) la proportion des cinq groupes écologiques suivant la liste actualisée par Borjà en 2015.

Intertidal

Les proportions des cinq groupes écologiques n'ont pas été calculées pour trois passages. Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N, et le pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologiques : %NA) ne respectent pas les conditions d'application permettant une répartition robuste de la structure écologique (*cf* chapitre 2.3.1). Les valeurs de S observée aux sites de Cayeux (SIMF17) et de Saint-Valery (SSMF20) pour l'année 2014 sont trop faible et le %NA de sites du Crotoy (SIMF21) de l'année 2011 est supérieur à 20% (Tableau 6).

Tableau 6 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectant pas les conditions d'application permettant une représentation robuste de la structure écologique des sites côtiers du domaine intertidal.

		S	N	%NA
SIMF21	2011	17	603	49,25
SIMF20	2014	4	25	0
SIMF17	2014	4	114	0

La Figure 13 présente les histogrammes de distribution de fréquences des groupes écologiques des 17 passages année_site retenus en zone intertidale. Le nombre de passages côtier (6) est inférieur au minimum requis de 50 passages nécessaires pour que les résultats de l'analyse M-AMBI ne soient influencés par l'ajout de passages supplémentaires à l'analyse.

On observe une dominance des groupes 1 et 2, espèces sensibles (G1) et indifférentes (G2) à une hypertrophisation, sur quasiment l'ensemble des communautés des passages sauf sur le site du Crotoy (SIMF16) et l'année de suivi 2014 des sites d'Oye (SIMF19) et du Crotoy (SIMF21) dont les communautés sont dominées par des taxa du groupe 3, tolérants à une hypertrophisation.

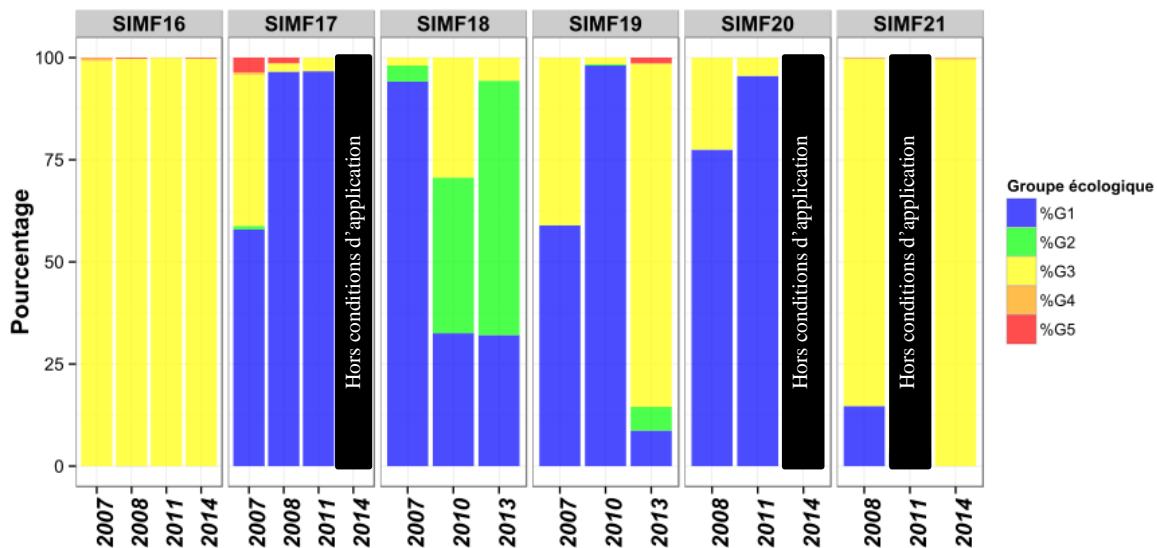


Figure 13 : Histogrammes de distributions des fréquences des groupes écologiques de polluo-sensibilités (Hily, 1984) des sites côtiers du domaine intertidal.

Subtidal

Les proportions des cinq groupes écologiques n'ont pas été calculées pour trois passages en zone subtidale. Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N, et le pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologiques : %NA) ne respectent pas les conditions d'application permettant une répartition robuste de la structure écologique (cf chapitre 2.3.1). Les valeurs de S observée aux sites du port de Calais (SSMF 7 en 2014, SSMF17bis en 2012 et SSMF20 en 2014) sont trop faible et le %NA est supérieur à 20% (Tableau 7).

Tableau 7 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectant pas les conditions d'application permettant une représentation robuste de la structure écologique des sites côtiers du domaine subtidal.

		S	N	%NA
SSMF17	2014	12	363	20,94
SSMF17b	2012	2	3	66,67
SSMF20	2014	5	45	86,67

La Figure 14 présente les histogrammes de distribution de fréquences des groupes écologiques des 24 passages année_site retenus en zone intertidale. Le nombre de passages côtier (10) est inférieur au minimum requis de 50 passages nécessaires pour que les résultats de l'analyse M-AMBI ne soient influencés par l'ajout de passages supplémentaires à l'analyse.

On observe une dominance des groupes 1 et 2 dans les communautés des sites côtiers (SIMF15, SIMF16 et SIMF18) et des taxa du groupe 3 sur les autres sites. Quelques taxa du groupe 5 (opportunistes de premier ordre) apparaissent dans les communautés des sites du port de Calais.

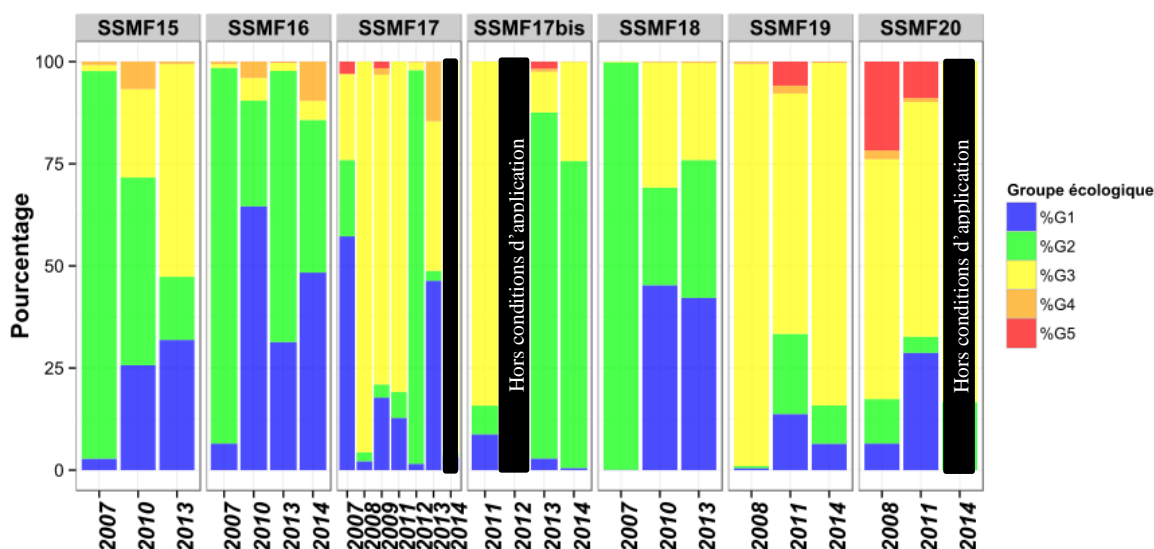


Figure 14 : Histogrammes de distributions des fréquences des groupes écologiques de polluo-sensibilités (Hily, 1984) des sites côtiers du domaine subtidal.

3 SUIVI STATIONNEL DES MACROALGUES INTERTIDALES DE SUBSTRAT DUR.

La station intertidale retenue et figurant au cahier des charges a été échantillonnée au mois de juin 2014, conformément à la période préconisée dans le protocole. Le protocole d'échantillonnage appliqué est celui présenté dans la fiche technique de recommandation pour l'échantillonnage et l'analyse des macroalgues de substrats durs dans le cadre du contrôle de surveillance DCE, adapté aux particularités du district Artois-Picardie (Adaptation du protocole de calcul d'un indice de qualité pour le suivi des macroalgues sur les estrans intertidaux rocheux dans les sites DCE de Manche orientale).

Tableau 8 : Caractéristiques et coordonnées géographiques des stations relatives à l'échantillonnage des macroalgues benthiques de substrat dur rocheux en subtidal [CS : Contrôle de Surveillance, DDD = Degrés décimales (WGS84)]

Libellé	ME_dce	Statut	Lat_ddd	Long_ddd
SIDB14 - Audresselles IR	AC03	CS	50,8292788	1,5885898

Sur le site, les paramètres mesurés ont été les suivants :

- Couverture végétale globale des ceintures (pourcentages de recouvrement)
- Surface de couvert végétal de chaque ceinture (en m²)
- Observations dans les quadrats lors de basses mers de vives eaux (3 quadrats aléatoires de 33 cm x 33 cm par point, en trois points de 1,65 m x 1,65 m par ceinture, soit 9 quadrats de 0,9 m²).

