

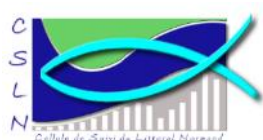


IFREMER, Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes
Unité littoral
Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Nord
Station de Dinard
Centre de Recherche et d'Etudes des Systèmes COTiers (CRESCO)

Ifremer/ODE/LITTORAL/LERBN-17-009

Coordination et Rédaction: Aurélie Garcia (MNHN Dinard), Cécile Massé (MNHN Dinard), Nicolas Desroy (Ifremer), Patrick Le Mao (Ifremer).

Contribution : Sébastien Aubin (MNHN Dinard), Gabin Droual (MNHN Dinard), Séverine Dubut (CSLN), Aurelie Foveau (Ifremer LER Bretagne nord), Pascal Hacquebart (GEMEL-N), Clarisse Hubert (MNHN Dinard), Lise Latry (MNHN Dinard), Cécile Massé (MNHN Dinard), Emeline Poisson (CSLN), Olivier Timsit (GEMEL-N).



CONTROLE DE SURVEILLANCE BENTHIQUE DE LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU (2000/60/CE) :

VOLUME I : MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DE SUBSTRATS MEUBLES, PLAN DE GESTION 2010 - 2015

➤ **District Seine-Normandie**

Mai 2017

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>	date de publication : Mai 2017
Validé par : Adresse électronique :	nombre de pages : 54 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) : Volume I : Macroinvertébrés benthiques de substrats meubles, Plan de gestion 2010 - 2015	
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur(s) principal(aux) : Aurélie Garcia Cécile Massé Desroy Nicolas Le Mao Patrick	Ifremer/ODE/LITTORAL/LERBN-17-009
Cadre de la recherche : Soutien à la Directive Cadre Eau	
Destinataires : Agence de l'eau Seine-Normandie, DREAL Basse et Haute-Normandie, Rebent	
Résumé Ce rapport présente les résultats des opérations menées lors du premier plan de gestion 2010-2015 (contrôle de surveillance des invertébrés benthiques) sur l'ensemble des masses d'eau côtières et de transition rattachées au district Seine Normandie.	
Abstract This report presents results of the monitoring actions during the first management plan 2010-2015 (on benthic invertebrates communities) in the water bodies of the Seine-Normandie water district.	
Mots-clés Directive Cadre Eau, Benthos, Réseau de surveillance, Manche	
Keywords European Water Framework Directive, Benthos, Monitoring Network, English Channel	

Paramètre	Tâche	Participant : Prénom Nom (Organisme)
Macroinvertébrés benthiques de substrats meubles	Prélèvements	Sébastien Aubin (MNHN Dinard), Séverine Dubut (CSLN), Aurélie Garcia (MNHN Dinard), Pascal Hacquebart (GEMEL-N), Lise Latry (MNHN Dinard), Cécile Massé (MNHN Dinard), Emeline Poisson (CSLN), Olivier Timsit (GEMEL-N).
	Analyses laboratoire	Sébastien Aubin (MNHN Dinard), Gabin Droual (MNHN Dinard), Séverine Dubut (CSLN), Pascal Hacquebart (GEMEL-N), Clarisse Hubert (MNHN Dinard), Lise Latry (MNHN Dinard), Cécile Massé (MNHN Dinard), Olivier Timsit (GEMEL-N).
	Bancarisation des données	Sébastien Aubin (MNHN D), Pascal Hacquebart (GEMEL N), Clarisse Hubert (MNHN D), Cécile Massé (MNHN D), Emeline Poisson (CSLN)
	Rédaction	Aurélie Garcia et Cécile Massé (MNHN Dinard), Nicolas Desroy (Ifremer LER BN)

TABLE DES MATIERES

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 & Gauthier, 2005).....	1
1.2	Rappel des caractéristiques des masses d'eau du district côtier Seine-Normandie .	2
1.3	Partenaires de la mise en œuvre de la surveillance du compartiment benthique en Seine-Normandie.....	2
2	Suivi stationnel des macro-invertébrés benthiques	3
2.1	Objectifs de l'étude	3
2.2	Stratégie générale	4
2.2.1	Prélèvements et analyses biologiques	5
2.2.2	Prélèvements et analyses sédimentaires	6
2.2.3	Traitement des données	7
2.3	Qualification biologique des masses d'eau côtières.....	10
2.3.1	Conditions d'utilisation du M-AMBI.....	11
2.3.2	Traitement de la base de données	11
3	Résultats	12
3.1	Masses d'eau côtières en domaine intertidal.....	13
3.1.1	Caractéristiques sédimentaire	13
3.1.2	Caractéristiques faunistique.....	15
3.1.3	Détermination des communautés.....	18
3.2	Masses d'eau côtières en domaine subtidal.....	20
3.2.1	Caractéristiques sédimentaire	20
3.2.2	Caractéristiques faunistique.....	21
3.2.3	Détermination des communautés.....	24
3.3	Masses d'eau de transition en domaine intertidal	26
3.3.1	Caractéristiques sédimentaire	26
3.3.2	Caractéristiques faunistique.....	28
3.3.3	Détermination des communautés.....	31
3.4	Masses d'eau de transition en domaine subtidal	33
3.4.1	Caractéristiques sédimentaire	34
3.4.2	Caractéristiques faunistique.....	35
3.4.3	Détermination des communautés.....	37
4	Analyse préliminaire du changement de protocole sur les sites suivis en ouest Cotentin.	40
4.1	Introduction	40
4.2	Méthode.....	40
4.3	Résultats et discussion.....	41
4.3.1	Distances réelles entre les passages.....	41
4.3.2	Composition des communautés benthiques intertidales.....	43
4.3.3	Composition des communautés benthiques subtidales.....	44
4.4	Conclusion autour de la première application du nouveau protocole	45
5	Synthèse 2015 des indices benthiques.	45
6	Opérations programmées en 2016 et 2017	50

7 References bibliographiques51

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 & GAUTHIER, 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 2022. 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 (ME). Ces ME ont été définies en fonction de leurs caractéristiques physiques ainsi que des pressions qui s'y exercent.

Sur ces ME, différents types de contrôle peuvent être exercés :

- le **contrôle de surveillance**, appliqué sur une sélection de ME 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 ME présentant un Risque de Non Atteinte du Bon Etat Ecologique (RNABE) d'ici 2022, 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 ME 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 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 SEINE-NORMANDIE

Le district côtier Seine-Normandie est composé de 19 masses d'eau côtières et de sept masses d'eau de transition [les masses d'eau HC06 et HT01M étant divisées en deux (Figure 1)]. Au total, 15 masses d'eau côtières ont été retenues pour le contrôle de surveillance ainsi que six masses d'eau de transition (*cf.* Guérin *et al.*, 2007 pour la présentation des caractéristiques générales et biologiques des masses d'eau).

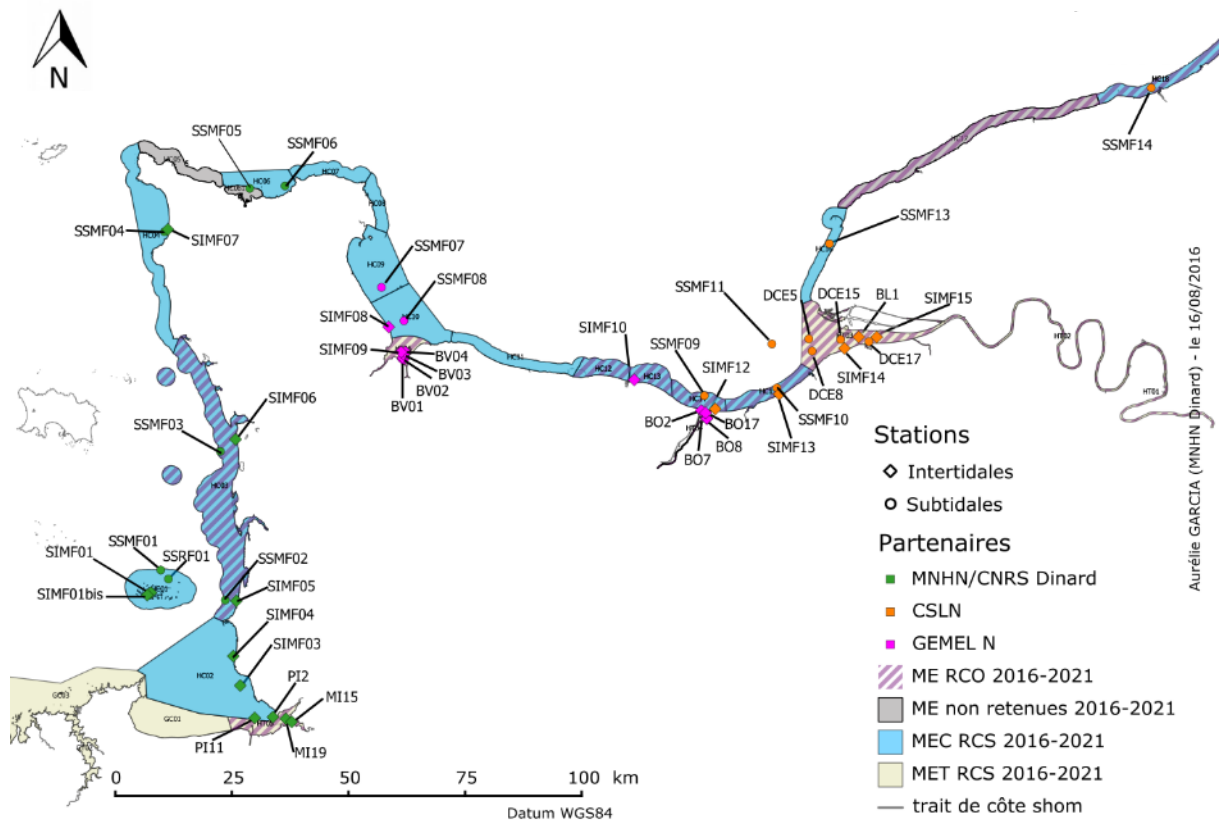


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage lors du suivi 2015 et partenaires impliqués.

1.3 PARTENAIRES DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE DU COMPARTIMENT BENTHIQUE EN SEINE-NORMANDIE

Afin d'assurer la bonne réalisation du contrôle de surveillance sur le plan de gestion 2010-2015, quatre partenaires ont été sollicités pour le suivi de l'élément de qualité « Invertébrés benthiques de substrats meubles » (Tableau 1). Les partenaires ayant participé au suivi de l'élément de qualité « Flore autre que phytoplancton » sont présentés dans le volume II de ce rapport.

Tableau 1: Répartition entre partenaires des stations de prélèvements pour l'élément de qualité « Invertébrés benthiques de substrats meubles » en seine-Normandie – IM : Intertidal Meuble, SM : Subtidal Meuble, CS : Contrôle de Surveillance, SA : Site d'Appui.

