

Aurélie Garcia
Nicolas Desroy
Patrick Le Mao

ODE/LITTORAL/LERBN-13-007



Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2012

> District Artois-Picardie

Octobre 2013



Coordination

Ifremer



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : Octobre 2013
Validé par : Adresse électronique :		nombre de pages : 17 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 2012 – 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		ODE/LITTORAL/LERBN-13-007
Cadre de la recherche : Soutien à la Directive Cadre Eau		
Destinataires : Agence de l'eau Artois-Picardie, DIREN Nord-Pas de Calais et Picardie, Rebent		
Résumé Ce rapport présente les résultats des opérations menées en 2012 (contrôle de surveillance des invertébrés benthiques, des angiospermes marines et des algues opportunistes), 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 2012 (monitoring control for benthic invertebrates, marine angiosperms and opportunistic algae) 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		

SOMMAIRE

1	Rappel du contexte et des obligations imposées par la Directive Européenne 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 Artois-Picardie.....	2
	1.3 Partenaire de la mise en œuvre de la surveillance du compartiment benthique en Artois-Picardie.....	2
2	Suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques des sites d'appui.....	3
	2.1 Objectifs de l'étude.....	3
	2.2 Stratégie générale	3
	2.2.1 Prélèvements et analyses biologiques.....	4
	2.2.2 Prélèvements et analyses sédimentaires	4
	2.2.3 Traitement des données	4
	2.3 Qualification biologique des masses d'eau côtières	5
	2.3.1 Conditions d'utilisation du M-AMBI	7
	2.3.2 Traitement de la base de données	7
	2.4 Résultats.....	8
	2.4.1 Caractéristiques sédimentaires.....	8
	2.4.2 Caractéristiques biologiques générales des sites d'appui depuis 2007.....	9
	2.5 Conclusion	12
3	Synthèse 2012 des indices benthiques	13
4	Opérations programmées de 2013 à 2015	14
5	Références bibliographiques	16

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, on retiendra les éléments les plus sensibles "(...) *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 5 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 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 PARTENAIRE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE DU COMPARTIMENT BENTHIQUE EN ARTOIS-PICARDIE

Afin d'assurer la bonne réalisation du suivi des sites d'appui en 2012, le Laboratoire d'Océanographie et de Géosciences (LOG) de Wimereux a été sollicité (Tableau 1).

Tableau 1: Répartition entre partenaires des éléments de qualité et stations de prélèvements.

Partenaires	Paramètres	Stations
LOG (Jean-Marie DEWARUMEZ et Vincent BOUCHET)	Invertébrés benthiques	SSMF17 SSMF17bis



Figure 1: Masses d'eau retenues pour le contrôle de surveillance.

2 SUIVI STATIONNEL DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DES SITES D'APPUI

2.1 OBJECTIFS 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 stations appelées "sites d'appui" a été mis en place avec une fréquence annuelle d'échantillonnage. Ces prélèvements intermédiaires sur un nombre limité de stations distribuées 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.

La façade Artois-Picardie compte depuis 2007 un site d'appui en domaine subtidal (SSMF17). En 2011, face au projet d'extension du port de Calais à proximité de cette station, il a été décidé de doubler celle-ci par une station SSMF17 bis extérieure à l'enceinte du port.

2.2 STRATEGIE GENERALE

Cette façade compte donc deux sites d'appui : les deux stations subtidales SSMF17 et SSMF17 bis (Figure 1) en juin 2012. Les coordonnées des stations sont présentées en annexe1.

Dans un souci de calibration des méthodes d'acquisition et de qualité de la donnée, le partenaire a reçu des protocoles pour l'observation de la macrofaune benthique et l'analyse sédimentologique, en particulier 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 à la norme ISO/FDIS 16665 :2005.



Figure 2: Localisation des sites d'appui.

Tableau 2 : Précisions sur l'échantillonnage des sites d'appui.

Partenaires	Stations	Date d'échantillonnage	Engin	Nombre de répliqués
Station Marine de Wimereux (LOG)	SSMF17 SSMF17 bis	19 juin 2012	Benne Van Veen (0,1m ²)	5

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). Le nombre de répliquet et les dates de prélèvement sont résumés dans le Tableau 2.