Toutes les espèces présentes dans les quadrats échantillonnés sous forme encroûtante (surface minimale de l'ordre de 1 cm²) ou érigée (individus d'une taille supérieure ou égale à 5 mm) sont inventoriées. Le pourcentage de recouvrement estimé sur le terrain correspond, pour une espèce donnée, au rapport entre la surface totale du substrat recouverte après projection verticale de la canopée de tous les individus de cette espèce et la surface totale de chaque quadrat, l'estimation prenant en compte exclusivement les thalles dont le système de fixation se situe dans le quadrat. Lorsque certaines ceintures sont très fournies, notamment avec des individus de grande taille, cette opération nécessite de soulever les thalles les plus longs à la verticale au-dessus du substrat (à la fois pour estimer la surface recouverte et pour faire apparaître les espèces les plus petites).

Une estimation du pourcentage de la roche nue, couverte de sable ou de lichens ainsi que des organismes animaux sessiles (Balanes, Anémones, Moules, Patelles) est également appréciée pour chaque quadrat. Compte tenu de l'imbrication des espèces et des strates, le cumul des pourcentages de recouvrement de l'ensemble peut donner, a priori, des valeurs supérieures à 100%.

Les observations ont été réalisées par le concours de plusieurs personnes au cours des basses mers de grandes vives eaux.

A l'issue des missions de terrain, les espèces non identifiées sur le terrain et prélevées sont déterminées au laboratoire. Les données brutes sont saisies, analysées, mises en forme et archivées sous forme numérique.

Les coordonnées géographiques des stations données à titre indicatif dans le cahier des charges et re-précisées ici pour répondre aux exigences relatives à la DCE (notamment en termes de représentativité de la masse d'eau, de la différenciation des ceintures et de leur taux de recouvrement ainsi que de leur homogénéité) sont les mêmes que celles sélectionnées en 2011.

Tableau 9 : Caractéristiques marégraphiques (Boulogne-sur-mer, UT+2) des périodes concernées par les observations de terrain en intertidal

Juin 2014						
Date	Matin			Après-midi		
	Coef	Pleine mer	Basse mer	Coef	Pleine mer	Basse mer
Samedi 14	96	1h10	8h43	98	13h38	21h04
Lundi 16	99	2h45	10h18	98	15h15	22h38
Mardi 17	95	3h34	11h04	92	16h03	23h25

Le site d'Audresselles est dépourvu de la ceinture à *Pelvetia canaliculata* (ne figurant donc pas dans les ceintures retenues) ainsi que de celle à *Himanthalia elongata* (He) / *Bifurcaria bifurcata* (Bb). Néanmoins, cette dernière est remplacée par une ceinture majoritairement représentée par des Rhodophyceae.

Le niveau d'indice est liée à une baisse de la valeur du sous-indice relatif aux espèces caractéristiques et à une baisse de l'indice « opportunistes ».

Les quatre autres sites conservent leur statut « Good ».

Le calcul de l'indice ABER fait état d'un statut « Poor » sur le site de l'estuaire de l'Orne. L'application du protocole hors période recommandée peut avoir une influence importante sur la couverture en *Vaucheria sp.*.

3.1 I. EXAMEN DES DONNEES BRUTES

3.1.1 1. Sous-Indice 1

Le calcul du sous-indice 1 repose sur une estimation visuelle des surfaces potentielles de recouvrement et du pourcentage de recouvrement pour chaque ceinture.

Ceinture	Surface (m ²)	Recouvrement (%)	Classement	Points
Pc	/	/		
Fspi	1400	50	1	6/9
An / Fves	150	15	5	3/5
Fser / Rhodo	310	75	3	6/7
He / Bb / Rhodo	270	85	4	6/6
Ld	350	85	2	8/8
Total				29/35 soit 33,14/40

Espèces caractéristiques	Fspi1, 1	Fspi1, 2	Fspi1, 3	Fspi2, 1	Fspi2, 2	Fspi2, 3	Fspi3, 1	Fspi3, 2	Fspi3, 3
<i>Fucus spiralis</i>			0-5	0-5	0-5	0-5	25-50	5-25	0-5
<i>Hildenbrandia rubra</i>							5-25	0-5	5-25
<i>Porphyra linearis</i>		0-5	0-5	0-5		0-5			

Espèces caractéristiques	An1, 1	An1, 2	An1, 3	An2, 1	An2, 2	An2, 3	An3, 1	An3, 2	An3, 3
<i>Ascophyllum nodosum</i>			0-5	5-25	0-5	5-25			
<i>Mastocarpus stellatus</i>			0-5						

Espèces caractéristiques	Fser1, 1	Fser1, 2	Fser1, 3	Fser2, 1	Fser2, 2	Fser2, 3	Fser3, 1	Fser3, 2	Fser3, 3
<i>Chondrus crispus</i>	5-25	5-25	25-50	5-25	0-5	0-5	5-25	5-25	5-25
<i>Cladophora rupestris</i>								0-5	5-25
<i>Fucus serratus</i>		5-25	0-5		0-5		0-5	5-25	0-5
<i>Gelidium pusillum</i>	5-25		5-25						
<i>Lithothamnion lenormandii</i>							5-25	5-25	5-25
<i>Lomentaria articulata</i>	0-5	5-25	5-25		0-5	0-5			
<i>Mastocarpus stellatus</i>			5-25	0-5					
<i>Osmundea pinnatifida</i>	5-25		5-25	0-5	0-5	0-5		0-5	5-25
<i>Palmaria palmata</i>	0-5	0-5	0-5	0-5					
<i>Rhodothamniella floridula</i>	5-25	50-75	25-50	5-25	0-5	0-5			

Espèces caractéristiques	He1, 1	He1, 2	He1, 3	He2, 1	He2, 2	He2, 3	He3, 1	He3, 2	He3, 3
<i>Chondracanthus acicularis</i>								0-5	
<i>Chondrus crispus</i>	0-5	0-5		5-25	5-25	2-25	0-5	5-25	5-25
<i>Cladophora rupestris</i>						0-5			
<i>Corallina elongata</i>							0-5		
<i>Cystoclonium purpureum</i>				0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	
<i>Lomentaria articulata</i>						0-5		0-5	
<i>Mastocarpus stellatus</i>									0-5
<i>Osmundea pinnatifida</i>									0-5
<i>Palmaria palmata</i>			0-5		0-5				
<i>Plocamium cartilagineum</i>				0-5		0-5	0-5		0-5
<i>Rhodothamniella floridula</i>	5-25	0-5	5-25	0-5	25-50		5-25	5-25	5-25

Espèces caractéristiques	Ld1, 1	Ld1, 2	Ld1, 3	Ld2, 1	Ld2, 2	Ld2, 3	Ld3, 1	Ld3, 2	Ld3, 3
<i>Chondrus crispus</i>	5-25	5-25	5-25	5-25	5-25		5-25	5-25	25-50
<i>Cystoclonium purpureum</i>	5-25		0-5	0-5			0-5	5-25	0-5
<i>Lithophyllum incrustans</i>	0-5								
<i>Lomentaria articulata</i>				0-5					
<i>Osmundea pinnatifida</i>				0-5				0-5	5-25
<i>Palmaria palmata</i>						0-5		0-5	
<i>Plocamium cartilagineum</i>	0-5			5-25			0-5	0-5	0-5
<i>Saccharina latissima</i>			0-5		0-5	0-5			

Espèces caractéristiques	Fspi1, 1	Fspi1, 2	Fspi1, 3	Fspi2, 1	Fspi2, 2	Fspi2, 3	Fspi3, 1	Fspi3, 2	Fspi3, 3	2/7
<i>Fucus spiralis</i>	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	37,50	15,00	2,50	7,22
<i>Hildenbrandia rubra</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	2,50	15,00	3,61
<i>Porphyra linearis</i>	0,00	2,50	2,50	2,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	1,11

Espèces caractéristiques	An1, 1	An1, 2	An1, 3	An2, 1	An2, 2	An2, 3	An3, 1	An3, 2	An3, 3	1/13
<i>Ascophyllum nodosum</i>	0,00	0,00	2,50	15,00	2,50	15,00	0,00	0,00	0,00	3,89
<i>Mastocarpus stellatus</i>	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28

Espèces caractéristiques	Fser1, 1	Fser1, 2	Fser1, 3	Fser2, 1	Fser2, 2	Fser2, 3	Fser3, 1	Fser3, 2	Fser3, 3	7/15
<i>Chondrus crispus</i>	15,00	15,00	37,50	15,00	2,50	2,50	15,00	15,00	15,00	14,72
<i>Cladophora rupestris</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	15,00	1,94
<i>Fucus serratus</i>	0,00	15,00	2,50	0,00	2,50	0,00	2,50	15,00	2,50	4,44
<i>Gelidium pusillum</i>	15,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33
<i>Lithothamnion lenormandii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	5,00
<i>Lomentaria articulata</i>	2,50	15,00	15,00	0,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	4,17
<i>Mastocarpus stellatus</i>	0,00	0,00	15,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94
<i>Osmundea pinnatifida</i>	15,00	0,00	15,00	2,50	2,50	2,50	0,00	2,50	15,00	6,11
<i>Palmaria palmata</i>	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11
<i>Rhodothamniella floridula</i>	15,00	62,50	37,50	15,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	15,00

Espèces caractéristiques	He1, 1	He1, 2	He1, 3	He2, 1	He2, 2	He2, 3	He3, 1	He3, 2	He3, 3	2/15
<i>Chondracanthus acicularis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,28
<i>Chondrus crispus</i>	2,50	2,50	0,00	15,00	15,00	2-25	2,50	15,00	15,00	8,44
<i>Cladophora rupestris</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,28
<i>Corallina elongata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,28
<i>Cystoclonium purpureum</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00	1,39
<i>Lomentaria articulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	0,56
<i>Mastocarpus stellatus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,28
<i>Osmundea pinnatifida</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,28
<i>Palmaria palmata</i>	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
<i>Plocamium cartilagineum</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	2,50	0,00	2,50	1,11
<i>Rhodothamniella floridula</i>	15,00	2,50	15,00	2,50	37,50	0,00	15,00	15,00	15,00	13,06