	Sites	Masse d'eau	Substrat	Statut	
Museum National d'Histoire Naturelle de Dinard/ CNRS	SIMF01 - Chausey IM	HC01	IM	SA	
	SIMF01bis - Chausey IM	HC01	IM	SA	
	SIMF03 - Saint-Jean IM	HC02	IM	SA	
	SIMF04 - Jullouville IM	HC02	IM	CS	
	SIMF05 - Breville IM	HC03	IM	CS	
	SIMF06 - Armanville IM	HC03	IM	SA	
	SIMF07 - Heauville IM	HC04	IM	CS	
	MI15 - Bouille IM	HT05M	IM	CS	
	MI19 - Gue de l'épine IM	HT05M	IM	CS	
	PI11 - Grouin du Sud IM	HT05M	IM	CS	
	PI2 - Tombelaine Est IM	HT05M	IM	CS	
	SSMF01 - Chausey SM	HC01	SM	SA	
	SSRF01 Maerl	HC01	SM	CS	
	SSMF02 - Granville SM	HC03	SM	CS	
	SSMF03 - Pirou SM	HC03	SM	SA	
	SSMF04 - Dielette SM	HC04	SM	SA	
	SSMF05 - Cherbourg SM	HC06M	SM	SA	
	SSMF06 - Cap Levy SM	HC06M	SM	SA	
	CSLN	SIMF12 - Franceville IM	HC14	IM	CS
		SIMF13 - Villers IM	HC15	IM	CS
BL1 - Banc d'Amfard IM		HT03M	IM	CS	
R96 - Pont de Normandie nord est IM		HT03M	IM	CS	
SIMF14 - Pennedepie IM		HT03M	IM	CS	
SIMF15 - Pont de Normandie IM		HT03M	IM	CS	
SSMF09 - Ouistreham SM		HC14	SM	CS	
SSMF10 - Villers-sur-Mer SM		HC15	SM	SA	
SSMF13 - Heuqueville SM		HC16M	SM	SA	
SSMF14 - Dieppe SM		HC18	SM	SA	
DCE15 - Banc du Ratier est - face Pennedepie SM		HT03M	SM	CS	
DCE17 - Honfleur - face Zone portuaire SM		HT03M	SM	CS	
DCE5 - Les Ratelets ouest SM		HT03M	SM	CS	
DCE8 - Banc de Trouville ouest SM		HT03M	SM	CS	
SSMF11 - Villerville SM		HT03M	SM	SA	
GEMEL N		SIMF08 - Madeleine IM	HC10	IM	SA
		SIMF10 - Courseulles IM	HC13	IM	SA
		BO17 - Merville - Baie de Sallenelles IM	HT04	IM	CS
		BO2 - Ouistreham IM	HT04	IM	CS
		BO7 - Ouistreham - Baie de Sallenelles IM	HT04	IM	CS
	BO8 - Merville IM	HT04	IM	CS	
	BV01 - Les Veys - Grouin Ouest IM	HT06M	IM	CS	
	BV02 - Les Veys - Grouin Nord Ouest IM	HT06M	IM	CS	
	BV03 - Les Veys - Banc de la Ravine IM	HT06M	IM	CS	
	BV04 - Les Veys - Passe d'Isigny IM	HT06M	IM	CS	
SIMF09 - Brevands IM	HT06M	IM	SA		
SSMF07 - Rade de Saint-Marcouf SM	HC09	SM	CS		
SSMF08 - Rade de la Capelle SM	HC10	SM	CS		

2 SUIVI STATIONNEL DES MACRO-INVERTEBRES BENTHIQUES

2.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude porte sur le suivi des communautés d'invertébrés benthiques des masses d'eau côtières et de transition du district Seine-Normandie et l'évaluation de leur qualité biologique. Les macro-invertébrés 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 certaines pressions anthropiques s'exerçant sur ces masses d'eau.

L'élément de qualité « invertébrés benthiques » est définie par :

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

Dans le cadre du contrôle de surveillance, le suivi est effectué tous les trois ans, sur 22 sites côtiers (12 stations subtidales et 10 stations intertidales) depuis 2007 et 22 sites localisés en eaux de transition (5 stations subtidales et 17 stations intertidales) depuis 2008.

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, réalisés en 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. Selon l'échelle de la variabilité observée, il sera possible de savoir si un phénomène observé par rapport à un état initial est de causalité naturelle ou non et/ou local ou non. A cette fin, une première étude (Goyot *et al.*, 2016) a été conduite dans le but d'identifier d'une part les évolutions des sites d'appui au cours du temps et, d'autre part, les facteurs environnementaux qui influencent ou non ces évolutions.

La façade normande comptait, depuis 2007, quatre sites d'appui situés en domaines intertidal (SIMF01, SIMF09) et subtidal (SSMF06, SSMF11). En 2011, sous l'impulsion de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, ce réseau de stations s'est renforcé par le suivi annuel de dix stations supplémentaires, puis de deux de plus en 2014, distribuées le long du littoral normand.

2.2 STRATEGIE GENERALE

Dans le cadre du contrôle de surveillance conduit sur le plan de gestion 2010-2015, les sites ont été pris en charge par différents partenaires en fonction de leur localisation géographique (Figure 1) : la station marine de Dinard (MNHN/CNRS), la Cellule de Suivi du Littoral Normand (CSLN) et le Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux en Normandie (GEMEL N). Les coordonnées des stations sont présentées en Annexe I.

Dans un souci de calibration des méthodes d'acquisition et de qualité de la donnée, chaque partenaire a reçu des protocoles pour l'observation de la macrofaune benthique et l'analyse sédimentaire, en particulier la fiche n°10 des « Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE » (Guillaumont & Gauthier, 2005) ainsi que les circulaires de surveillance (Guérin & Desroy, 2008) et à la norme ISO/FDIS 16665 : 2005. En 2015, le protocole a été harmonisé avec celui de la DCSMM sur les façades Manche et Atlantique (Garcia *et al.*, 2014).

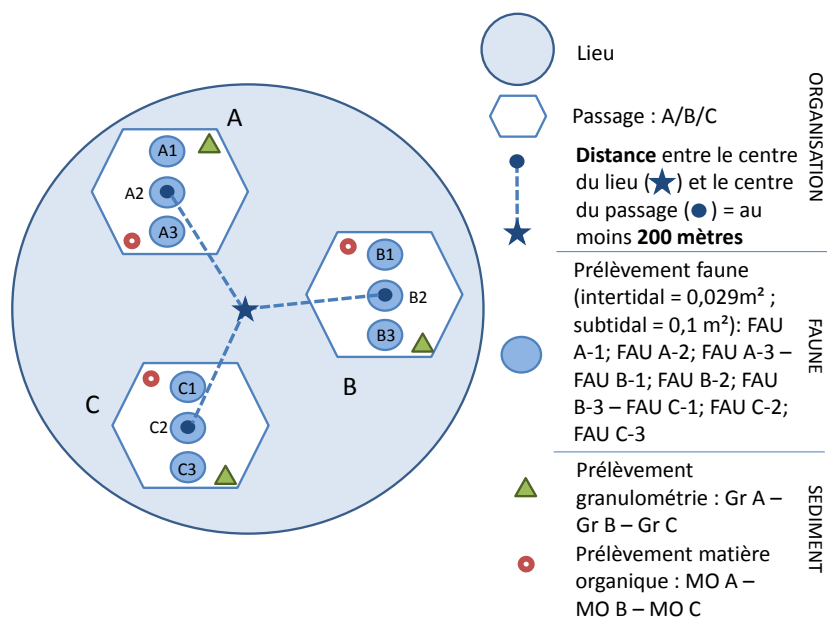


Figure 2 : Organisation des prélèvements dans le cadre du suivi stationnel du paramètre macroinvertébrés benthiques de substrats meubles de la DCE (Garcia *et al.*, 2014).

2.2.1 Prélèvements et analyses biologiques

2010-2014

Entre 2010 et 2014, la macrofaune benthique a été échantillonnée à l'aide de carottiers à main de surfaces unitaires égales à 0,02, 0,029 ou 0,05m² en domaine intertidal et à l'aide d'une benne Van Veen ou Smith-McIntyre (0,1m²) en domaine subtidal. Le nombre de prélèvements varie entre cinq et seize selon la surface unitaire de l'engin d'échantillonnage, l'objectif étant d'atteindre une surface minimale d'échantillonnage de 0,25 m² en domaine intertidal et 0,5 m² en domaine subtidal.

Les organismes ont ensuite été déterminés jusqu'à l'espèce puis dénombrés au sein de chaque espèce. Certains groupes ont fait exception (Bryozoa, Chaetognatha, Copepoda, Ctenophora, Echiura, Hemichordata, Hydrozoa, Insecta, Nemertea, Nematoda, Oligochaeta, Ostracoda, Phoronida, Platyhelminthes, Pogonophora, Priapulida).

2015

En 2015 l'ensemble des opérateurs a appliqué protocole de Garcia *et al.* (2014). Le résumé de la méthode est exposé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : RESUME – Prélèvements dans le cadre du suivi stationnel du paramètre macroinvertébrés benthiques de substrats meubles de la DCE : Prélèvement de la faune (Garcia *et al.*, 2014).

	INTERTIDAL	SUBTIDAL	
Engin de prélèvement	Carottier à main de 19,22 cm de diamètre intérieur sur 20 cm de profondeur (0,029 m ²). Si conditions particulières Ekman (0,025m ²)	Benne Van Veen, Day, Smith McIntyre (0,1 m ²). Si conditions particulières Ekman (0,025m ²)	
Nombre de prélèvements	9 (3x3)	9 (3x3)	
Surface d'échantillonnage totale	0,26 m ²	0,9 m ²	
Tamissage	Maille de 1 mm		
Fixation conservation	Contenant ETANCHE - Formaldéhyde dilué à l'eau de mer (concentration finale 3,5 à 4,5%), tamponné au tétraborate de sodium et homogénéisé		
Rinçage	A l'eau courante sous Sorbonne		
Tri	Sous hotte aspirante. Possibilité de fractionner l'échantillon en plusieurs gammes (1, 2 et 5 mm) pour les échantillons présentant un refus de tamis important		
Identification	Jusqu'au niveau spécifique. Dans le cas contraire justifier IMPERATIVEMENT (mauvais état, juvénile, manque de biblio...) sauf pour :		
	<i>Echiura</i>	<i>Insecta</i>	<i>Phoronida</i>
	<i>Hemichordata</i>	<i>Nemertea</i>	<i>Platyhelminthes</i>
	<i>Hydrozoa</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Priapulida</i>
Dénombrement	Comptage des têtes, pygidium (ex : <i>Maldanidae</i> ...), disques		
Mise en collection	Conserver 12 ans (deux plans de gestion)		
Report des résultats	Fichier de reprise Q ²		

Les noms d'espèces déterminées ont été vérifiés à l'aide du référentiel officiel international : Word Register of Marine Species (WoRMS – match taxa du 12/08/2016).

2.2.2 Prélèvements et analyses sédimentaires

2010-2014

Un prélèvement supplémentaire de sédiment a été effectué au sein de chaque station 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 a été 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.

Les échantillons des stations prélevées par la CSLN ont été traités par le Laboratoire de Morphologie Continentale et Côtière (M2C), UMR 6143 de l'Université de Caen. Les autres stations ont été prises en charge directement par les organismes qui en avaient la responsabilité.

Un second prélèvement de sédiment a également été réalisé dans chaque station selon le même procédé pour quantifier la teneur totale en matière organique (MO). 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.