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 de sédiment a été effectué sur chaque station afin de déterminer leur composition granulométrique. Il a été réalisé par un sous échantillonnage vertical dans la benne avec un tube de 3 à 5 cm de diamètre sur 5 cm de profondeur. 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 est rincé sur un tamis AFNOR 63 µm et la partie fine est récupérée puis mise à sécher 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 à chaque station 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 par la méthode de perte au feu (4 heures à 450°C). La différence de poids, exprimée en pourcentage, indique la teneur en matière organique 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 en 2012 :

- la texture du sédiment (classification de de Blott et Pye, 2001),
- la médiane ou Q₅₀ (paramètre de position) donne une estimation de la taille moyenne des grains,
- l'indice de Trask ou Sorting-Index : So (paramètre de dispersion) où Q₂₅ et Q₇₅ sont les quartiles.

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

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 *et al.*, 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

- **Analyses structurelles**

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

Dans un premier temps une analyse de proximité a permis de définir des groupes de stations similaires. Ces groupes ont été identifiés par Positionnement Multidimensionnel non Métrique (n-MDS) des stations, basé sur une matrice de similarité de Bray-Curtis réalisée à partir des abondances moyennes des espèces rapportées à 0,1 m².

Une analyse MDS permet de traduire dans un plan en deux dimensions les données de la matrice de similarité entre les communautés benthiques des différentes stations étudiées. Plus les stations 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.

De façon générale, les abondances d'espèces suivent une répartition asymétrique où certaines espèces peuvent atteindre des abondances telles qu'elles écrasent statistiquement la présence d'autres espèces. 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 rares, tout en conservant l'ordre de dominance entre les espèces communes (Thorne *et al.*, 1999).

Ces groupes ainsi formés ont ensuite été comparés 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 les facteurs zone (intertidale, subtidale) et année (2007 – 2012). 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 données (Anderson et Legendre, 1999).

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) et adopté par le pays Basque, repose :

- sur la reconnaissance dans la communauté de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes, comme proposé par Hily (1984, Tableau 4). 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 :

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

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 dépositives 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	- dépositives 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	- dépositives de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	- prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	- dépositives

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

- sur l'indice de diversité 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 toutes les stations. 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 stations (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.

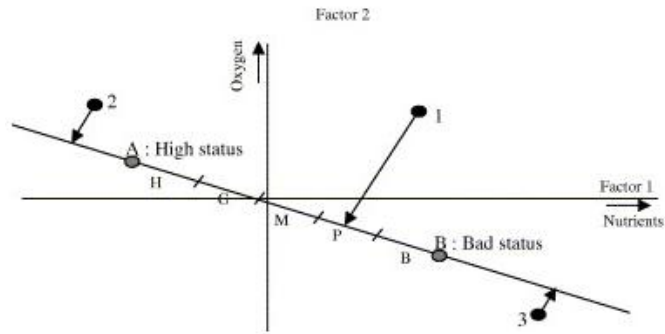


Figure 3 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald et al., 2005).

Les stations échantillonnées se réfèrent à deux types d'environnements hydrosédimentaires (sables fins plus ou moins envasés subtidaux et 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 subtidaux	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 doit être supérieure à 4,
- 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 stations 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

Parmi les 12 stations de macroinvertébrés de substrats meubles suivies en Artois-Picardie, le site du port de Calais est l'unique site d'appui. Cependant dans le contexte d'extension du port de Calais, le point de suivi actuel (SSMF17) a été doublé (SSMF17Bis) depuis 2011.

Dans cette partie, seuls les résultats synthétiques sont présentés. Les données brutes sont disponibles sur la base de données Quadrige².

2.4.1 Caractéristiques sédimentaires

La Figure 4 présente la granulométrie globale des sites d'appui du port de Calais SSMF17 et SSMF17Bis depuis le début du plan de gestion. Les sédiments présents sur les sites d'appui sont des sables hétérogènes, caractérisés par un envasement plus marqué depuis 2008. En 2012, on observe l'apparition de gravier sur les deux sites.



Figure 4 : Histogramme de distribution des fréquences des fractions granulométriques des sites d'appui.