Espèces caractéristiques	Ld1, 1	Ld1, 2	Ld1, 3	Ld2, 1	Ld2, 2	Ld2, 3	Ld3, 1	Ld3, 2	Ld3, 3	3/14
<i>Chondrus crispus</i>	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	15,00	15,00	37,50	15,83
<i>Cystoclonium purpureum</i>	15,00	0,00	2,50	2,50	0,00	0,00	2,50	15,00	2,50	4,44
<i>Lithophyllum incrustans</i>	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
<i>Lomentaria articulata</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
<i>Osmundea pinnatifida</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	15,00	2,22
<i>Palmaria palmata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	0,56
<i>Plocamium cartilagineum</i>	2,50	0,00	0,00	15,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,78
<i>Saccharina latissima</i>	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,83

Ceinture	Nombre d'espèces caractéristiques	Valeurs /30
Pc + Fspi	2/7	10
An / Fves	1/13	5
Fser / Rhodo	7/15	20
He / Bb / Rhodo	2/15	5
Ld	3/14	10
Total		50/150 soit 10/30

Espèces opportunistes	Fspi1, 1	Fspi1, 2	Fspi1, 3	Fspi2, 1	Fspi2, 2	Fspi2, 3	Fspi3, 1	Fspi3, 2	Fspi3, 3
<i>Enteromorpha compressa</i>	0-5	5-25		25-50	25-50	0-5	0-5		0-5
<i>Ulva spp.</i>	0-5	5-25	75-100	25-50		25-50		0-5	

Espèces opportunistes	An1, 1	An1, 2	An1, 3	An2, 1	An2, 2	An2, 3	An3, 1	An3, 2	An3, 3
<i>Enteromorpha compressa</i>								0-5	

Espèces opportunistes	Fser1, 1	Fser1, 2	Fser1, 3	Fser2, 1	Fser2, 2	Fser2, 3	Fser3, 1	Fser3, 2	Fser3, 3
<i>Ceramium spp.</i>	5-25	0-5	0-5	5-25	0-5	5-25			
<i>Ectocarpales</i>				0-5					
<i>Enteromorpha compressa</i>			0-5	0-5	0-5	0-5			
<i>Ulva spp.</i>	0-5	0-5	0-5	5-25	5-25	25-50	0-5		

Espèces opportunistes	Fspi1, 1	Fspi1, 2	Fspi1, 3	Fspi2, 1	Fspi2, 2	Fspi2, 3	Fspi3, 1	Fspi3, 2	Fspi3, 3	
<i>Enteromorpha compressa</i>	2,50	15,00	0,00	37,50	37,50	2,50	2,50	0,00	2,50	11,11
<i>Ulva spp.</i>	2,50	15,00	87,50	37,50	0,00	37,50	0,00	2,50	0,00	20,28

Espèces opportunistes	An1, 1	An1, 2	An1, 3	An2, 1	An2, 2	An2, 3	An3, 1	An3, 2	An3, 3	
<i>Enteromorpha compressa</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,28

Espèces opportunistes	Fser1, 1	Fser1, 2	Fser1, 3	Fser2, 1	Fser2, 2	Fser2, 3	Fser3, 1	Fser3, 2	Fser3, 3	15,83
<i>Ceramium spp.</i>	15,00	2,50	2,50	15,00	2,50	15,00	0,00	0,00	0,00	5,83
<i>Ectocarpales</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
<i>Enteromorpha compressa</i>	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	1,11
<i>Ulva spp.</i>	2,50	2,50	2,50	15,00	15,00	37,50	2,50	0,00	0,00	8,61

Espèces opportunistes	He1, 1	He1, 2	He1, 3	He2, 1	He2, 2	He2, 3	He3, 1	He3, 2	He3, 3	23,61
<i>Ceramium spp.</i>	87,50	15,00	37,50	2,50	15,00	2,50	2,50	2,50	2,50	18,61
<i>Ectocarpales</i>	0,00	2,50	2,50	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	0,00	1,11
<i>Enteromorpha compressa</i>	2,50	2,50	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00	1,94
<i>Ulva spp.</i>	2,50	2,50	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00	1,94

Espèces opportunistes	Ld1, 1	Ld1, 2	Ld1, 3	Ld2, 1	Ld2, 2	Ld2, 3	Ld3, 1	Ld3, 2	Ld3, 3	5,56
<i>Ceramium spp.</i>	2,50	0,00	2,50	2,50	2,50	0,00	2,50	0,00	2,50	1,67
<i>Enteromorpha compressa</i>	2,50	2,50	2,50	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,22
<i>Ulva spp.</i>	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67

Ceinture	Recouvrement (%) par les espèces opportunistes	Valeurs / 6
Pc + Fspi	31,39	2
An / Fves	0,28	6
Fser / Rhodo	15,83	4
He / Bb / Rhodo	23,61	4
Ld	5,56	4
Total		20/30

3.1.2 Calcul de l'EQB

Année	Sous-indice 1	Sous-indice 2	Sous-indice 3	Total	Catégorie
2014	33,14/40	10/30	20/30	63,14/100	Good
2011	34,29/40	13/30	17/30	64,29/100	Good
2008	35,43/40	10/30	20/30	65,43/100	Good

Ces valeurs traduisent une bonne stabilité du site.

4 SUIVI STATIONNEL DES MACROALGUES SUBTIDALES DE SUBSTRAT DUR

Les 2 stations subtidales retenues et figurant au cahier des charges ont été échantillonnées en plongée en juin et juillet 2014, conformément à la période préconisée dans le protocole. Le protocole d'échantillonnage suivi est celui en vigueur pour les macroalgues de substrat dur subtidal (Protocole de surveillance DCE pour l'élément de qualité « Macroalgues subtidales » - Second cycle de suivi (DCE-2)), adapté aux particularités du district Artois-Picardie. En Manche orientale, la composition spécifique diffère de celle de Pays de Loire – Manche occidentale et la turbidité des eaux conditionne particulièrement l'extension en profondeur des laminaires (profondeur limite de croissance dépendant de l'éclairement environnant), réduisant ainsi les étendues des ceintures à laminariales. Conformément aux recommandations figurant dans le protocole, l'échantillonnage dans l'infralittoral supérieur a été réalisé à un niveau supérieur à -3m C.M, dans la ceinture à laminaires qui, en Manche orientale, ne descend pas sous cette profondeur et se condense en une bande étroite, là où la densité maximale des espèces structurantes est observée - les quadrats ayant été répartis dans la ceinture présente. Selon la typologie figurant dans le protocole, l'étage infralittoral caractérisé par de grandes algues photophiles ne comporte dans la région Nord-Pas de Calais que les laminaires *Laminaria digitata* et *Saccharina latissima* (absence de Fucales sous-marines : *Sargassum*, *Cystoseira*, *Halidrys* – absence des autres espèces de laminaires présentes en Bretagne). Les niveaux 1-2 de l'étage infralittoral supérieur (= zone à laminaires ou grandes algues brunes denses, avec plus de 3 pieds de laminaires par mètre carré) ont pu être échantillonnés tandis que l'horizon à laminaires clairsemées (niveau 3 = étage infralittoral inférieur) n'a pu faire l'objet de relevés puisqu'indiscernable, la ceinture à *Laminaria digitata* s'interrompant brutalement et ne se distinguant pas de celle des niveaux 1-2.

L'horizon circalittoral côtier (niveau 4 = étage circalittoral supérieur caractérisé par l'absence de laminaires mais la présence d'algues sciaphiles de densité décroissante avec la profondeur) a également été échantillonné.

Les listes des espèces retenues sont celles figurant dans le protocole, pour l'écorégion Manche orientale, à quoi s'ajoute un inventaire exhaustif des espèces présentes, à la fois pour la flore (macroalgues) et la faune (invertébrés fixés) pour la détermination de la richesse spécifique totale (10 quadrats en N1-N2 et 10 quadrats en N4). Le paramètre « étude des stipes de *Laminaria hyperborea* et de leurs épibioses » n'a pu être retenu, cette espèce étant absente sur l'ensemble du district Artois-Picardie. De même, la structure des populations d'algues arbustives pérennes n'a pu faire l'objet de relevés, les ceintures à laminaires ne descendant pas au-delà de -1m C.M.

Tableau 10 : Caractéristiques et coordonnées géographiques des stations relatives à l'échantillonnage des macroalgues benthiques de substrat dur rocheux en subtidal [CS : Contrôle de Surveillance, DDD = Degrés décimales (WGS84)]

Libellé	ME_dce	Statut	Lat_ddd	Long_ddd
SSDB10 - Audresselles SR	AC03	CS	50,8335214	1,5842637
SSDB11 – Wissant-Strouanne SR	AC02	CS	50,9131664	1,6768246

Pour chacun des sites, un transect a été positionné puis balisé et le relevé bathymétrique effectué sur sa longueur totale (25 m) au niveau de la ceinture à laminaires. La bathymétrie de la dernière laminaire présente a été relevée le long du transect mais compte tenu de la faible dénivellation, celle de la dernière algue dressée a dû être relevée en prospectant le fond au delà du transect de 25 m. Les mesures qualitatives et quantitatives ont été réalisées *in situ* pour les niveaux 1-2 et le niveau 4 sur 10 quadrats de 0,25 m², de manière aléatoire au sein des ceintures, dans des secteurs homogènes et représentatifs de la population. Les plongeurs notent systématiquement l'heure de prélèvement et la profondeur correspondante mesurée au fond. Ces profondeurs mesurées en plongée sont par la suite rapportées au zéro bathymétrique.