2015

En 2015 l'ensemble des opérateurs a appliqué protocole de Garcia *et al.* (2014). Le résumé de la méthode est exposé dans les tableaux ci-dessus.

Tableau 3 : RESUME – Prélèvements dans le cadre du suivi stationnel du paramètre macroinvertébrés benthiques de substrats meubles de la DCE : Prélèvement de la sédiment – Granulométrie (Garcia *et al.*, 2014).

Engin prélèvement	Tube de 3 à 5 cm de diamètre Sur 5 cm de profondeur
Nombre de prélèvements	3
Conservation	Contenant ETANCHE et PESE - en l'état
Estimation de la teneur en sel	Verser le sédiment frais (vite après le prélèvement) dans un bol pesé. Peser l'ensemble - Séchage 60°C, 48h – Repeser l'ensemble Calculer la teneur en eau de l'échantillon par différence entre les deux pesées. Estimer la teneur en sel (eau de mer ≈ 35 g/l)
Séchage	60°C, 48 h minimum (si température plus élevée, les fines se transforment en ciment)
Tamissage	Par voie sèche sur colonne normalisée Vibration pendant 10 à 15 min Si la colonne est divisée en deux ou trois, ne pas oublier le fond et le couvercle.
Pesée	Chaque refus de tamis sera pesé au centième de gramme
Report des résultats	Directement dans Q ²

Tableau 4 : RESUME – Prélèvements dans le cadre du suivi stationnel du paramètre macroinvertébrés benthiques de substrats meubles de la DCE : Prélèvement de la sédiment – teneur en matière organique (Garcia *et al.*, 2014).

Engin prélèvement	Tube de 3 à 5 cm de diamètre Sur 5 cm de profondeur
Nombre de prélèvements	3
Conservation	MO : Contenant étanche et OPAQUE - Congélation (-20°C) jusqu'à analyse
Fraction	totale
Séchage	60°C, 48 h minimum
Crémation	4 h à 450°C
Pesée	Au centième de gramme
Report des résultats	Directement sur Q ²

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 & Fournier (2013). Ont ainsi été déterminés :

- la texture du sédiment et les histogrammes de distributions des fréquences de classes granulométriques (Tableau 5). Les sédiments fins étant particulièrement visés par ce protocole dans le cadre de la DCE, seules sept classes ont été retenues pour décrire le sédiment : les vases (<63µm), les cinq classes de sable telles que définies dans le programme GRADISTAT, et la fraction supérieure à 2mm, appelée plus loin « graviers ».

Tableau 5 : Comparaison des classifications de Blott & Pye (GRADISTAT program, 2001), Udden (1914), Wentworth (1922) et Friedman & Sanders (1978).

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/ μ m	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 μ m	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	Clay	Very fine silt	Very fine
			Clay	Clay

- la médiane ou D_{50} (paramètre de position), qui 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 et défini tel que :

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

Le sédiment est homogène pour un indice de 1. Le Tableau 6 issu de Fournier *et al.* (2012) récapitule les classements.

Tableau 6: 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

Analyse de la dynamique temporelle des communautés benthiques

Les communautés faunistiques ont été caractérisées par des indices de diversité communément utilisés par la communauté scientifique :

- *La richesse taxonomique (S)* correspond au nombre de taxa présents dans une communauté
- *L'abondance (N)* correspond au nombre d'individus présent dans 0,1m².
- *L'indice de Piélou (J')* est compris entre 0 et 1 et correspond à une mesure de la répartition des espèces au sein d'une communauté donnée. Si la valeur est 0, la communauté est dominée par une seule espèce et si la valeur est 1, les espèces sont présentes dans les mêmes proportions.

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, la matrice des abondances a été transformée par la méthode d'Hellinger (Rao, 1995) pour diminuer l'influence des espèces naturellement très abondantes et donner d'avantage de poids aux espèces plus rares, tout en conservant l'ordre de dominance et les tendances entre les espèces (Clarke *et al.*, 2008).

Afin de visualiser dans un premier temps les similarités des stations en termes de composition de communautés benthiques, une première classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur l'ensemble des stations prélevées entre 2010 et 2015. Pour ce faire, les abondances totales de chaque espèce ont d'abord été rapportées à 0,1m² puis ont servi à la construction d'une matrice de dissimilarité de Bray-Curtis entre les stations. Ces stations ont ensuite été comparées deux à deux et regroupées selon leur similarité. Une première PermAnova permet de définir des sous-ensembles : Intertidal Côtier (IC), Subtidal Côtier (SC, Intertidal en eaux de Transition (IT) et Subtidal en eaux de Transition (ST).

Une nouvelle CAH a donc été réalisée sur chaque sous-ensemble selon la même procédure décrite précédemment, et a permis de définir des groupes de stations similaires au seuil arbitraire de similarité. La pertinence de ces groupes a ensuite été attestée par des tests de PERMANOVA permettant d'évaluer la variabilité expliquée au sein des groupes et la variabilité expliquée entre eux.

La contribution des espèces à cette similarité intergroupe a été évaluée grâce à un test SIMPER (Clarke, 1993). Ce test permet d'effectuer des comparaisons par paires de groupes d'échantillons et de déterminer les contributions moyennes de chaque espèce à la dissimilarité totale de Bray-Curtis. Un test Indval (Dufrene & Legendre, 1997) a permis d'identifier les espèces qui, quant à elles, étaient indicatrices de chaque groupe – et contribuaient donc à leur constitution. Ces espèces sont définies selon deux critères : leur spécificité, c'est-à-dire le nombre de groupes dans lesquels on retrouve l'espèce (elle est maximale et vaut 1 quand elle n'est présente que dans un groupe) et leur fidélité, c'est-à-dire le nombre de stations du groupe dans lesquels l'espèce est présente (elle est maximale et vaut 1 quand elle est présente dans tous les relevés du groupe).

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 qu'il s'agisse de la richesse spécifique, de l'équitabilité de la distribution des espèces ou du caractère sensible ou tolérant des espèces, en relation avec les facteurs de perturbation. 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.*, 2000; Muxika *et al.*, 2007) repose:

1. sur la reconnaissance dans la communauté de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités, comme proposé par Hily (1984) (Tableau 7). 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 7 : 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

2. sur la richesse spécifique (S), ou nombre d'espèces présentant au moins un individu pour la station étudiée ;
3. sur l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H'),

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

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 (AFC) 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 de ces points, la distance qui le sépare du point le plus dégradé est calculée, 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.

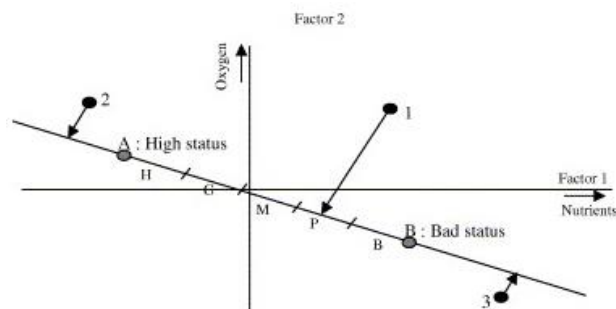


Figure 3 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald *et al.*, 2005).

Les stations échantillonnées se réfèrent à deux types d'environnements hydrosédimentaires : i) des sables fins plus ou moins envasés subtidaux, ii) des sables fins plus ou moins envasés intertidaux, auxquelles correspondent deux conditions de référence distinctes (Tableau 8).

Tableau 8 : 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 (grâce au 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 stations est recommandé pour optimiser la robustesse du M-AMBI.

2.3.2 Traitement de la base de données

D'après Borja & 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. Le corollaire direct est une augmentation des valeurs

d'AMBI, aboutissant ainsi à une mauvaise classification. La base de données a donc été homogénéisée afin que l'indice soit le plus réaliste possible :

- les taxa n'appartenant pas aux invertébrés benthiques de substrats meubles ont été exclus de la base.
- La norme ISO/FDIS 1666 :2005 (F), le protocole de Guérin & Desroy (2008) et le protocole de Garcia *et al.* (2014) préconisent d'identifier jusqu'au niveau spécifique les organismes prélevés mais certains taxa ne peuvent être identifiés qu'à un niveau supérieur. Hormis s'ils sont référencés dans la liste d'espèces actualisée en 2014, les hauts niveaux taxonomiques n'ont pas été pris en compte.

3 RESULTATS

La composition et la structure des communautés benthiques sont conditionnées par de nombreux facteurs environnementaux. Parmi ces facteurs, la nature du substrat (roche, cailloutis et graviers, graviers, sables, vases, etc.), le mode d'exposition à la houle et aux courants (côte battue, abritée, etc.), la profondeur, les apports d'eau douce par les rivières sont prépondérants. Le domaine intertidal est soumis à des pressions et des variations des conditions environnementales (dessiccation, température, éclaircissement) plus marquées que le domaine subtidal. Les zones de transition influencées par les apports d'eau douce des fleuves et rivières connaissent également de fortes variations (salinité, turbidité, enrichissement en éléments nutritifs...). Pour cela et suite à la confirmation par une analyse de variance par permutation (PermAnova : p -value <0.001), les données ont été traitées selon la combinaison du domaine (intertidal ou subtidal) couplé au type de masse d'eau (côtières ou de transition -

Figure 4). Seuls les résultats synthétiques sont présentés dans cette partie. Les données brutes sont disponibles dans la base de données Quadrigé². Cependant quelques données ne sont pas encore disponibles ou nécessitent une vérification. Elles ne sont donc pas présentées ici.

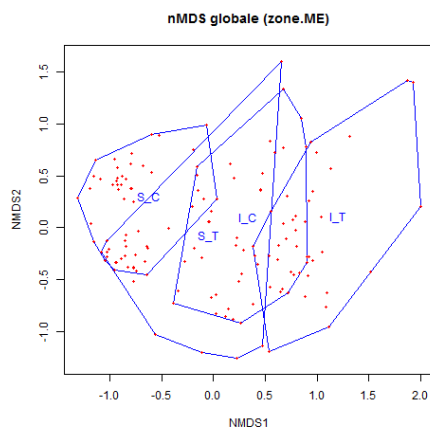


Figure 4 : Multi Dimensional Scaling de l'ensemble des sites suivis en Seine-Normandie entre 2010 et 2015. Avec S_C : Subtidal Côtier, I_C : Intertidal Côtier, S_T : Subtidal de Transition, I_T : Intertidal de Transition.

L'année de suivi 2014 du site subtidal en eau de transition de Honfleur (DCE17 face à la zone portuaire) a été retirée de l'analyse sans être retirée des résultats car la communauté est azoïque (sur maille de 1 mm).

Sur l'ensemble des 45 sites suivis lors de l'application du SDAGE 2010-2015, 309339 individus appartenant à 708 espèces ont été identifiés : 336 annélides polychètes, 231 crustacés, 104 mollusques, 15 échinodermes, 25 autres (anthozoaires, bryozoaires, hydrozoaires, insectes, oligochètes, németes, siphonaires...).