Les médianes granulométriques moyennes (Figure 5a) sont du même ordre de grandeur et les indices de Trask indiquent que les sédiments sont mal classés (Figure 5b : $So > 2,75$).

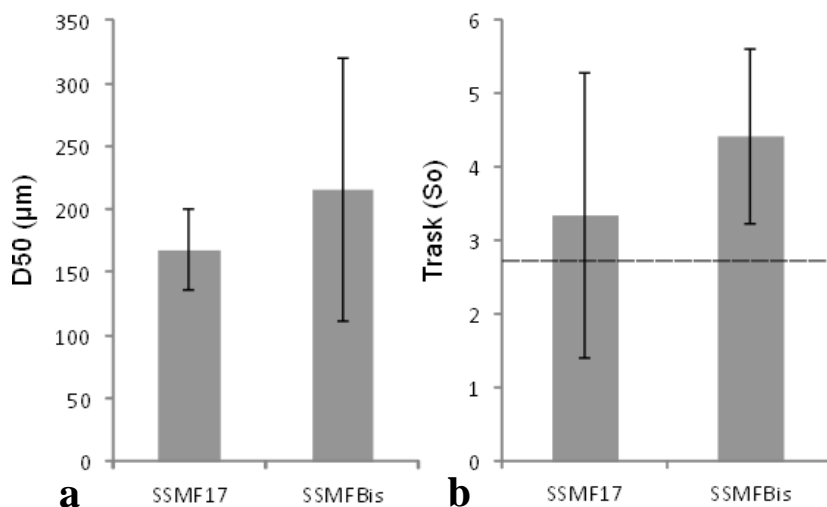


Figure 5 : Moyenne ($\pm ET$) par station sur le plan de gestion 2007-2012 des paramètres sédimentaires. a : médiane granulométrique : D50 ; b - indice de Trask : So, --- : borne de classement $So=2,75$.

La teneur en matière organique du sédiment de la station SSMF17 a fortement chuté entre 2007 et 2008 pour se stabiliser autour de la valeur moyenne de $5,6 (\pm 1,3)$.

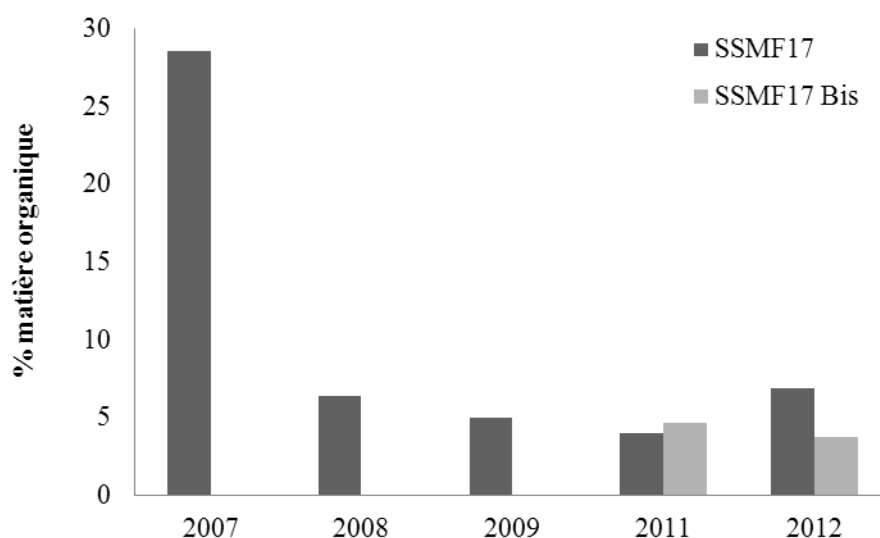


Figure 6 : Evolution de la teneur en matière organique du sédiment des sites d'appui.

2.4.2 Caractéristiques biologiques générales des sites d'appui depuis 2007

2.4.2.1 Indices de diversité

Les données macrozoobenthiques brutes relatives aux stations échantillonnées sont présentées en annexe 3. Un total de 56 taxa a été identifié depuis 2007 sur les deux sites d'appui.