Sur chacun des sites, les paramètres mesurés ont été les suivants :

- Les limites d'extension en profondeur des différentes ceintures algales présentes
- La composition et la densité des espèces définissant l'étagement (laminaires et autres macroalgues participant à la définition des différentes ceintures)
- La composition spécifique (espèces caractéristiques et espèces opportunistes) ; relevé systématique et exhaustif de la totalité des espèces présentes fixées sur le substrat
- La richesse spécifique totale
- L'étude de la faune

Dans le cadre de ces observations subaquatiques, les plongeurs ont été confrontés à plusieurs contraintes, d'ordre notamment météorologique et de marnage, avec un accès sur site pas toujours garanti, même la veille ou le jour même de l'expérimentation, entraînant le report des missions à des dates ultérieures (mer trop agitée et non praticable, houle de surface, courants importants au fond et manque de visibilité). Une autre contrainte concerne la durée d'intervention restreinte en plongée, due aux courants très importants et très fréquents, laissant place à une étale de marée réduite. Pour chacune des stations, les observations et prélèvements ont été réalisés par le concours de plusieurs personnes travaillant simultanément sur le site, ce qui a permis de « rentabiliser » les journées propices aux mesures (plusieurs relevés par jour) et l'ensemble du suivi a ainsi pu être réalisé.

A l'issue des missions de terrain, les espèces non identifiées sur le terrain et prélevées sont déterminées au laboratoire. Les données brutes sont saisies, analysées, mises en forme et archivées sous forme numérique.

Tableau 11 : Caractéristiques marégraphiques (Boulogne-sur-mer, UT+2) des périodes concernées par les observations de terrain en subtidal (Wissant en juin, Audresselles en juillet)

Date	Matin			Après-midi		
	<i>Coef</i>	<i>Pleine mer</i>	<i>Basse mer</i>	<i>Coef</i>	<i>Pleine mer</i>	<i>Basse mer</i>
12 juin 2014	84	12h04	7h01			19h26
13 juin 2014	89	0h24	7h53	93	12h50	20h16
08 juillet 2014	47	8h36	3h15	51	21h13	15h51
23 juillet 2014	53	10h26	4h59	56	22h52	17h27

4.1 RELEVÉS SUR LE SITE D'AUDRESSELLES (AC03-SSDB10)

Compte tenu de la turbidité des eaux, la dernière algue dressée a été relevée à seulement -1,80 m C.M. et la dernière laminaire (*Saccharina latissima*) à -0,80 m. Les relevés dans les quadrats ont été effectués au niveau des ceintures dans la zone la plus représentative de la population et la plus homogène, à -0,50 m C.M. en moyenne pour le N1-N2 et à -1,20 m C.M. en moyenne pour le N4.

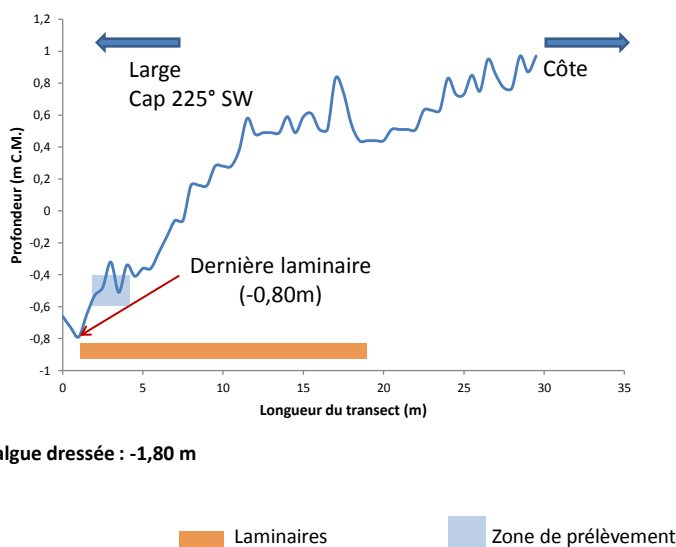


Figure 15 : Profil du transect subtidal sur le site d'Audresselles

Tableau 12 : Relevés effectués sur 10 quadrats en N1-2 pour le site d'Audresselles

Espèces définissant l'étagement		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Phéophycées	jeunes laminaires indéterminées										
	<i>Laminaria digitata</i>										
	<i>Laminaria hyperborea</i>										
	<i>Laminaria ochroleuca</i>										
	<i>Saccorhiza polyschides</i>										

Espèces caractéristiques		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Phéophycées	<i>Cladostephus spongiosus</i>					1					1
	<i>Dictyota dichotoma</i>	23	24	14	17	9	13	4	22	9	4
	<i>Saccharina latissima</i>	13	2	10	8	4	7	25	15	2	12
	<i>Sargassum muticum</i>										
Rhodophycées	<i>Ahnfeltia plicata</i>					2					2
	Algues calcaires dressées				3	2	1			3	
	<i>Apoglossum ruscifolium</i>										
	<i>Calliblepharis ciliata</i>										
	<i>Calliblepharis jubata</i>										
	<i>Callophyllis laciniata</i>										
	<i>Cordylecladia erecta</i>	28	82		19						
	<i>Cryptopleura ramosa</i>			7		3	3	2			
	<i>Dilsea carnosa</i>										
	<i>Erythroglossum laciniatum</i>	3		11	6	3		4	2	4	4
	<i>Halurus equisetifolius</i>										
	<i>Heterosiphonia plumosa</i>										
	<i>Phyllophora crispa</i>	12	8	3	6	5	3	3	2	7	2
	<i>Phyllophora pseudoceranoïdes</i>										
	<i>Plocamium cartilagineum</i>	5	7	6	14	6	11	7		8	6
<i>Polyneura bonnemaisonii</i>											
<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	3	3	12	5	8	1	3	3	3	2	

Espèces opportunistes		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Enteromorpha spp.</i>	11	14	11	13	12	3	1	5	12	
	<i>Ulva spp.</i>	15	5	14	14	16	13	15	16	20	20
Microalgues coloniales	Diatomées (filamenteuses)										

Phéophycées	<i>Desmarestia ligulata</i>					1					1
	<i>Ectocarpales</i>		6								
	<i>Hincksia spp.</i>										
Rhodophycées	<i>Ceramium spp.</i>	24	23	11	14	14	16	8	15	14	13
	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>	12	6	16	6	3	5		12	8	3
	<i>Heterosiphonia japonica</i>										
	<i>Polysiphonia spp.</i> (hormis <i>P. lanosa</i> et <i>P. elongata</i>)								1		

Espèces encroustantes ou "tapis" (%)		% / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Algues encroustantes	<i>Phymatolithon lenormandii</i>	0-1	1-5	1-5	1-5	1-5	0-1	0-1	1-5	0-1	
	<i>Cruoria pellita</i>										
Tapis homogène	<i>Rhodothamniella floridula</i>	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5			1-5	1-5	1-5

Autres espèces		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Bryopsis plumosa</i>	1	2	1	4				1		2
	<i>Chaetomorpha spp.</i>	5	2		2	3	9	11	4		5
	<i>Cladophora spp.</i>			3	1				4	1	
Rhodophycées	<i>Chondria dasyphylla</i>	1	3			4	1			2	2
	<i>Gracilaria gracilis</i>	3	2	18	14	9	3	2	6	6	4
	<i>Grateloupia filicina</i>	2	6	8	7	16	16	16	18	9	16
	<i>Halurus flosculosus</i>			3		1		1		1	1
	<i>Palmaria palmata</i>	2		4	3	4		5	1	3	8
	<i>Porphyra spp.</i>						1				
	<i>Rhodymenia holmesii</i>	3	18	7	8	7	12	7	16	18	21
<i>Solieria chordalis</i>		2	6							2	

Faune		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
	Balanes	29	26	11	5		7		17	28	
	<i>Actinothoe sphyrodeta</i>	1						1			
	<i>Morchellium argus</i> (%)	1-5	1-5	1-5	1-5			1-5	0-1		1-5
	<i>Polydora ciliata</i> (%)	25-50	5-25	5-25	5-25	1-5	5-25	50-75	25-50	5-25	50-75

Tableau 13 : Relevés effectués sur 10 quadrats en N4 pour le site d'Audresselles

Flore		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Chaetomorpha spp.</i>	4	4								
Phéophycées	<i>Dictyota dichotoma</i>	10	2	7	32	13	16	24		12	19
Rhodophycées	Algues calcaires dressées		16		3	12					
	<i>Chondria dasyphylla</i>	1		7	4	2	7			3	2
	<i>Cordylecladia erecta</i>		30								
	<i>Cryptopleura ramosa</i>	8	9	4	2	13	3	12	8	8	2
	<i>Gracilaria gracilis</i>		1	1		4	2		1	11	4
	<i>Grateloupia filicina</i>	11	18	8	8	2	3	4		8	14
	<i>Palmaria palmata</i>				1						
	<i>Phyllophora crispa</i>		3	1							
	<i>Plocamium cartilagineum</i>	10	4	5	12	20	8	5	9	3	
	<i>Polyides rotundus</i>								1		
	<i>Polyneura bonnemaisonii</i>				1						
	<i>Rhodymenia holmesii</i>		18	9	13	7	11	10	3	28	5
	<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	9	9	1	6	7	5	8		12	4
<i>Sciniaia furcelata</i>	4	2				1			9	45	