3.1 MASSES D'EAU COTIERES EN DOMAINE INTERTIDAL

3.1.1 Caractéristiques sédimentaire

A l'exception des sites de Chausey (SIMF01) et de la Baie du Mont Saint-Michel (SIMF03), l'ensemble des paramètres granulométriques est stable au sein des sites côtiers intertidaux, sur la période 2010-2015. Selon la classification de Blott & Pye, 2001, ces sédiments sont caractérisés par des sables plus ou moins envasés (

Figure 5) homogènes (indice de Trask inférieur à 2,75 - Figure 6 B).

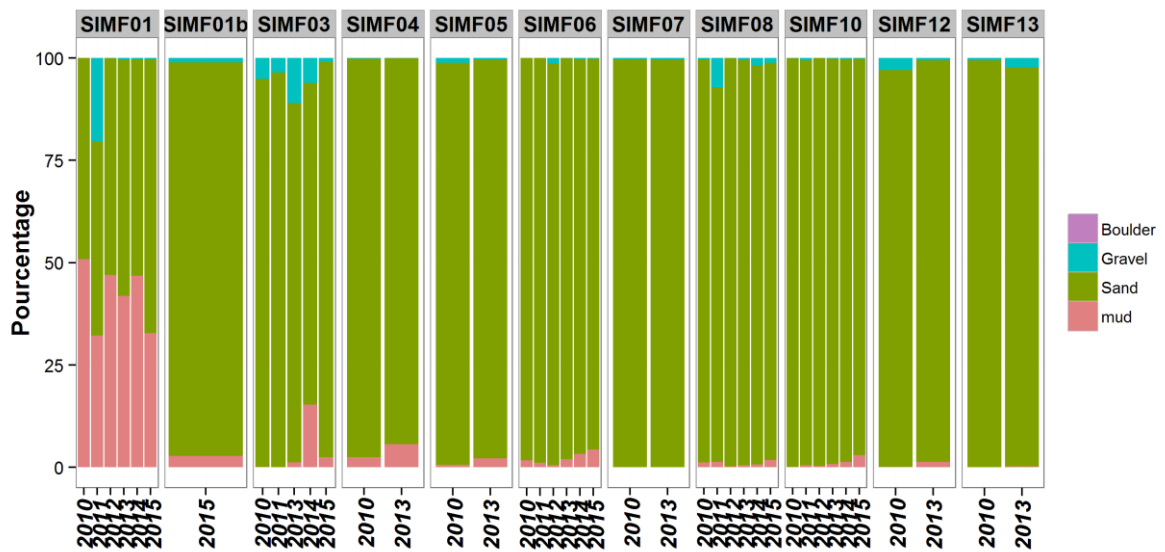


Figure 5 : Histogrammes de distribution des fréquences de classes granulométriques caractérisant les sites côtiers en domaine intertidal sur le plan de gestion 2010-2015.

Le site le Chausey (SIMF01), suivi depuis 2007, présente le pourcentage en particules fine (<63 μm) le plus élevé des sites côtiers intertidaux (

Figure 5). Cette teneur en particule fines semble s'être stabilisée suite à un envasement entre 2009 et 2010. La valeur moyenne de la médiane granulométrique pour les années 2007-2008-2009 était de 203 μm (Garcia *et al.*, 2014) alors que sur le plan de gestion 2010-2015, elle atteint une valeur de $75\pm 23 \mu\text{m}$ (Figure 6 A). Au regard de l'indice de Trask, le sédiment est considéré comme « très mal classé ». En effet, il est principalement composé de vase et de débris coquilliers (en particulier de coquilles de gastéropodes pouvant faire fortement varier la teneur en particules grossières). Le sédiment au site SIMF01 est également celui qui possède la teneur en matière organique moyenne sur la période 2010-2015 la plus élevée ($4\pm 1\%$, Figure 8). Le sédiment du site de la Baie du Mont Saint-Michel (SIMF03 – Figure 7) présente la médiane granulométrique moyenne la plus élevée sur la période 2010-2015 mais également la plus variable ($D_{50\text{moyenne}} = 363\pm 245\mu\text{m}$ - Figure 6A).

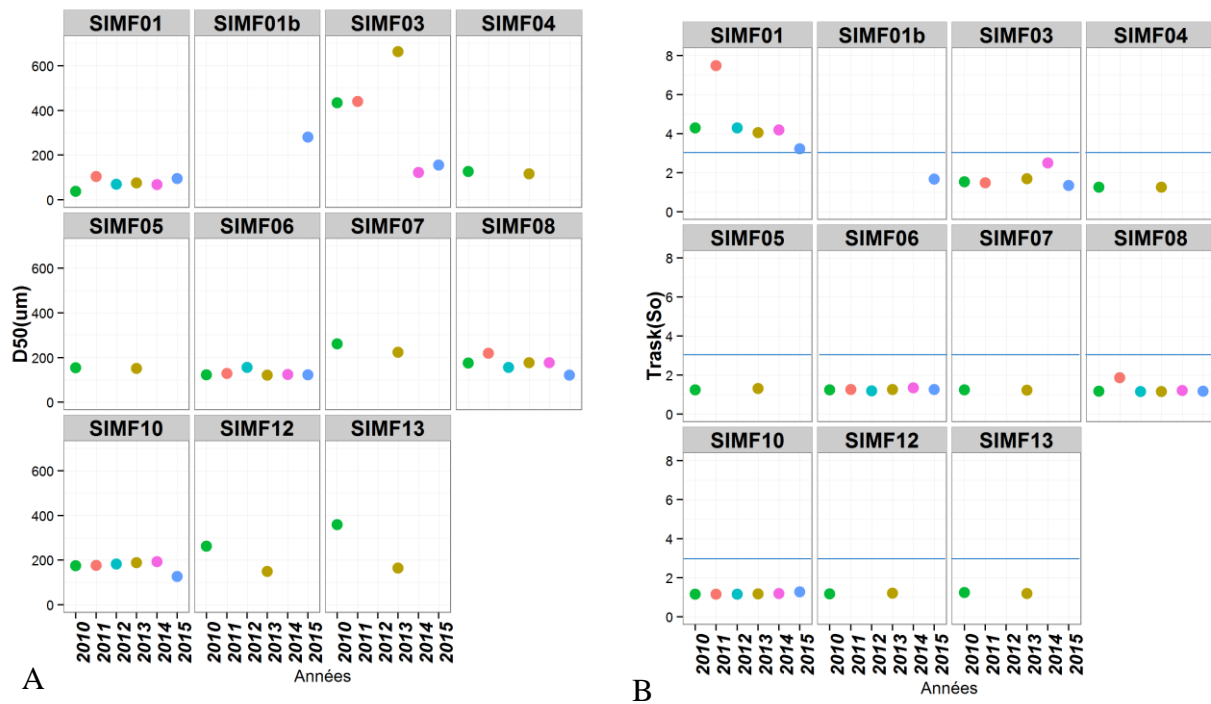


Figure 6 : Evolution des paramètres sédimentologiques des sites côtiers en domaine intertidal, 2010-2015. A : médiane granulométrique (D50), B : indice de Trask (So) - les valeurs supérieures à la ligne horizontale (2,75) traduisent un sédiment "très mal classé".



Figure 7 : Sédiment présent au site de la baie du Mont Saint-Michel (SIMF03) en 2013.

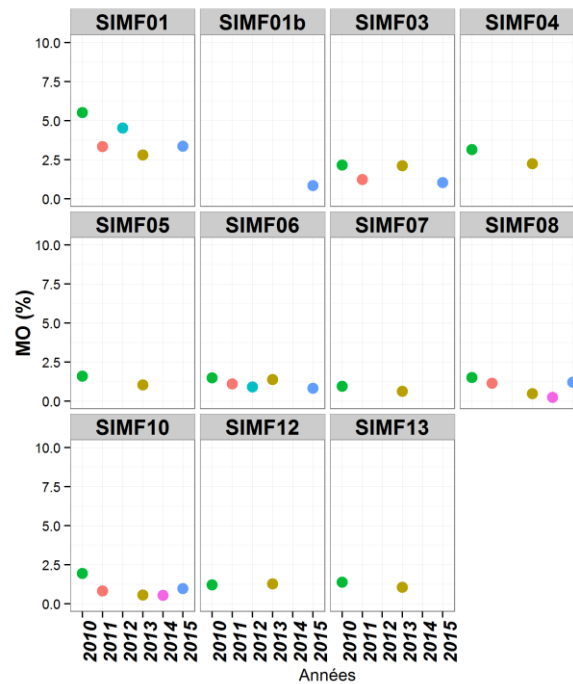


Figure 8 : Evolution des paramètres sédimentologiques des sites côtiers en domaine intertidal, 2010-2015 : teneur en matière organique (MO).

3.1.2 Caractéristiques faunistique

Abondances

L'abondance moyenne sur les 11 sites intertidaux côtiers durant la période 2010-2015 est de $223 \pm 420 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ avec une abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ maximale atteinte sur le site de Chausey (SIMF01 : $1068 \pm 586 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ - Figure 9). Le deuxième site de Chausey présente également une forte abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur les deux années de suivi ($365 \pm 113 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$). L'abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ minimale est observée sur le site de Heauville (SIMF07 : $7 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$). On peut également noter une abondance particulière au site SIMF08 en 2010 ($255 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$).

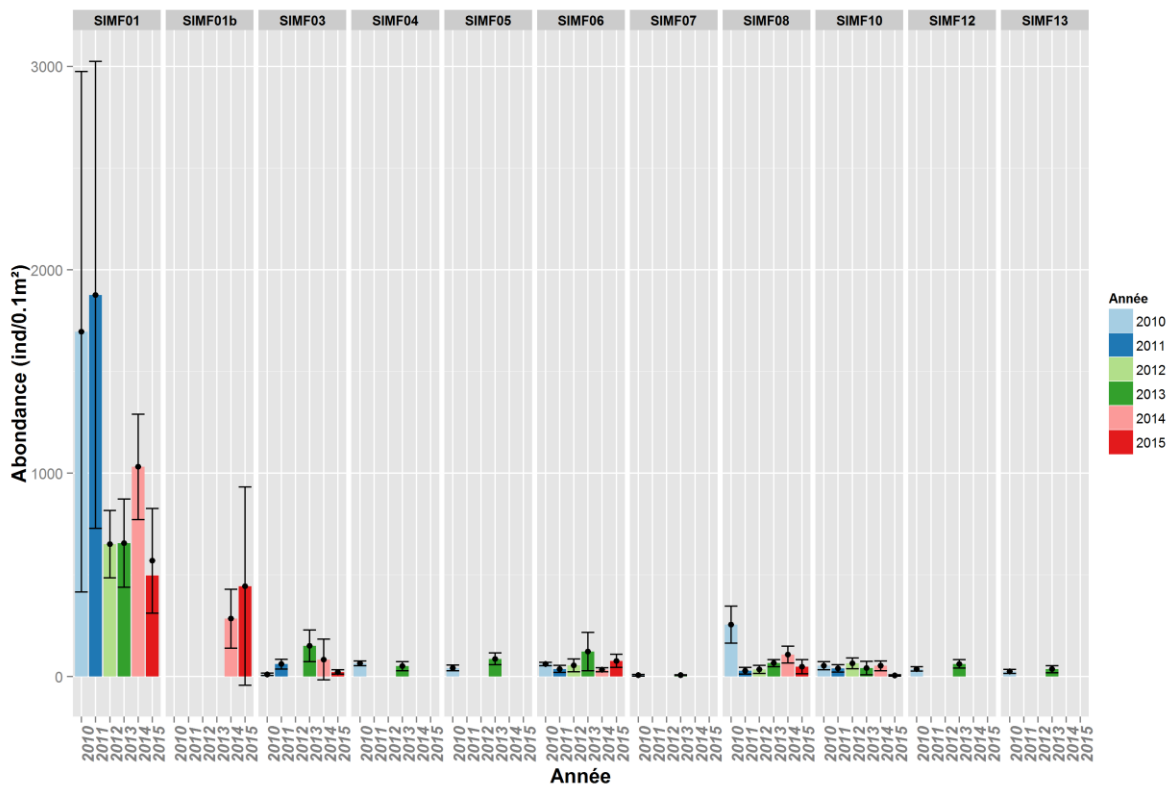


Figure 9 : Abondance moyenne (ind./0,1m² ± écart type) - sites intertidaux côtiers - 2010-2015.