La richesse spécifique moyenne (Figure 7) à la station SSMF17 est de 16 ± 12 espèces alors qu'elle n'est que de 5 ± 3 espèce à la station SSMF17Bis. La richesse est très variable à la

station SSMF17. En effet en 2007 et 2012 elle est plus élevée (21 et 36 espèces respectivement) qu'en 2008, 2009 et 2011 (respectivement 5, 9 et 8 espèces).

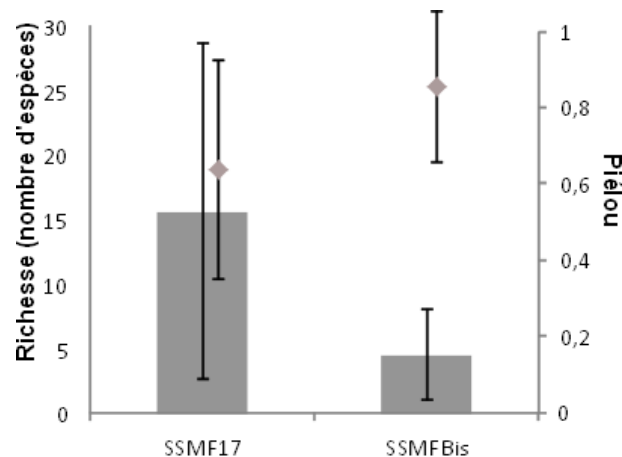


Figure 7 : Richesse spécifique moyenne et indice de Pielou (J') moyen (\pm ET) calculé à chaque site d'appui au cours du plan de gestion 2007-2012.

L'indice de Pielou à la station SSMF17Bis est relativement élevé ($0,8 \pm 0,2$). Ce qui traduit une bonne réparation des espèces au sein de la communauté. A la station SSMF17 il est plus faible en 2012 (0,16) suite à la dominance d'une espèce, l'annélide *Lanice conchilega*.

2.4.2.2 Abondances

Les densités moyennes (Figure 8) recensées au cours des six ans du plan de gestion sont très variables, notamment à la station SSMF17 où l'abondance atteint une valeur de 2785 individus pour $0,1 \text{ m}^2$ en 2012. Cette forte abondance est due à la présence de l'annélide *Lanice conchilega* qui domine la communauté à 90%.

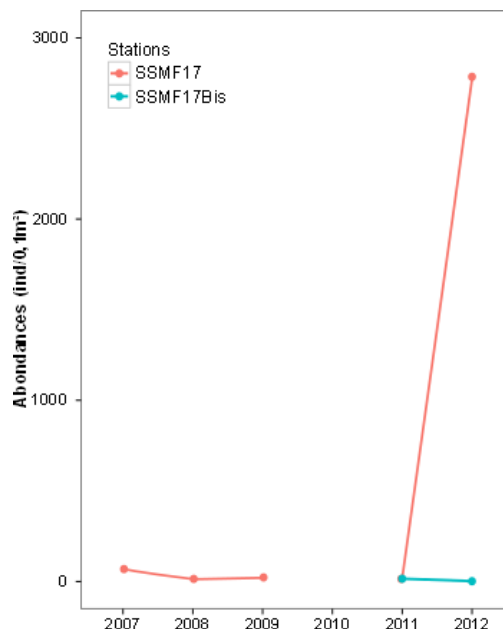


Figure 8 : Abondances moyennes des sites d'appui au cours du plan de gestion 2007-2012.

2.4.2.3 Groupes Ecologiques

Actuellement, les masses d'eau de transition ne sont pas dotées d'un indice inter-calibré au niveau européen, permettant de les qualifier. Même si la richesse spécifique est

faible sur les sites du port de Calais, les proportions des espèces appartenant aux groupes de polluo-sensibilité (Figure 9) peuvent apporter quelques informations.

Le pourcentage d'espèces appartenant au groupe écologique I (GI) est relativement stable au court du temps à la station SSMF17 (29±6%) contrairement à celui relatif groupe V (GV : 6±5%). Des annélides opportunistes tels que les Capitellidae et les oligochètes apparaissent épisodiquement en 2007, 2009 et 2012.

Les résultats observés à la station SSMF17Bis en 2012 ne peuvent être interprétés du fait d'une diversité trop faible (deux espèces).