Flore espèces opportunistes		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Enteromorpha spp.</i>	27	42	40	28	24	11	60	25	29	13
	<i>Ulva spp.</i>	24	15	7	7	24	23	39	38	16	16
Rhodophycées	<i>Ceramium spp.</i>	3	7	5	7	3	11	8	8	7	9
	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>				1	2	1	1			1

Flore espèces encroustantes ou "tapis" (%)		% / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Algues encroustantes	<i>Phymatolithon lenormandii</i>		1-5						5-25	1-5	1-5
	<i>Cruoria pellita</i>								5-25		
Tapis homogène	<i>Rhodothamniella floridula</i>	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5		1-5			

Faune	Nb d'individus / Quadrats									
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Balanes	3		1	14		70		18		45
<i>Actinothoe sphyrodeta</i>										2
<i>Hymeniacion sanguinea</i> (%)							1-5			
<i>Morchellium argus</i> (%)					1-5	0-1	1-5			
<i>Polydora ciliata</i> (%)	5-25	5-25	50-75	5-25	25-50	5-25	50-75	5-25	25-50	5-25
<i>Urticina felina</i>								2		

4.2 RELEVES SUR LE SITE DE WISSANT (LES WARDES AC02-SSDB11)

Compte tenu de la turbidité des eaux, la dernière algue dressée a été relevée à seulement -4,90 m C.M. et la dernière laminaire (*Laminaria digitata*), du fait de la configuration particulière du site à +0,30 m côté large et -0,10 m en direction de la côte. Les relevés dans les quadrats ont été effectués au niveau des ceintures dans la zone la plus représentative de la population et la plus homogène, à +0,40 m C.M. en moyenne pour le N1-N2 et à -0,60 m C.M. en moyenne pour le N4.

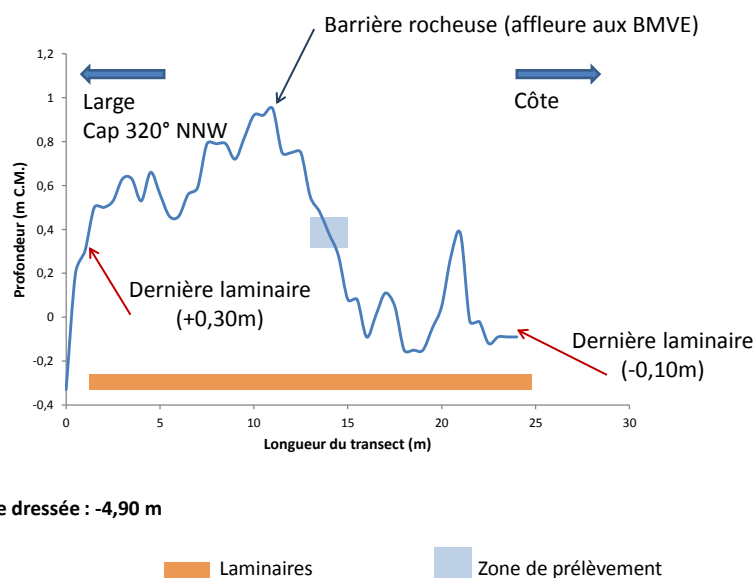


Figure 16 : Profil du transect subtidal sur le site de Wissant (Les Wardes)

Tableau 14 : Relevés effectués sur 10 quadrats en N1-2 pour le site de Wissant

Espèces définissant l'étagement		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Phéophycées	jeunes laminaires indéterminées	10	3	3	1	10		7	1	5	
	<i>Laminaria digitata</i>	2		3	2			1	3	1	1
	<i>Laminaria hyperborea</i>										
	<i>Laminaria ochroleuca</i>										
	<i>Saccorhiza polyschides</i>										

Espèces caractéristiques		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Phéophycées	<i>Cladostephus spongiosus</i>	2		3							
	<i>Dictyota dichotoma</i>										
	<i>Saccharina latissima</i>					1					
	<i>Sargassum muticum</i>										
Rhodophycées	<i>Ahnfeltia plicata</i>					2	6		5	2	
	Algues calcaires dressées	2	10			1				1	
	<i>Apoglossum rusCIFolium</i>						3				
	<i>Calliblepharis ciliata</i>										
	<i>Calliblepharis jubata</i>										
	<i>Callophyllis laciniata</i>										
	<i>Cordylecladia erecta</i>	101	50	80	42	10	48		31	74	24
	<i>Cryptopleura ramosa</i>	7	14	11		1	3			1	
	<i>Dilsea carnosa</i>										
	<i>ErythroglOSSum laciniatum</i>	11	6	9	18	8	12	6	15	8	12
	<i>Halurus equisetifolius</i>										
	<i>Heterosiphonia plumosa</i>										
	<i>Phyllophora crista</i>			7					2		
	<i>Phyllophora pseudoceranoïdes</i>		2								
<i>Plocamium cartilagineum</i>	6	6	3	4	8	3	11	10	10	3	
<i>Polyneura bonnemaisonii</i>			2				1	2	4	9	
<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	27	8	20	23	3	24	11	26	36	14	

		Nb d'individus / Quadrats									
Espèces opportunistes		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Enteromorpha spp.</i>	12	4	9	1	11	6	142	5	2	
	<i>Ulva spp.</i>	20	6	6	10	32	11	20	9	4	8
Microalgues coloniales	Diatomées (filamenteuses)										
Phéophycées	<i>Desmarestia ligulata</i>	1		1		3	4	7			
	<i>Ectocarpales</i>										
	<i>Hinckia spp.</i>			2							
Rhodophycées	<i>Ceramium spp.</i>	30	18	20	42	12	53	16	24	26	22
	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>	5	2	2	6		4	4	6	4	3
	<i>Heterosiphonia japonica</i>										
	<i>Polysiphonia spp.</i> (hormis <i>P. lanosa</i> et <i>P. elongata</i>)				2						

		% / Quadrats									
Espèces encroûtantes ou "tapis" (%)		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Algues encroûtantes	<i>Phymatolithon lenormandii</i>										
	<i>Cruoria pellita</i>										
Tapis homogène	<i>Rhodothamniella floridula</i>	1-5	1-5	1-5			1-5				

		Nb d'individus / Quadrats									
Autres espèces		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Chaetomorpha spp.</i>	3	6	15	9		10	14	3	6	
	<i>Cladophora spp.</i>	33	14	13	6	13	18	16	11	6	5
Rhodophycées	<i>Antithamnion spp.</i>		1		1		1			1	
	<i>Callithamnion granulatum</i>	1			3	1	1				
	<i>Callithamnion tetragonium</i>	1	6	7		1					
	<i>Chondrus crispus</i>				1		3		1	7	2
	<i>Gracilaria gracilis</i>			3			8		1		
	<i>Halurus flosculosus</i>	4	12	11	6	2	3		1	1	3
	<i>Palmaria palmata</i>	15	4	9	4	5	4	5	11	2	2
	<i>Porphyra spp.</i>						1				
	<i>Rhodymenia holmesii</i>	6			4		5				
<i>Sciniaia furcelata</i>	1				2		1		1		

		Nb d'individus / Quadrats									
Faune		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
	Balanes				7	90	4	181	9	5	
	<i>Actinothoe sphyrodeta</i>			1		2	5				
	<i>Hymeniacidon sanguinea</i> (%)					0-1	0-1				
	<i>Morchellium argus</i> (%)						0-1				
	<i>Mytilus edulis</i>			1							
	<i>Polydora ciliata</i> (%)	0-5	0-5	0-5				0-5		0-5	

Tableau 15 : Relevés effectués sur 10 quadrats en N4 pour le site de Wissant

Flore		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Chaetomorpha spp.</i>	2									
	<i>Cladophora spp.</i>	6		14	5	5	8	6	2	2	1
Phéophycées	<i>Chorda filum</i>		6			1					
Rhodophycées	<i>Antithamnion spp.</i>		4				1	2	6		1
	<i>Apoglossum ruscifolium</i>	1					4	1	2		3
	<i>Callithamnion granulatum</i>	1									
	<i>Callithamnion tetragonium</i>					1					
	<i>Chondrus crispus</i>									1	
	<i>Cordylecladia erecta</i>	12		40	9	33	32	56	31	4	16
	<i>Cryptopleura ramosa</i>					2				1	
	<i>Cystoclonium purpureum</i>					1					
	<i>Erythroglossum laciniatum</i>	10	6	15	2	8	2	3	1	5	4
	<i>Gracilaria gracilis</i>		12	6	4	9	4				
	<i>Halurus flosculosus</i>				1	1	4	4			2
	<i>Palmaria palmata</i>	1	1								
	<i>Phyllophora crispa</i>						1	1	3	8	3
	<i>Plocamium cartilagineum</i>	2	2	2	6	6	4	2	2	2	
	<i>Polyneura bonnemaisonii</i>	1	2		1	1	2	3	3	8	17
	<i>Porphyra spp.</i>			3		1					
<i>Rhodymenia holmesii</i>				3	1		8				
<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	4	1	5	2	5	4	8				