Indices de diversité : Richesse taxinomique (S) et équitabilité (J')

Un total de 270 taxa a été identifié entre 2010 et 2015 sur l'ensemble des 11 sites intertidaux côtiers. La S moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur l'ensemble des sites est de 23 taxa avec une S moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ maximale atteinte sur le deuxième site de Chausey (SIMF01b : 59±6 taxa) et une S moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ minimale observée sur le site de Heauville (SIMF07 : 6±2 taxa - Figure 10).

La proportion d'individus est bien répartie entre les espèces. Sur l'ensemble des suivis 2010-2015, 78% des indices de Pielou (J') calculés par couple année/site sont supérieurs à 0,6, 20% sont compris entre 0,4 et 0,6. Seul le J' calculé au site SIMF08 en 2010 est faible (J'=0,2 - Figure 11) et illustre la dominance en terme d'abondance de l'espèce *Bathyporeia pilosa*. (222 ind./0,1m⁻²)

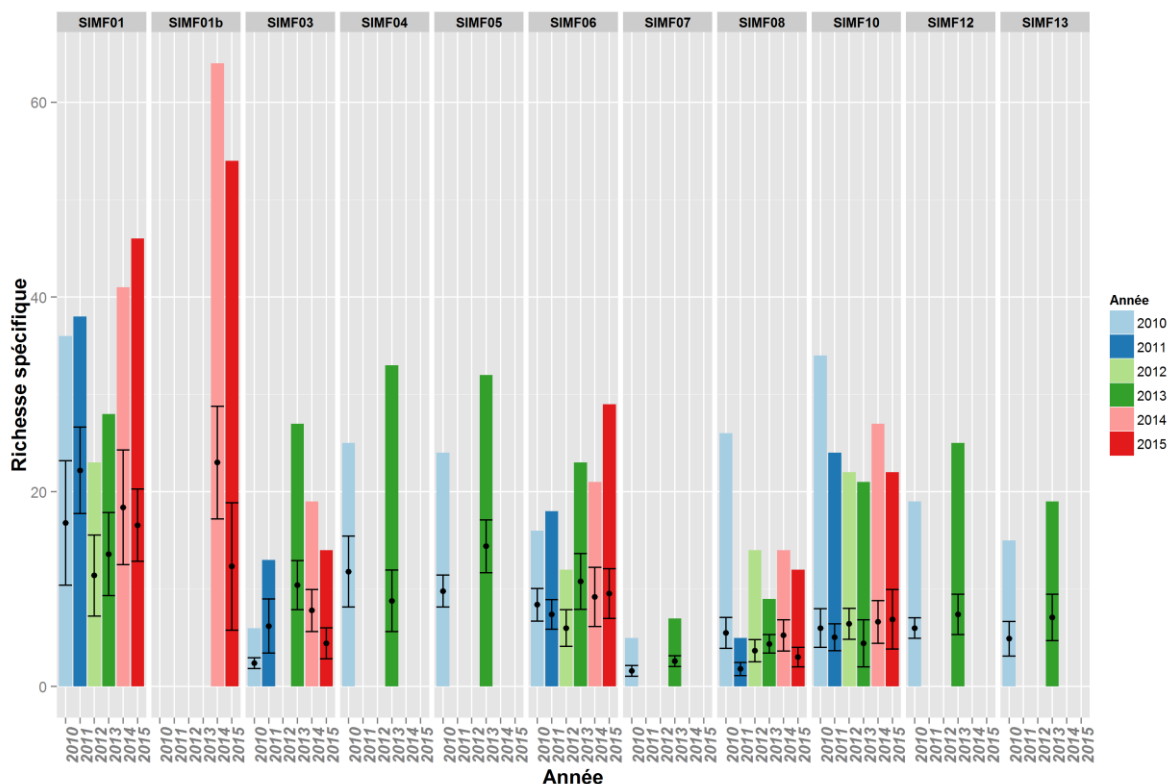


Figure 10 : Richesse taxinomique (S) - sites côtiers en domaine intertidal - 2010-2015 (barres colorées : richesse totale, points noir : richesse moyenne et écart type).

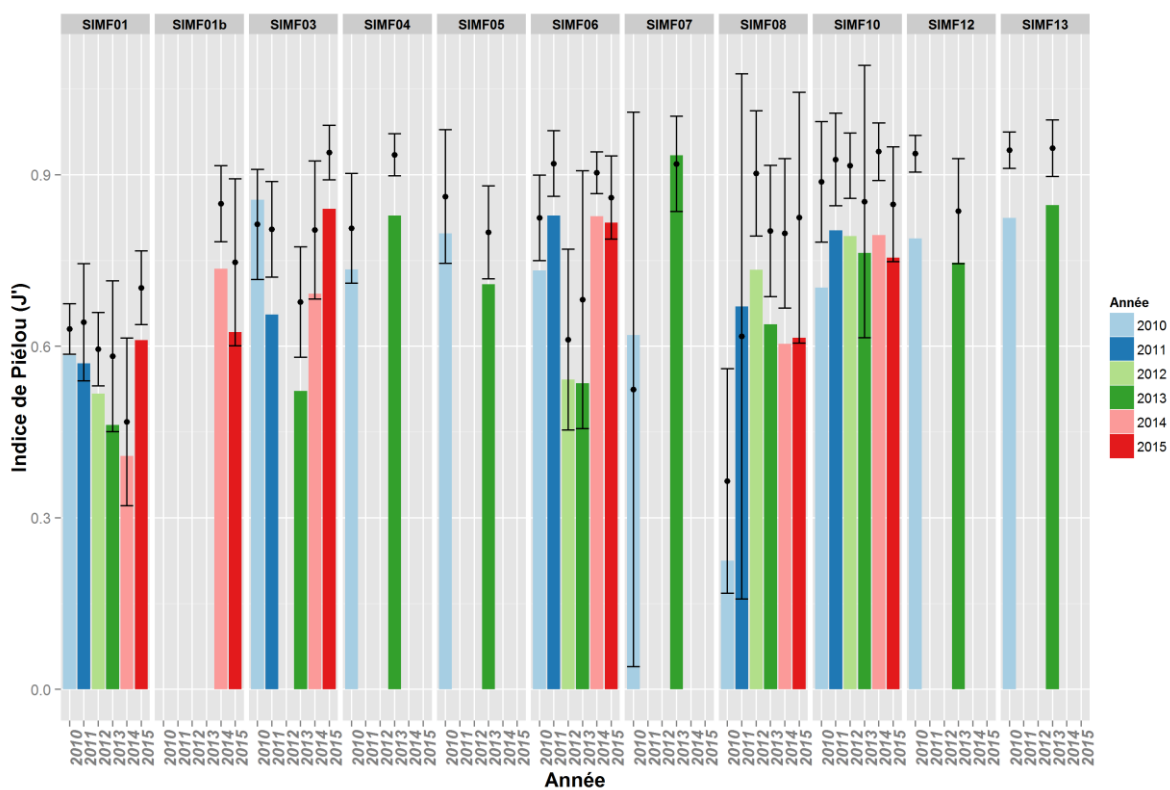


Figure 11 : Indice de Piélu (J') - sites côtiers en domaine intertidal - 2010-2015 (barres colorées : indice de Piélu total, points noir : indice de Piélu moyen et écart type).

3.1.3 Détermination des communautés

Les groupes déterminés *a priori* grâce à la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité (distance de Bray-Curtis) entre les sites en domaine intertidal des masses d'eau côtières sont significativement différents (PermAnova : p -value < 0,001).

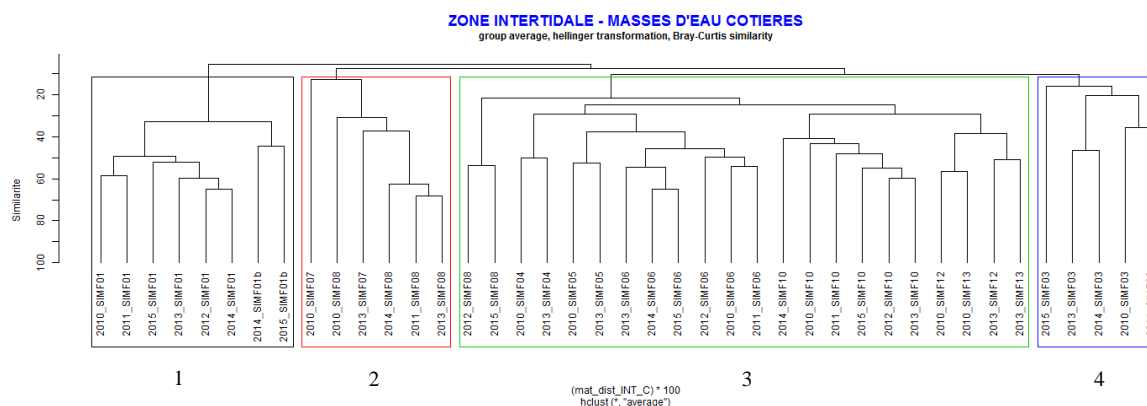


Figure 12 : Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre les sites côtiers en domaine intertidal.

Le premier groupe (1, $n=8$ - Figure 12) est constitué de toutes les années de suivi des sites de l'archipel de Chausey. Ce groupe se distingue des autres groupes par son abondance ($N = 892 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$) et sa richesse ($S = 41 \pm 13$ taxa) significativement plus élevées (Tukey – p -value < 0,001 - Figure 13). L'annélide polychète *Cirriformia tentaculata* et le crustacé *Cyathura carinata* sont les espèces caractéristiques du premier groupe (IndVal – p -value = 0,0099). Elles sont présentes uniquement dans ce groupe et dans tous les couples année/site qui le constituent. L'annélide polychète *Ampharete acutifrons* est responsable de la dissimilarité entre le groupe 1 et l'ensemble des autres groupes. Cette espèce est particulièrement présente dans le site de suivi initial de l'Archipel (SIMF01) et peu, voire pas, sur le nouveau site (SIMF01bis). Les annélides polychètes *Cirriformia tentaculata* et *Ampharete acutifrons*, sont toutes deux caractéristiques des milieux hétérogènes envasés (Bajjouk *et al.*, 2015).