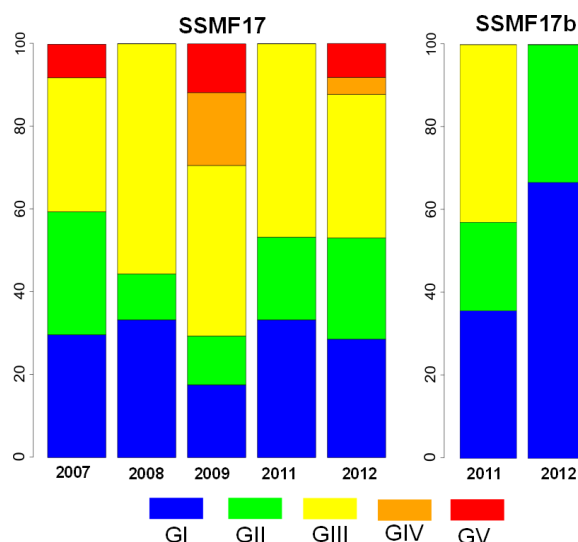


Figure 9 : Répartition de la proportion des groupes écologiques de polluo-sensibilité par station entre 2007 et 2012 (GI : espèces sensibles à une hypertrophisation, GII : espèces indifférentes à une hypertrophisation, GIII : espèces tolérantes à une hypertrophisation, GIV : espèces opportunistes de second ordre, GV : espèces opportunistes de premier ordre).

2.4.2.4 Structure des communautés des macroinvertébrés benthiques

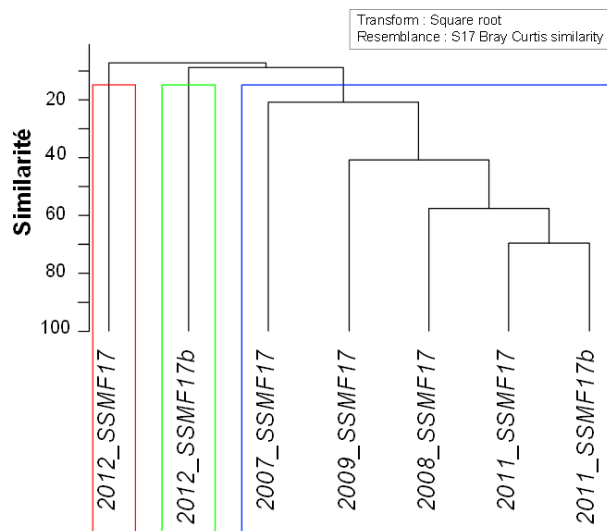


Figure 10 : Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hierarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre stations intertidales.

Le dendrogramme (Figure 10) réalisé à partir des sites d'appui est issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir de la matrice de similarité de Bray Curtis. Il permet d'identifier un groupe de cinq stations (SSMF17 - années 2007, 2008, 2009 et 2011 ; SSMF17Bis - année 2011) à un niveau de similarité de 20% et d'extraire deux stations isolées (SSMF17 et SSMF17Bis - année 2012).

Le groupe réunissant les cinq stations est caractérisé par la présence du bivalve *Abra alba*, dont la contribution à la similarité entre les stations est de 52%. Ce mollusque n'est plus recensé de la station SSMF17Bis en 2012. La présence en forte densité de l'annélide *Lanice conchilega* contribue à 38% à l'extraction de SSMF17 en 2012.

2.5 CONCLUSION

Les paramètres permettant de caractériser les sites du port de Calais sont très fluctuants au cours du temps.

L'instabilité de la structure sédimentaire est à relier à l'activité de la zone (travaux, trafic maritime, dragage). La macrofaune benthique, peu mobile et au cycle de vie court, est directement impactée par la nature du sédiment. La composition de la communauté est remodelée non seulement par les divers évènements sédimentaires (envasement, remise en suspension des particules fines) mais aussi par des perturbations mécaniques du sédiment telles que le dragage.

Le suivi annuel de cette masse d'eau a permis d'observer un recrutement important de l'annélide polychète *Lanice conchilega*, ce qui ne signifie pas que cette espèce se maintienne dans le temps. En cas de colonisation, cette espèce ingénieuse, car structurant l'environnement par des tubes sableux qu'elle élabore, pourrait avoir une influence sur la diversité faunistique du benthos et les interactions trophiques comme cela a déjà été montré notamment en mer du nord (Rabaut *et al.*, 2013).