Flore espèces opportunistes		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Chlorophycées	<i>Enteromorpha spp.</i>	1	2		4	4		1	4	1	3
	<i>Ulva spp.</i>	1	1	3	2	10	3	4	5	3	8
Phéophycées	<i>Desmarestia ligulata</i>						1				
	<i>Ectocarpales</i>					1					
Rhodophycées	<i>Ceramium spp.</i>	16	17	56	33	46	30	31	35	20	35
	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>	2			1	2		2	2	2	

Flore espèces encroustantes ou "tapis" (%)		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Tapis homogène	<i>Rhodothamniella floridula</i>							0-5			

Faune		Nb d'individus / Quadrats									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
	Balanes		6		4	4	5				
	<i>Actinothoe sphyrodeta</i>	1		1	1			1	4		2
	<i>Hymeniacidon sanguinea</i> (%)							0-1	0-1		
	<i>Molgula spp.</i>		3	1							
	<i>Morchellium argus</i> (%)				1-5	0-1		1-5		0-1	
	<i>Mytilus edulis</i>		1								
	<i>Polydora ciliata</i> (%)	25-50	0-5	0-5	0-5	5-25	0-5	25-50	25-50	25-50	50-75
	<i>Sycon ciliatum</i>		1								1

5 SYNTHÈSE 2014 DES INDICES BENTHIQUES.

Depuis la mise en place de la surveillance en 2007, les paramètres biologiques benthiques pour la classification de l'état écologique des masses d'eau côtières et de transitions ont été suivis *a minima* aux fréquences recommandées par l'article 1.3.4 de l'annexe V de la DCE.

Comme préconisé par l'article 1.4.1. de l'annexe V de la DCE, les résultats sont exprimés comme des Ratio de Qualité Ecologique (EQR) allant de zéro à un. Ils sont divisés en cinq classes dont les bornes sont spécifiques à chaque paramètre. Les valeurs proches de zéro représentent le « mauvais » état écologique et les valeurs proches de un le « très bon » état écologique.

Tableau 16 : Grilles d'évaluations de la qualité écologique des masses d'eau des paramètres benthiques : faune invertébré benthique (FAU), angiospermes (ANG), macroalgues de substrat dur intertidales (MAID), subtidales (MASD) et opportunistes (AO)

	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon	
FAU (M-AMBI)	[0;0,2]	[0,21;0,39]	[0,4;0,53]	[0,54;0,77]	[0,78;1]	Borja <i>et al.</i> (2012)
ANG (EQR)	[0;0,19]	[0,2;0,39]	[0,4;0,59]	[0,6;0,79]	[0,8;1]	Carletti & Heiskanen (2009)
MAID (EQR)	[0;19]	[20;40]	[41;61]	[62;82]	[83;100]	Ar Gall & Le Duff (2007)
MASD (EQR)	[0;0,24]	[0,25;0,44]	[0,45;0,64]	[0,65;0,84]	[0,85;1]	Derrien & Le Gal (2011)
AO (EQR)	[0;0,2]	[0,21;0,4]	[0,41;0,6]	[0,61;0,8]	[0,81;1]	Rossi (2012)

La classification de l'état écologique d'une masse d'eau se fait par le plus déclassant des résultats du contrôle biologique et physico-chimique. Le classement de la masse d'eau est représenté par un code couleur (Tableau 16). Si c'est une masse d'eau fortement modifiée le classement est illustré par le même code couleur avec des hachures égales de gris.

Le Tableau 17 synthétise les derniers résultats du contrôle biologique benthique. **Ces résultats sont fournis à titre indicatif, car actuellement tous les indices utilisés en France ne sont pas validés au niveau européen. De plus les eaux de transitions ne sont actuellement pas dotées d'indices pour l'élément de qualité invertébrés benthiques.** Il est donc très important de ne pas réduire l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau à une couleur, les valeurs des indices et la classification qui en découle ne devant être utilisées qu'avec l'appui des spécialistes.

Ainsi le Tableau 18 récapitule les interprétations des résultats des indices par élément de qualité benthique.

Tableau 17 : Synthèse des derniers résultats d'EQR du contrôle biologique des éléments de qualité benthique publiés par les experts : faune invertébré benthique (FAU), macroalgues de substrat dur intertidales (MAID) et subtidales (MASD).¹ Garcia *et. al.* (2015),² Gevaert & Le Duff,³ Derrien & Le Gall.

Masses d'eau	FAU (2010) ¹	MAID (2014) ²	MASD (2014) ³
AC02	0,73		0,41
AC03		65,43	0,41
AC05	0,81		
AT01			
AT03M			

Les EQR mis à jour avec les données des suivis 2013 et 2014 devraient être publiés en 2016.

Tableau 18 : Avis d'experts sur les résultats des indices biologiques utilisés pour la classifications des masses d'eau.

Paramètres	Interprétations	Bibliographie
Invertébrés benthiques	<p>En eaux côtières l'évaluation des masses d'eau pour les campagnes de 2007 et 2010, s'est faite sur l'ensemble des façades Manche et Atlantique afin d'augmenter la robustesse de l'analyse.</p> <p>Les résultats des campagnes 2013 et 2014 ne sont pas encore disponibles.</p> <p>Actuellement aucun indice n'a été choisi en eaux de transition.</p>	<p>Partie 2.5 Calcul de l'indice (p. 19 du présent rapport) Garcia <i>et. al.</i> (2015)</p>
Macroalgues de substrat dur intertidal	<p>Suite à l'étude réalisée sur cinq sites bretons en 2012-2013, il a été montré qu'un échantillonnage supplémentaire en automne apportait une expertise complémentaire au calcul de l'indice sur les données de l'échantillonnage du printemps.</p>	<p>Ar Gall & Le Duff (2013)</p>
Macroalgues de substrat dur subtidal	<p>Suite à une étude réalisée en 2013 sur 4 sites bretons, un nouveau protocole (DCE 2) a été proposé pour optimiser l'échantillonnage (nombre de quadrat) et l'évaluation des masses d'eau (fréquence de suivi)</p>	<p>Derrien & Le Gal (2014)</p>

6 OPERATIONS PROGRAMMEES EN 2015 ET 2016

En **2015** les actions proposées sont les suivantes :

- Le suivi **stationnel des macroinvertébrés** de substrats meubles des **sites d'appui dans les masses d'eau côtières et de transition.**

Trois stations seront échantillonnées dans le cadre du suivi annuel des sites d'appui.

- 2 stations en eaux de transition dans le port de Calais.
- 1 station en eaux côtières

Pour l'année **2016**, le volet benthique comprendra les éléments de qualité suivants :

- Le suivi **stationnel des macroalgues de substrats durs** dans les masses d'eau côtières : Un site en domaine intertidal et deux sites en domaine subtidal.
- Le suivi **stationnel des macroinvertébrés de substrats meubles** de 5 stations de masses d'eau côtières, ainsi que des 2 sites d'appui (MET) seront échantillonnés

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LIVRE/OUVRAGE :

- Cabioc'h J., Floc'h J.Y., Le Toquin A., Boudouresque C.F., Meinesz A., Verlaque M., 1992. Guide des algues des mers d'Europe. Delachaux et Niestlé. Paris, 231 p.
- Copejans E., Kling R., 1995. Flore algologique des côtes du Nord de la France et de la Belgique. Jardins Botaniques National de Belgique. Meise, 454 p.
- Gayral P., 1982. Les algues des côtes françaises (Manche & Atlantique). Editions Doin. Paris, 632 p.

ARTICLE/RAPPORT :

- Anderson M.J. 2005. PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- Anderson M.J., Legendre P., 1999. An empirical comparison of permutation methods for tests of partial regression coefficients in a linear model. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 62: 271–303.
- Ar Gall E., Le Duff M., 2007. Protocole d'observation in situ et proposition de calcul d'un indice de qualité pour le suivi des macroalgues sur les estrans rocheux dans le cadre DCE. Complément de la FT DCE n°3 en date du 31/12/2007. 14p.
- Ar Gall, E., and M. Le Duff, 2013. Coordination nationale et expertises pour les MEC – Etude des relations pression – impact pour les MEC et les MET – Etude de l'extension de l'application du protocole MET – Révision de la surveillance MEC (intérêt d'une deuxième saison). Rapport final ONEMA / LEMAR / UBO / IUEM / IFREMER. 75 p. <http://wwz.ifremer.fr/dce/content/download/83009/1042222/file/FA-4-Rapport%20final%20L%C3%A9mar%20algues%20Onema%20Ifremer%202013.pdf>
- Bajjouk, T., and B. Guillaumont. "Classification Des Habitats EUNIS - Tome I - Habitats Littoraux VF," March 2015. http://spn.mnhn.fr/servicepatrimoinenaturel/images/COMMUNICATION/SUPPORTS/AUTRES_RAPPORTS/Eunis_Traduction_Tome1_201503_V1.pdf.
- Bald J., Borja A., Muxika I., Franco J., Valencia V., 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: a case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin* 50: 1508–1522.
- Blott, S., Pye, K. 2001. Gradistat: grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediment. *Earth, Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.
- Borja A., 2013. Ecological indices based on macrobenthos: the case of AMBI and M-AMBI in assessing seafloor integrity status, PERSEUS Summer School "The contribution of environmental indices in meeting objectives and principles of Marine Strategy Framework Directive. 3-7 June 2013, Costanta, Romania.
- Borja A., Muxika I., 2005. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin* 50: 787–789.
- Borja, A., J. Franco, V. Valencia, J. Bald, I. Muxika, M.J. Belzunce, O. Solaun, 2004. Implementation of the European Water Framework Directive from the Basque Country (northern Spain): a methodological approach, *Marine Pollution Bulletin*, 48(3-4): 209-218.
- Clarke K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117–143.