Le deuxième groupe (2, $n=6$ - Figure 12) est constitué des deux années de suivi (2010 et 2013) de la station SIMF07 (Heauville) et de quatre années (2010, 2011, 2013, 2014) de la station SIMF08. Ce groupe présente la plus faible des richesses moyennes (11 ± 8 taxa). Les espèces caractéristiques de ce groupe sont les crustacés *Bathyporeia pilosa* et *Eurydice pulchra*. Les années de suivi 2012 et 2015 de la station SIMF08 sont intégrées au groupe 3 en raison de l'absence de ces deux dernières espèces. *Eurydice pulchra* et *Bathyporeia pilosa* affectionnent les sables mobiles intertidaux (Bajjouk *et al.*, 2015).

Le troisième groupe (3, $n=22$ - Figure 12) est constitué de la totalité des années de suivi des sites SIMF04, SIMF05, SIMF06, SIMF10, SIMF12 et SIMF13 mais également des années de suivi 2012 et 2015 de la station SIMF08. Ce groupe présente une richesse moyenne de 22 ± 6 taxa et d'une abondance de $52 \pm 24 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$. Les espèces caractéristiques de ce groupe sont l'amphipode *Urothoe poseidonis* et l'annélide polychète *Magelona mirabilis*.

Le dernier groupe (4, $n=5$ - Figure 12) est constitué de l'ensemble des années de suivi du site de la baie du Mont Saint Michel (SIMF03). Elle présente une richesse moyenne de 16 ± 8 taxa et une abondance moyenne, très variable d'une année sur l'autre, de $66 \pm 56 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$. Les espèces caractéristiques sont le bivalve *Limecola balthica* et l'annélide polychète *Goniadella bobrezkii*, typiques des vases sablo-graveleuses intertidales.

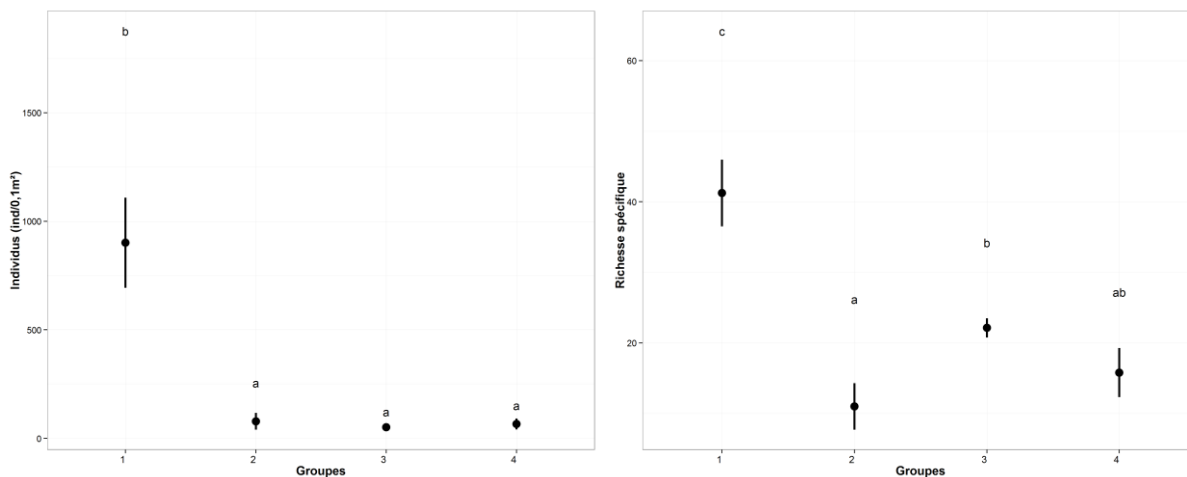


Figure 13 : Abondance (A) et Richesse (B) des assemblages intertidaux côtiers déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post-hoc de tukey HSD au seuil de 0,05.

Une grande majorité des communautés du domaine intertidal côtier sont dominées par des taxa appartenant aux groupes écologiques G1 et G2 caractéristiques du bon état écologique (Figure 14). Toutefois, les communautés intertidales de l’archipel de Chausey sont dominées par des taxa appartenant aux groupes écologiques G3, G4 et G5 en raison de la présence de nématodes et d’oligochètes, considérées comme des taxa opportunistes de premiers ordre dans la liste de l’AMBI.

La communauté en place au site SIMF06 connaît en 2012 et 2013 une augmentation de la proportion des taxa du groupe écologique G3 par l’apparition d’un annélide polychète de petite taille : *Spio martinensis*.

La communauté en place au site SIMF08 connaissent une diminution de la proportion du groupe écologique G1 avec la disparition des crustacés *Bathyporeia pilosa* et *Eurydice pulchra* et l’apparition du crustacé *Cumopsis goodsir* et des annélides polychètes *Glycera tridactyla* et *Nephtys hombergii* appartenant au groupe écologique G2.

Pour 10 couples année/station (encadrés noirs - Figure 14), les proportions des cinq groupes écologiques calculées, doivent être considérées avec précaution (Tableau 9). Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d’espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectent pas les conditions d’application permettant une représentation robuste de la structure écologique.

Tableau 9 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance moyenne (ind.0,1m⁻²) : 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 stations côtières du domaine intertidal.

		S	N	%NA
2014	SIMF03	19	84	44,29
2015	SIMF03	14	23	27,12
2010	SIMF04	25	64	21,74
2013	SIMF04	33	51	21,74
2010	SIMF05	24	42	20,95
2010	SIMF06	16	62	37,42
2011	SIMF08	5	29	39,53
2012	SIMF10	22	65	21,53
2015	SIMF10	22	6	20,99

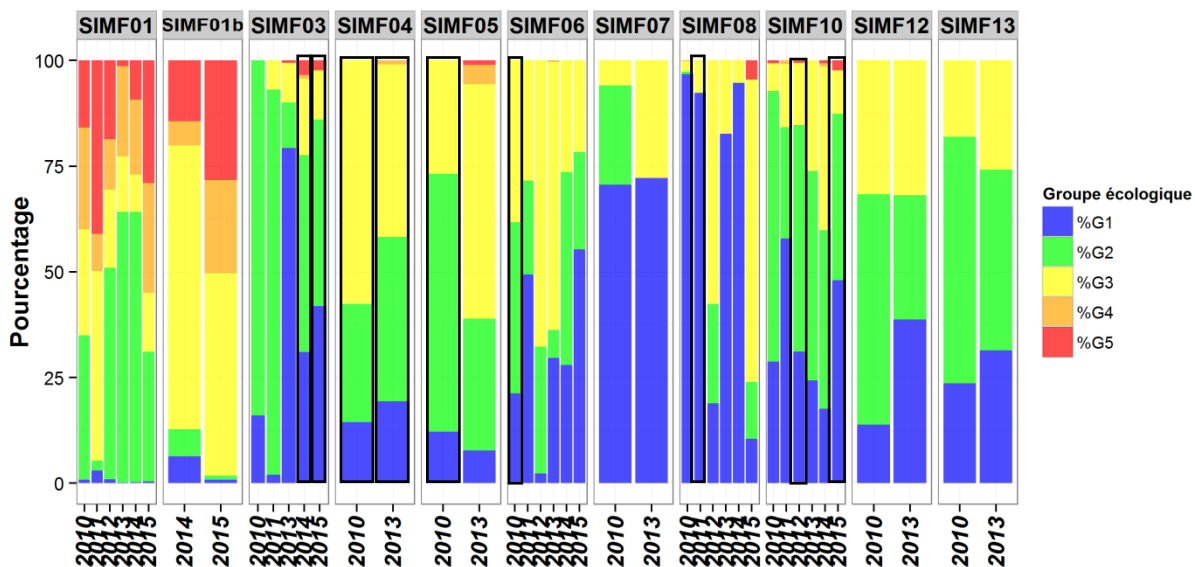


Figure 14 : Répartition des différents groupes écologiques au sein des communautés du domaine intertidal côtier (encadrés noirs : ne respectent pas les conditions d'application).

3.2 MASSES D'EAU COTIERES EN DOMAINE SUBTIDAL

3.2.1 Caractéristiques sédimentaire

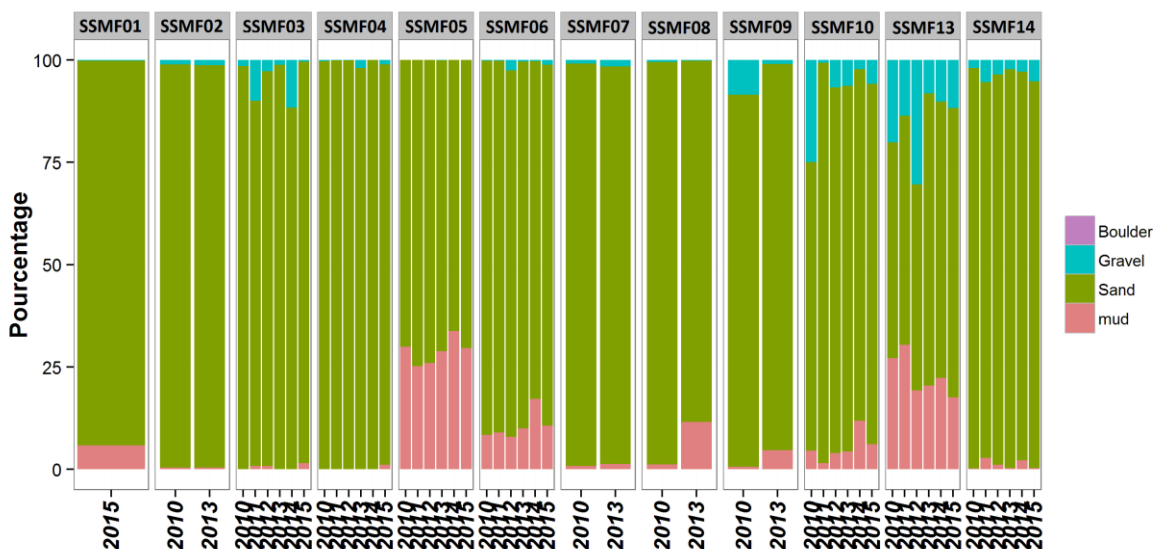


Figure 15 : Histogramme de distribution des fréquences de classes granulométriques caractérisant les sites côtier en domaine subtidal - 2010-2015.

Plus hétérogènes qu'en domaine intertidal, les sédiments des sites subtidaux restent caractérisés par des sables plus ou moins envasés, sauf au site d'Heuqueville à proximité du Havre (SSMF13 - Figure 15). Le sédiment de ce site a de fortes proportions en particules fines et en particules plus grossières. L'indice de Trask (So - Figure 16) illustre bien cette hétérogénéité en particulier sur les trois premières années de suivi. En 2012, il est d'ailleurs caractérisé par du gravier vaso-sableux.

Le sédiment des sites localisés en Rade de Cherbourg (SSMF05 et SSMF06) présente une forte proportion en particules fines en particulier à l'intérieur de la grade rade (SSMF05).