3 SYNTHÈSE 2012 DES INDICES BENTHIQUES

Tout au long du plan de gestion 2007-2012, les paramètres biologiques benthiques recommandés pour la définition de l'état écologique des masses d'eau côtières et de transitions ont au moins été suivis 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 6 : Grilles d'évaluation 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 (2011)

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 6). Si c'est une masse d'eau fortement modifiée le classement est illustré par le même code couleur avec des hachures égales de gris.

En Artois-Picardie, les paramètres biologiques retenus pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau sont les invertébrés benthiques de substrat meuble (FAU), les macroalgues intertidales de substrats durs (MAID) et les macroalgues subtidales de substrats durs (MASD).

Le Tableau 7 synthétise les derniers résultats du contrôle biologique benthique. **Ces résultats sont fournis à titre indicatif, car actuellement aucun des indices utilisés en France n'a été validé au niveau européen. De plus les masses d'eau de transition ne sont actuellement pas dotées d'indices pour l'élément de qualité invertébrés benthiques.**

Tableau 7 : Synthèse 2012 des derniers résultats du contrôle biologique des éléments de qualité benthique : faune invertébré benthique (FAU), macroalgues de substrat dur intertidales (MAID), subtidales (MASD). Les cases grisées signalent la présence de données mais l'absence d'indice.

M.E.	FAU (2010)	MAIS (2011)	MAS (2008)
AC02	0,65	64,29	0,58
AC03			0,05
AC05	1,002		
AT01			
AT03M			

4 OPÉRATIONS PROGRAMMÉES DE 2013 À 2015

L'année 2013 marque le renouvellement d'un nouveau plan de gestion de six ans. La rétrospective (2007-2012) et le prévisionnel (2013-2018) des échantillonnages sont récapitulés dans le Tableau 8.

En **2013**, les actions en cours sont les suivantes :

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

Un total de 7 stations a été échantillonné :

- 5 stations (dont une vient d'être converti en site d'appui : SSMF16) en eaux côtières dans le cadre du contrôle de surveillance.
- 2 stations en eaux de transition dans le cadre du suivi haute fréquence des sites d'appui.

En **2014**, les actions proposées sont les suivantes :

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

Un total de 9 stations sera échantillonné :

- 8 stations (dont 2 sites d'appui) en eaux de transition dans le cadre du contrôle de surveillance.
- 1 station en eaux côtières dans le cadre du suivi annuel des sites d'appui.
- Le suivi **stationnel des macroalgues de substrats durs** dans les masses d'eau côtières.

3 stations seront échantillonnées :

- 2 stations subtidales.
- 1 station intertidale.

Tableau 8 : Rétrospective (2007-2012) et planification (2013-2018) du suivi des paramètres benthiques : Invertébrés et Macroalgues.

			Stations	SA = Site d'Appui; CS = Contrôle Surveillance	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Eaux de Transitions	Invertébrés Benthiques	Intertidal	3_25	CS											
			5_18	CS											
			SIMF16	CS											
			SIMF17	CS											
		Subtidal	DCE CALPORext	CS											
			DCE CALPORint	CS											
			SSMF17	SA											
			SSMF17 bis	SA											
Eaux Côtières	Invertébrés Benthiques	Intertidal	SIMF18	CS											
			SIMF19	CS											
			SSMF15	CS											
		Subtidal	SSMF16	SA											
			SSMF18	CS											
			SIDB14	CS											
	Macro Algues	Intertidal	SIDB14	CS											
		Subtidal	SSDB10	CS											
			SSDB11	CS											