- Derrien-Courtel, S., and A. Le Gal. "Suivi Des Macroalgues Subtidales de La Façade Manche-Atlantique," 2011. http://envlit.ifremer.fr/content/download/80964/554115/version/3/file/DCE_Macroalg+sub_Derrien+et+Le+Gal_2010.pdf.
- Derrien-Courtel, S., Le Gal, A., 2014. Protocole de surveillance DCE pour l'élément de qualité « Macroalgues subtidales » - Second cycle de suivi (DCE-2) - Version 2014-V1, janvier 2014 ed. Contrat Ifremer-MNHN, p. 28
- Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes, FR, 22.12.2000, L 327/1.
- Dufrêne, M., & Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3), 345-366.
- Elliott, B., S. Degraer, M. Bursey, M. Vincx, and others. "Intertidal Zonation of Macroinfauna on a Dissipative, Sandy Beach at De Panne (Belgium): A Pilot Study." *Biologisch Jaarboek (Dodonaea)* 64 (1997). <http://www.vliz.be/en/imis?refid=7281>.
- Fournier J., Bonnot-Courtois C., Paris R., Voltaire O., Le Vot M., 2012. Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 99 p.
- Fournier J., Gallon R.K., Paris R., 2014. G2Sd: a new R package for the statistical analysis of unconsolidated sediments, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1/2014 | 2014, 73-78.
- Garcia A., Brun M., Soudant D., Pothier A., Gauthier E., Desroy N. (2015). Valorisation des données issues du contrôle de surveillance du compartiment benthique suivi dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : campagnes 2007 et 2010 – Élément de qualité biologique « invertébrés benthiques de substrats meubles » – Masses d'eau côtières - Façades Manche et Atlantique. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00273/38404/>
- Guérin L., Desroy N., 2008. Protocole d'observation pour le suivi de la macrofaune benthique subtidale et intertidale des sédiments meubles côtiers dans le cadre DCE.
- Guérin L., Le Mao P., Desroy N., 2007. Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) – Etat des lieux et propositions – District Seine-Normandie. Rapport Ifremer, 82 p.
- Guillaumont B., Gauthier E., 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE – Recommandations concernant le benthos marin. Rapport Ifremer, 27 p.
- Hily C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest. Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 696 p.
- ISO/FDIS 16665, 2005. Qualité de l'eau — Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.
- Muxika, I., Á. Borja, J. Bald, 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive, *Marine Pollution Bulletin*, 55: 16-29.
- Rossi N., 2012. Domaine d'application et validation des grilles d'évaluation de la qualité des masses d'eau côtières et de transition élaborées dans le cadre de la DCE- Élément de qualité biologique « macroalgues opportunistes ». Partenariat Onema-Ifremer. CEVA. 55 p.
- Thorne R.S.J., Williams P. & Cao Y., 1999. The influence of the data transformations on biological monitoring studies using macroinvertebrates. *Wat. Res.* 33: 343-350.
- Wentworth C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.

8 ANNEXES

Annexe 1 :

	LIBELLE	LOCALITE	ME_DCE	STATUT	PARTNER	LAT_DDD	LON_DDD
Invertébrés Benthiques	SIMF16 - Le Crotoy IM	Le Crotoy	AT01	CS	GEMEL P	50,2440132	1,5739515
	SIMF17 - Cayeux IM	Cayeux	AT01	CS	GEMEL P	50,2116858	1,5800652
	SIMF18 - Merlimont IM	Merlimont	AC05	CS	SMW	50,4658479	1,5653656
	SIMF19 - Oye IM	Oye	AC02	CS	SMW	51,000008	2,021024
	SIMF20 – 3_25 – St Valery IM	St Valery	AT01	CS	GEMEL P	50,1939521	1,6195579
	SIMF21 – 5_18 – Le Crotoy IM	Le Crotoy	AT01	CS	GEMEL P	50,2190554	1,6079757
	SSMF15 SM	Baie de Sommes	AC05	CS	SMW	50,2346802	1,4620202
	SSMF16 SM	Merlimont	AC05	SA	SMW	50,4650165	1,5488612
	SSMF17 SM	Calais	AT03M	SA	SMW	50,9700115	1,8450279
	SSMF17bis – Calais SM	Calais	AT03M	SA	SMW	50,9700051	1,8366928
	SSMF18 SM	Grand Fort Philippe	AC02	CS	SMW	51,0233456	2,080022
	SSMF19 – CALPORext – Calais SM	Calais	AT03	CS	SMW	50,9717174	1,8414669
SSMF20 – CALPORint – Calais SM	Calais	AT03	CS	SMW	50,9687008	1,8529173	
Macrophy	SIDB14 - Audresselles IR	Audresselles	AC03	CS	SMW	50,8292788	1,5885898
	SSDB10 - Audresselles SR	Audresselles	AC03	CS	SMW	50,8335214	1,5842637
	SSDB11 - Wissant-Strouanne SR	Wissant	AC02	CS	SMW	50,9131664	1,6768246

Annexe 2 :

	Texture	Boulder	Gravel	Sand	mud	boulder
2007_SIMF16_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.99	95.25	3.76	0
2007_SIMF17_I_T	Sand	0	0	99.93	0.07	0
2007_SIMF18_I_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.2	99.8	0	0
2007_SIMF19_I_C	Gravelly Sand	0	5.21	94.79	0	0
2007_SSMF15_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.8	99.1	0.1	0
2007_SSMF16_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.2	99.6	0.2	0
2007_SSMF17_S_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.4	99.6	0	0
2007_SSMF18_S_C	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.3	89.089	10.611	0
2008_SIMF16_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	1.38	91.919	6.701	0
2008_SIMF17_I_T	Sand	0	0	99.69	0.31	0
2008_SIMF20_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.08	98.701	1.219	0
2008_SIMF21_I_T	Sand	0	0	99.24	0.76	0
2008_SSMF17_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.4	56.84	42.76	0
2008_SSMF19_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.15	58.29	41.56	0
2008_SSMF20_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.16	56.069	43.771	0
2009_SSMF17_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.11	81.032	18.858	0
2010_SIMF18_I_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.15	99.82	0.03	0
2010_SIMF19_I_C	Gravelly Sand	0	7.4	92.54	0.06	0
2010_SSMF15_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.97	98.56	0.47	0
2010_SSMF16_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.25	99.46	0.29	0
2010_SSMF18_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	2.19	89.6	8.21	0
2011_SIMF16_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.12	91.982	7.898	0
2011_SIMF17_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.19	99.311	0.5	0

2011_SIMF20_I_T	Sand	0	0	99.9	0.1	0
2011_SIMF21_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	1.52	97.38	1.1	0
2011_SSMF17_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.15	54.645	45.205	0
2011_SSMF17bis_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.48	54.301	45.219	0
2011_SSMF19_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.09	59.202	40.708	0
2011_SSMF20_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	1.88	50.62	47.5	0
2012_SSMF17_S_T	Gravelly Muddy Sand	0	16.587	56.013	27.401	0
2012_SSMF17bis_S_T	Gravelly Sand	0	29.939	68.852	1.209	0
2013_SIMF18_I_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.79	99.16	0.05	0
2013_SIMF19_I_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.66	99.3	0.04	0
2013_SSMF15_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	3.79	96.08	0.13	0
2013_SSMF16_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.08	99.51	0.41	0
2013_SSMF17_S_T	Gravelly Mud	0	6.254	29.728	64.018	0
2013_SSMF17bis_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.83	76.79	22.38	0
2013_SSMF18_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	2.51	91.181	6.309	0
2014_SIMF16_I_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.13	95.17	4.7	0
2014_SIMF17_I_T	Sand	0	0	94.509	5.491	0
2014_SIMF20_I_T	Sand	0	0	99.77	0.23	0
2014_SIMF21_I_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.9	82.01	17.09	0
2014_SSMF16_S_C	Slightly Gravelly Sand	0	0.23	98.05	1.72	0
2014_SSMF17_S_T	Muddy Gravel	0	44.636	21.758	33.607	0
2014_SSMF17bis_S_T	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.165	78.019	21.816	0
2014_SSMF19_S_T	Slightly Gravelly Sand	0	0.55	98	1.45	0
2014_SSMF20_S_T	Gravelly Sand	0	5.211	85.919	8.871	0