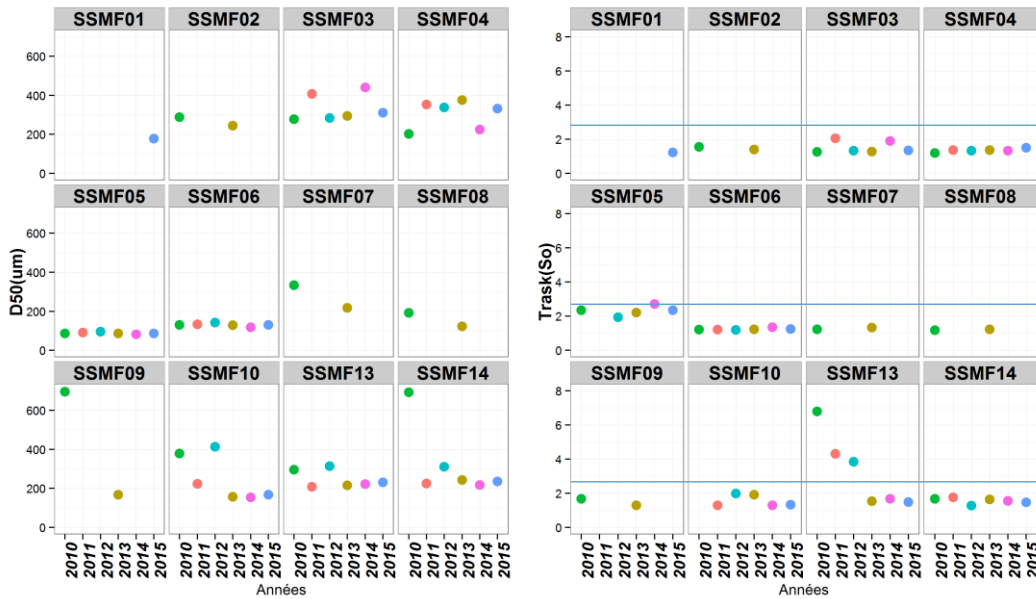


Figure 16 : Evolution des paramètres sédimentologiques des sites côtiers en domaine subtidal, 2010-2015. A : médiane granulométrique (D50), B : indice de Trask (So) - les valeurs supérieures à la ligne horizontale (2,75) traduisent un sédiment "très mal classé".

Dans le sédiment total, le pourcentage moyen₂₀₁₀₋₂₀₁₅ en matière organique n'excède pas 3,6% (SSMF13 - Figure 17).

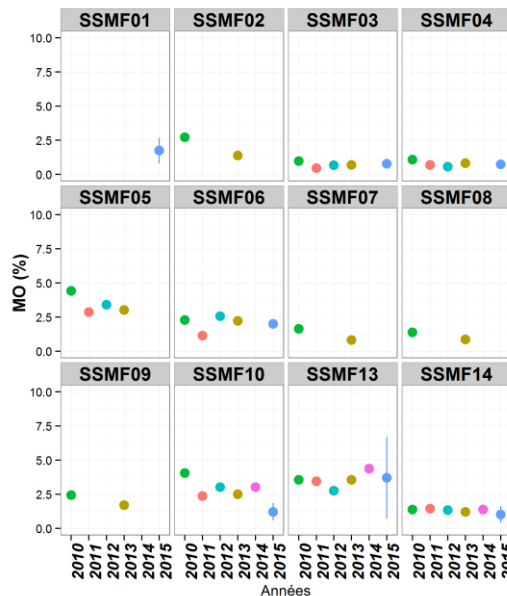


Figure 17: Evolution de la teneur en matière organique des sédiments subtidaux situés en domaine côtier entre 2010 et 2015.

3.2.2 Caractéristiques faunistique

Abondance

Sur l'ensemble des 12 sites du domaine subtidal côtier, l'abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ est de $484 \pm 567 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$. Les abondances moyennes₂₀₁₀₋₂₀₁₅ maximales sont atteintes sur les sites à proximité de la rade de Cherbourg ($1272 \pm 269 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$ pour le site SSMF05, $1436 \pm 629 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$ pour le site SSMF06 - Figure 18). L'abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ la plus faible est observée autour de Saint-Marcouf, dans l'anse de Saint Vaast la Hougue (SSMF07).

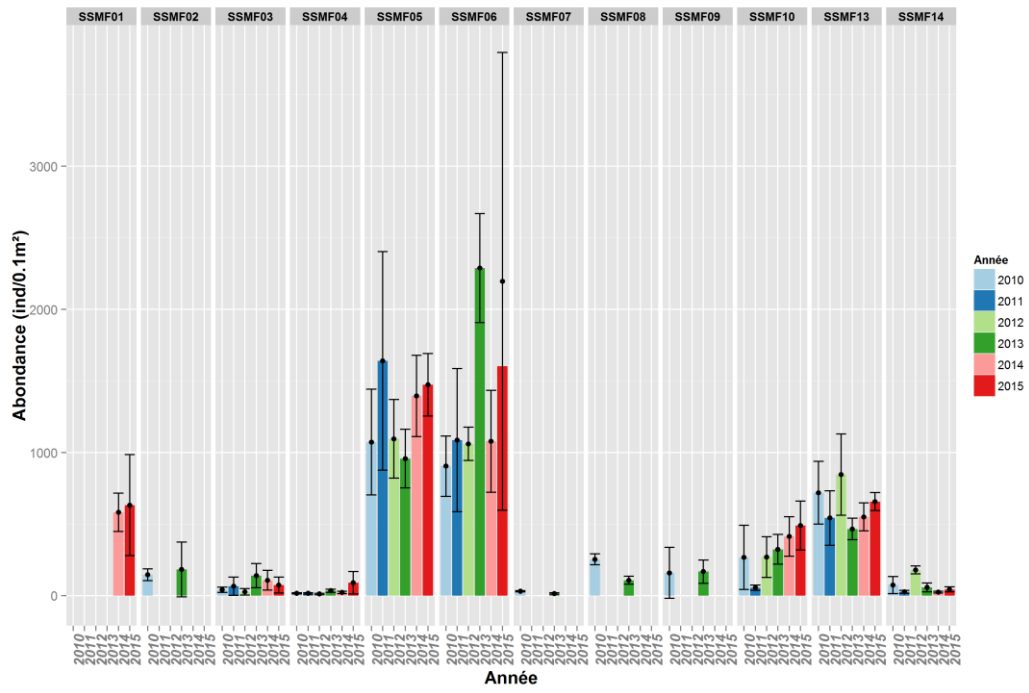


Figure 18: Abondance moyenne (ind./0,1m²) - sites côtiers en domaine subtidal - 2010-2015.

Indices de diversité : Richesse taxinomique (S) et équitabilité (J')

Un total de 577 taxa a été identifié sur l'ensemble des 12 sites du domaine subtidal côtier entre 2010 et 2015. Le nombre de taxa identifiés est plus important qu'en domaine intertidal côtier (270 taxa). La richesse (S - Figure 19) moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur l'ensemble des sites est de 62 ± 22 taxa avec un maximum atteint de 106 ± 77 taxa sur le site de Chausey (SSMF01) et un minimum de 27 ± 19 taxa à Diélette (SSMF04, Cap de la Hague). La structuration des communautés en termes d'abondance est bien équilibrée. Sur l'ensemble des années de suivi, 77% des indices de Piélou (J' - Figure 20) sont supérieurs à 0,6, et 21% sont compris entre 0,4 et 0,6. Seule la valeur calculée au site SSMF06 en 2013 est faible (0,2) et illustre la dominance de l'amphipode *Ampelisca brevicornis*.

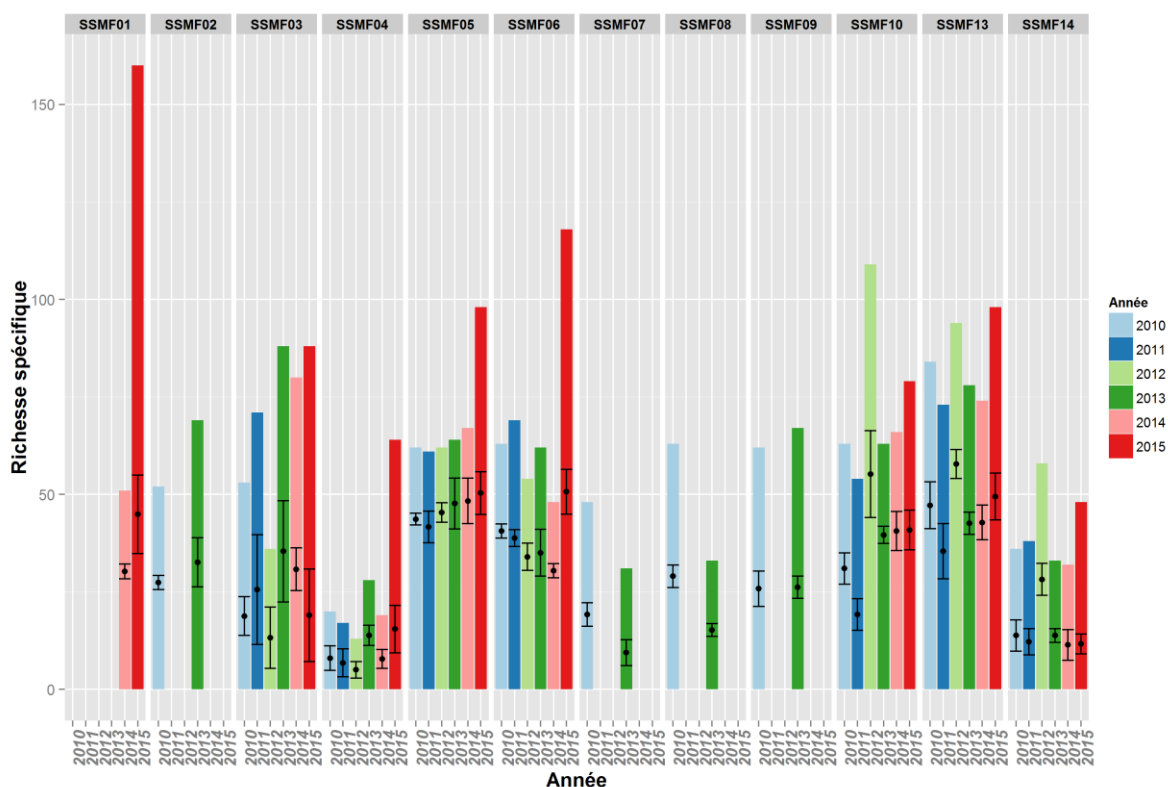


Figure 19: Richesse taxinomique (S) - en domaine subtidal des eaux côtières - 2010-2015 (barres colorées : richesse totale, points noir : richesse moyenne et écart type).