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson MJ., 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.
- Anderson MJ., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* (2001) 26: 32–46.
- Anderson, M.J. 2005. PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- Ar Gall E., Le Duff M., 2007. Proposition d'un indice de qualité pour le suivi des macroalgues sur les estrans intertidaux rocheux dans le cadre de la DCE. LEBHAM – IUEM – UBO. 14p.
- 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.
- 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.
- 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, Á., Mader, J., Muxika I., 2012. Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0). *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia*, 19(3): 71-82.
- 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.
- 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.
- Carletti, A., Heiskanen, A.-S., Ed., (2009). Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3: Coastal and Transitional waters. EUR 23838 EN/3 – 2009, 240p.
- Derrien-Courtel S., LE GAL A., 2011. Suivi des macroalgues subtidales de la façade Manche-Atlantique - Rapport final. MNHN, Concarneau. 49p.
- 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.
- Fournier J., Bonnot-Courtois C., Paris R., Voltaire O., Le Vot M., 2012. Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 99 p.
- Gallon R.K., and Fournier J., 2013. G2Sd : Grain-size Statistics and Description of Sediment, <http://cran.r-project.org/web/packages/G2Sd/index.html> ,R package version 2.0.
- 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.
- 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.

- 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.
- Rabaut M., Audfroid Calderón M., Van de Moortel L., Van Dalssen J., Vincx M., Degraer S., Desroy N., 2013. The role of structuring benthos for juvenile flatfish. *Journal of Sea Research* 82 : 70-76.
- Rossi N., 2011. Classement DCE des masses d'eau côtières et de transition des Bassin Loire-Bretagne et Seine-Normandie – Élément de qualité biologique macroalgues de bloom – Rapport final. CEVA. 60 p.
- Thorne RSJ., Williams P. et Cao Y.. 1999. The influence of the data transformations on biological monitoring studies using macroinvertebrates. *Wat. Res.* 33: 343-350.

ANNEXES

Annexe 1 : Coordonnées des stations échantillonnées en 2012.

Annexe 2 : Données granulométriques des sédiments des sites d'appui.

Annexe 3 : Données de diversité et d'abondance des communautés benthiques des sites d'appui.

Annexe 1

Métadonnées Station	
Code station	DCE CAL (SSMF 17)
Code masse d'eau DCE	AT03M
Longitude (datum, système)	1° 50' 774 E (ED50) moyenne
Latitude (datum, système)	50° 58' 236 N (ED50) moyenne
Code station	DCE CAL BIS (SSMF 17 bis)
Code masse d'eau DCE	AT03M
Longitude (datum, système)	1° 51' 085 E (ED50) moyenne
Latitude (datum, système)	50° 58' 736 N (ED50) moyenne

Annexe 2

	Texture	Boulder	Gravel	Sand	Mud
2007_SSMF17	Slightly Gravelly Sand	0	0.4	99.6	0
2008_SSMF17	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.4	56.84	42.76
2009_SSMF17	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.11	81.032	18.858
2011_SSMF17	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.149	54.649	45.202
2012_SSMF17	Gravelly Muddy Sand	0	14.391	57.487	28.122
2011_SSMFBi	Slightly Gravelly Muddy Sand	0	0.484	54.31	45.206
2012_SSMFBi	Gravelly Sand	0	29.954	68.833	1.213

	D10(um)	D50(um)	D90(um)	D90/D10	D90-D10	D75/D25	D75-D25	Trask(So)
2007_SSMF17	167,488	214,725	279,087	1,666	111,599	1,283	52,892	1,133
2008_SSMF17	2,327	135,404	247,705	106,454	245,378	24,5	201,114	4,95
2009_SSMF17	6,994	185,655	249,234	35,638	242,24	1,944	109,268	1,394
2011_SSMF17	2,22	145,41	259,871	117,045	257,651	26,704	195,642	5,168
2012_SSMF17	3,656	157,653	2244,026	613,734	2240,37	16,105	400,127	4,013
2011_SSMFBi	2,22	141,194	280,512	126,352	278,292	27,617	202,548	5,255
2012_SSMFBi	145,523	288,694	5729,248	39,37	5583,726	12,825	2245,094	3,581

Annexe 3

Sample	S	N	H'(loge)	J'
2011-SSMF17 Bis SM	7	16	1,403	0,7212
2012-SSMF17 Bis SM	2	2	0,6931	1
2007-SSMF17 SM	21	69	2,361	0,7754
2008-SSMF17 SM	5	15	0,9604	0,5967
2009-SSMF17 SM	9	23	1,901	0,865
2011-SSMF17 SM	8	15	1,68	0,8077
2012-SSMF17 SM	36	2785	0,5657	0,1579