annee	station	D10(um)	D50(um)	D90(um)	D90/D10	D90-D10	D75/D25	D75-D25	Trask(So)	Krumbein(Qd)
2007	SIMF16	237.606	170.78	116.202	0.489	-121.404	0.722	-54.449	1.177	-0.235
2008	SIMF16	232.392	166.092	89.207	0.384	-143.186	0.687	-60.257	1.206	-0.271
2011	SIMF16	210.514	148.025	72.402	0.344	-138.112	0.635	-65.913	1.254	-0.327
2014	SIMF16	241.981	174.062	107.992	0.446	-133.989	0.69	-63.338	1.204	-0.267
2007	SIMF17	247.734	193.912	141.643	0.572	-106.09	0.745	-57.682	1.159	-0.213
2008	SIMF17	243.418	193.133	154.401	0.634	-89.016	0.768	-51.554	1.141	-0.19
2011	SIMF17	261.755	191.789	140.942	0.538	-120.813	0.739	-59.344	1.164	-0.219
2014	SIMF17	184.471	122.766	71.706	0.389	-112.765	0.662	-51.39	1.229	-0.298
2007	SIMF18	361.524	227.914	167.242	0.463	-194.282	0.667	-95.747	1.225	-0.292
2010	SIMF18	376.694	234.868	163.823	0.435	-212.871	0.646	-105.932	1.245	-0.316
2013	SIMF18	266.02	183.985	155.004	0.583	-111.016	0.819	-37.217	1.105	-0.144
2007	SIMF19	648.322	236.465	181.394	0.28	-466.927	0.704	-87.747	1.192	-0.253
2010	SIMF19	1091.818	230.827	166.804	0.153	-925.013	0.658	-101.562	1.232	-0.302
2013	SIMF19	301.729	207.715	166.506	0.552	-135.223	0.751	-59.928	1.154	-0.207
2008	SIMF20	204.084	159.825	110.837	0.543	-93.248	0.722	-51.213	1.177	-0.235
2011	SIMF20	223.708	168.898	126.203	0.564	-97.505	0.742	-49.485	1.161	-0.215
2014	SIMF20	196.928	156.3	118.319	0.601	-78.609	0.745	-45.977	1.158	-0.212
2008	SIMF21	221.052	170.985	121.237	0.548	-99.815	0.747	-48.651	1.157	-0.21
2011	SIMF21	237.717	169.486	110.607	0.465	-127.11	0.698	-59.297	1.197	-0.259
2014	SIMF21	192.223	116.397	8.573	0.045	-183.65	0.537	-69.612	1.365	-0.449

2007	SSMF15	352.83	236.917	174.831	0.496	-177.999	0.721	-79.973	1.178	-0.236
2010	SSMF15	382.809	256.207	185.5	0.485	-197.309	0.697	-94.026	1.198	-0.261
2013	SSMF15	492.397	232.39	171.671	0.349	-320.725	0.677	-95.854	1.215	-0.281
2007	SSMF16	280.276	210.787	157.136	0.561	-123.14	0.753	-58.682	1.152	-0.204
2010	SSMF16	287.755	217.547	158.705	0.552	-129.049	0.779	-53.424	1.133	-0.18
2013	SSMF16	246.099	189.816	140.587	0.571	-105.512	0.754	-54.608	1.152	-0.204
2014	SSMF16	255.388	199.001	151.575	0.594	-103.813	0.751	-57.335	1.154	-0.207
2007	SSMF17	279.087	214.725	167.488	0.6	-111.599	0.78	-52.892	1.133	-0.18
2008	SSMF17	247.705	135.404	2.327	0.009	-245.378	0.041	-201.114	4.95	-2.307
2009	SSMF17	249.234	185.655	6.994	0.028	-242.24	0.514	-109.268	1.394	-0.479
2011	SSMF17	259.759	145.393	2.22	0.009	-257.539	0.037	-195.617	5.168	-2.369
2012	SSMF17	2387.795	167.642	3.786	0.002	-2384.009	0.058	-469.78	4.154	-2.055
2013	SSMF17	974.529	17.742	1.744	0.002	-972.785	0.017	-245.382	7.743	-2.953
2014	SSMF17	5969.328	367.423	2.948	0	-5966.38	0.003	-5490.119	18.873	-4.238
2011	SSMF17bis	280.356	141.118	2.22	0.008	-278.136	0.036	-202.482	5.256	-2.394
2012	SSMF17bis	5728.947	247.377	145.431	0.025	-5583.516	0.078	-2243.85	3.581	-1.84
2013	SSMF17bis	234.319	162.236	5.13	0.022	-229.189	0.54	-87.92	1.361	-0.444
2014	SSMF17bis	223.957	156.999	5.355	0.024	-218.602	0.47	-99.162	1.459	-0.545
2007	SSMF18	252.838	199.462	32.305	0.128	-220.532	0.716	-65.343	1.182	-0.241
2010	SSMF18	394.139	215.203	102.51	0.26	-291.629	0.592	-111.555	1.3	-0.378
2013	SSMF18	422.16	217.494	116.746	0.277	-305.414	0.566	-123.102	1.329	-0.411
2008	SSMF19	234.208	129.923	2.386	0.01	-231.822	0.044	-199.015	4.779	-2.257
2011	SSMF19	244.99	137.024	2.431	0.01	-242.559	0.048	-188.159	4.551	-2.186
2014	SSMF19	207.372	154.852	103.443	0.499	-103.929	0.707	-53.593	1.189	-0.25
2008	SSMF20	299.284	136.878	2.281	0.008	-297.003	0.036	-220.936	5.305	-2.407
2011	SSMF20	298.618	168.122	2.134	0.007	-296.485	0.029	-228.425	5.844	-2.547
2014	SSMF20	1317.279	262.75	66.036	0.05	-1251.243	0.321	-323.713	1.765	-0.82

Annexe 3 :

	S	N	%NA	%G1	%G2	%G3	%G4	%G5
2007_SIMF16_I_T	14	8363	1,27	0	0	98,58	0,71	0,7
2007_SIMF17_I_T	14	346	3,18	57,91	0,9	37,01	0,6	3,58
2007_SIMF18_I_C	7	58	12,07	94,12	3,92	1,96	0	0
2007_SIMF19_I_C	11	1160	0,69	58,94	0	41,06	0	0
2007_SSMF15_S_C	51	2945	0,51	2,8	94,88	1,47	0,85	0
2007_SSMF16_S_C	31	1568	4,21	6,52	91,94	0,93	0,6	0
2007_SSMF17_S_T	21	169	1,78	57,23	18,67	21,08	0	3,01
2007_SSMF18_S_C	22	49744	0,01	0,09	99,73	0,18	0	0
2008_SIMF16_I_T	14	15631	0,84	0,02	0	99,19	0,06	0,73
2008_SIMF17_I_T	11	1081	1,11	96,54	0	2,06	0	1,4
2008_SIMF20_I_T	6	173	0	77,46	0	22,54	0	0
2008_SIMF21_I_T	14	1593	0,06	14,7	0	84,92	0,38	0
2008_SSMF17_S_T	5	48	4,17	2,17	2,17	95,65	0	0
2008_SSMF19_S_T	23	6917	0	0,3	0,33	62,48	0,36	36,52
2008_SSMF20_S_T	11	54	0	5,56	9,26	50	1,85	33,33

2009_SSMF17_S_T	9	68	5,88	17,19	3,12	73,44	1,56	4,69
2010_SIMF18_I_C	12	126	0	32,54	38,1	29,37	0	0
2010_SIMF19_I_C	9	310	0,97	98,05	0,33	1,63	0	0
2010_SSMF15_S_C	39	617	1,78	25,74	46,04	21,45	6,77	0
2010_SSMF16_S_C	35	803	1,49	64,98	26,04	4,93	4,05	0
2010_SSMF18_S_C	30	2251	0,18	45,26	23,9	30,62	0,22	0
2011_SIMF16_I_T	16	17926	0,21	0	0	85,9	0,06	14,05
2011_SIMF17_I_T	10	754	0,53	96,53	0	3,33	0	0,13
2011_SIMF20_I_T	6	312	0	95,51	0	4,49	0	0
2011_SIMF21_I_T	17	603	49,25	2,94	1,31	94,77	0	0,98
2011_SSMF17_S_T	8	47	0	12,77	6,38	80,85	0	0
2011_SSMF17bis_S_T	7	57	0	8,77	7,02	84,21	0	0
2011_SSMF19_S_T	16	51	0	13,73	19,61	58,82	1,96	5,88
2011_SSMF20_S_T	17	101	0	28,71	3,96	57,43	0,99	8,91
2012_SSMF17_S_T	35	13442	0,01	1,55	95,61	1,96	0,09	0,79
2012_SSMF17bis_S_T	2	3	66,67	0	100	0	0	0
2013_SIMF18_I_C	15	57	7,02	32,08	62,26	5,66	0	0
2013_SIMF19_I_C	14	78	11,54	8,7	5,8	84,06	0	1,45
2013_SSMF15_S_C	69	1001	13,49	31,87	15,47	52,08	0,58	0
2013_SSMF16_S_C	62	1134	3,79	31,35	66,36	2,02	0,18	0,09
2013_SSMF17_S_T	13	44	2,27	44,19	2,33	34,88	13,95	4,65
2013_SSMF17bis_S_T	67	2903	1,89	2,84	84,59	9,94	0,77	1,86
2013_SSMF18_S_C	23	1176	0,17	42,16	33,73	23,76	0,34	0
2014_SIMF16_I_T	18	10230	0,07	0	0,02	79,69	0,03	20,26
2014_SIMF17_I_T	4	114	0	0	0	93,86	6,14	0
2014_SIMF20_I_T	4	25	0	56	0	4	36	4
2014_SIMF21_I_T	16	9606	0	0,01	0	96,72	0,47	2,8
2014_SSMF16_S_C	40	381	4,46	48,35	37,36	4,67	9,62	0
2014_SSMF17_S_T	12	363	20,94	3,14	1,05	95,82	0	0
2014_SSMF17bis_S_T	29	10856	1,46	0,52	75,07	24,27	0,07	0,07
2014_SSMF19_S_T	39	4605	7,04	6,45	9,32	83,58	0,28	0,37
2014_SSMF20_S_T	5	45	86,67	0	16,67	83,33	0	0