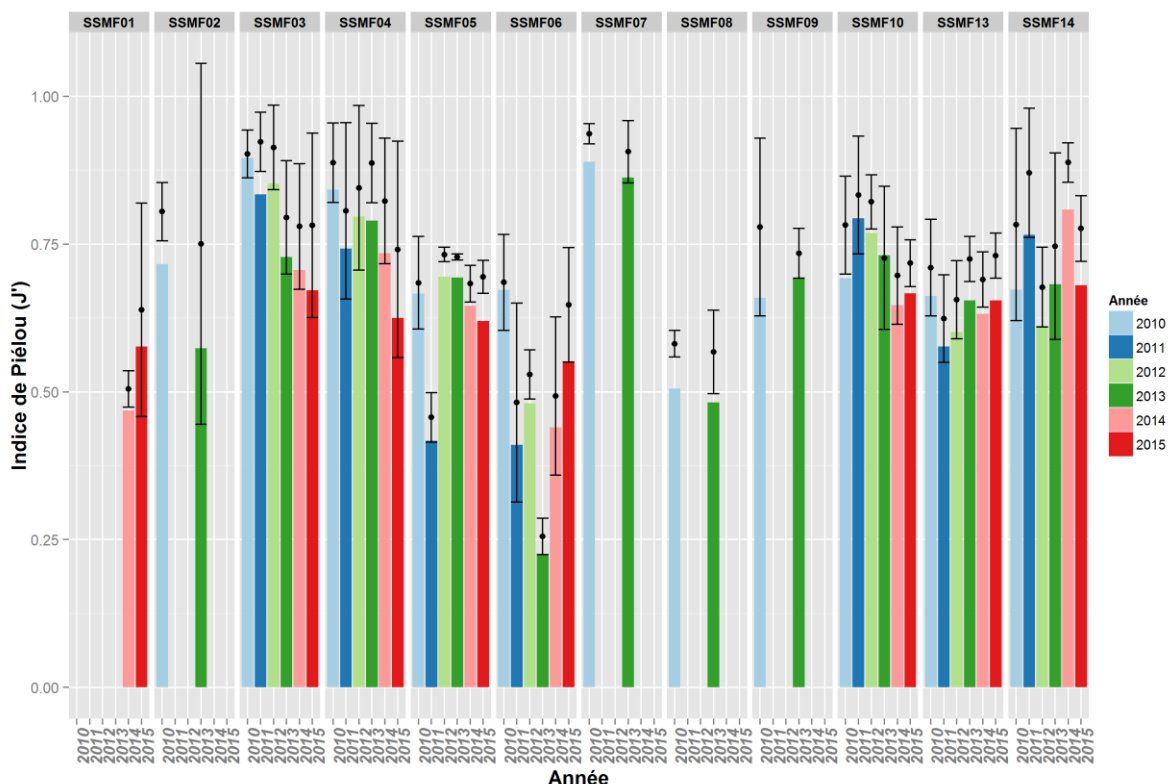


Figure 20: Indice de Piélou (J') - sites en domaine subtidal des eaux côtières - 2010-2015 (barres colorées : indice de Piélou total, points noir : indice de Piélou moyen et écart type).

3.2.3 Détermination des communautés

Les groupes déterminés *a priori* grâce à la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité (distance de Bray-Curtis) entre les sites en domaine subtidal des masses d'eau côtières sont significativement différents (PermAnova : $p\text{-value} < 0,001$ - Figure 21).

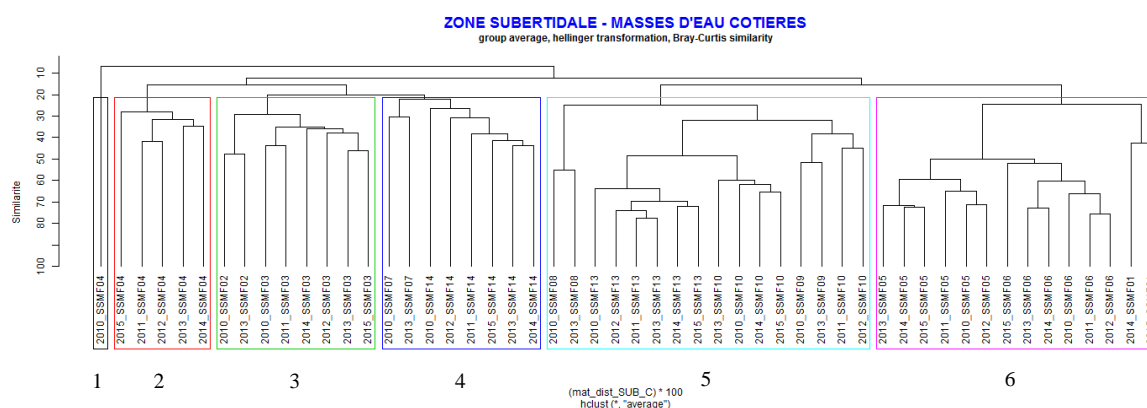


Figure 21 : Classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisé à partir de la matrice de similarité (Distance de Bray-Curtis) entre les sites du domaine subtidal côtier.

Le site de Diélette échantillonné en 2010 forme un « groupe » (1, n=1 - Figure 21) à lui seul. Il est caractérisé à la fois par une faible abondance (16 ind.0,1m⁻²) et une faible richesse totale (20 taxa). Les espèces caractéristiques (le cumacé *Cumopsis fagei*, l'amphipode du genre *Pontocrates* et l'isopode *Urothoe marina*), déterminées par la méthode de l'IndVal, sont présentes uniquement dans ce groupe.

Le groupe 2 (n= 5, Figure 21) est constitué de l'ensemble des années de suivi (sauf 2010) du site Diélette (SSMF04). L'abondance moyenne de ce groupe est de 35 ± 32 ind.0,1m⁻² et sa richesse totale moyenne est de 28 ± 21 taxa. L'isopode *Eurydice spinigera*, absente en 2010, est caractéristique de ce groupe.

Le groupe 3 (n=8, Figure 21) est constitué de toutes les années de suivi des sites de Granville et Pirou [Ouest Cotentin, respectivement SSMF02 et SSMF03]. Ce groupe présente une abondance moyenne 98 ± 55 ind.0,1m⁻² et une richesse totale moyenne de 67 ± 19 taxa. Il est caractérisé par les espèces suivantes : le polychète *Armandia polyophthalma*, le bivalve *Glycymeris glycymeris* et le scaphopode *Antalis vulgaris*.

Le groupe 4 (n=8, Figure 21) se compose de toutes les années de suivi des sites de la rade de Saint-Marcouf (SSMF07) et de Dieppe (SSMF14). Il présente une abondance moyenne de 56 ± 53 ind.0,1m⁻² et une richesse totale moyenne de 41 ± 10 taxa. L'espèce caractéristique de ce groupe est le polychète *Ophelia borealis*.

Le groupe 5 (n=16) regroupe l'ensemble des années de suivi de quatre sites situés dans les baies des Veys (SSMF08) et de Caen (SSMF09), à Villers-sur-mer (SSMF10) et à Heuqueville (SSMF13). Ce groupe présente une abondance moyenne de 393 ± 231 ind.0,1m⁻² et une richesse totale moyenne 73 ± 18 taxa. Les bivalves *Kurtiella bidentata* et *Tellimya ferruginosa* ainsi que les échinodermes *Acrocnida brachiata* et *Echinocardium cordatum* sont les espèces caractéristiques de ce groupe.

Le groupe 6 (n=14) est constitué de toutes les années de suivi des sites de la rade de Cherbourg (SSMF05 et SSMF06) ainsi que celui de l'archipel de Chausey (SSMF01). Ce groupe présente l'abondance moyenne significativement la plus élevée 1247 ± 509 ind.0,1m⁻² (Tukey : *p*-value < 0,001 - Figure 22A) et une richesse totale moyenne de 74 ± 31 taxa (Figure 22B). Les espèces caractéristiques de ce groupe sont le bivalve *Lucinoma borealis* et les annélides polychètes *Galatowenia oculata* et *Euclymene affinis*.

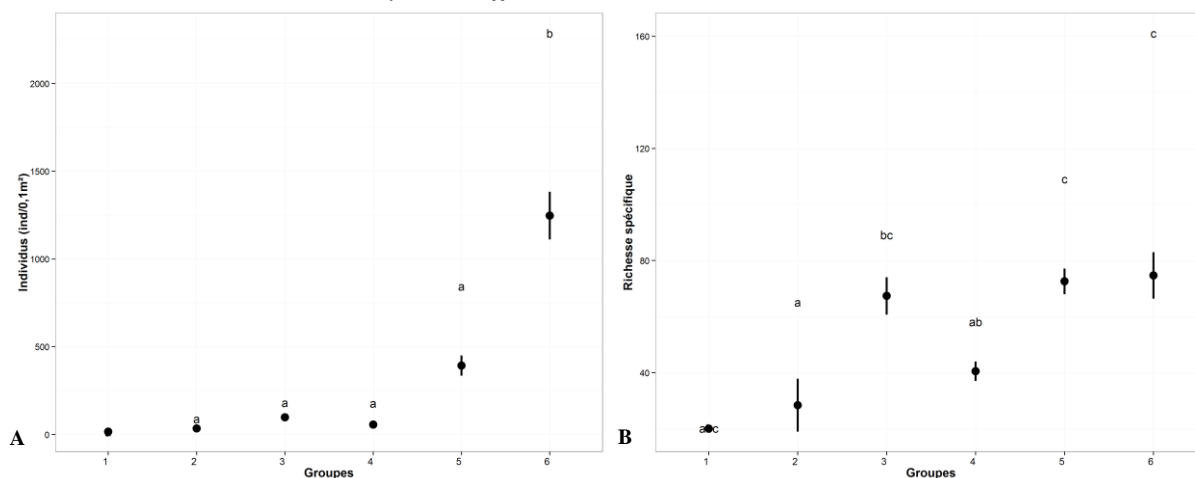


Figure 22 : Abondance (A) et Richesse (B) des assemblages subtidaux côtiers déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post-hoc de tukey HSD au seuil de 0,05.

Une grande majorité des sites du domaine subtidal côtier est dominée par des taxa appartenant aux groupes écologiques G1 et G2 (Figure 23). Cependant, le site SSMF08, situé dans la baie des Veys, présente une forte proportion d'une espèce opportuniste de second ordre (G4) : le polychète cirratulidae *Chaetozone christiei*. A Granville (SSMF02), cette même espèce a disparu entre 2010 et 2013. A Diélette (SSMF04), les nématodes (G3) observés en 2013 n'ont pas été retrouvés en 2014 et 2015. Au site SSMF05 (grande rade de Cherbourg), l'amphipode *Ampelisca tenuicornis* (groupe G1) a progressivement régressé au cours des quatre dernières années de suivi (2012–2015). Enfin, au site de Dieppe, l'annélide polychète *Spiophanes bombyx* (groupe G3), apparu en 2012, a disparu dans les dernières années de suivi.

Pour 19 couples année/station (encadrés noirs-Figure 23), les proportions des cinq groupes écologiques calculées, doivent être considérées avec précaution (Tableau 10). Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectent pas les conditions d'application permettant une représentation robuste de la structure écologique.

Tableau 10 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance moyenne (ind.0,1m⁻²) : 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 stations côtières du domaine subtidal.

		S	N	%NA
2015	SSMF01	160	632,33	23,09
2013	SSMF02	69	182,8,0	55,25
2014	SSMF03	80	107,8,0	55,29
2015	SSMF03	88	73,22	24,43
2010	SSMF14	36	73,4,0	29,43
2013	SSMF14	33	57,4,0	29,62

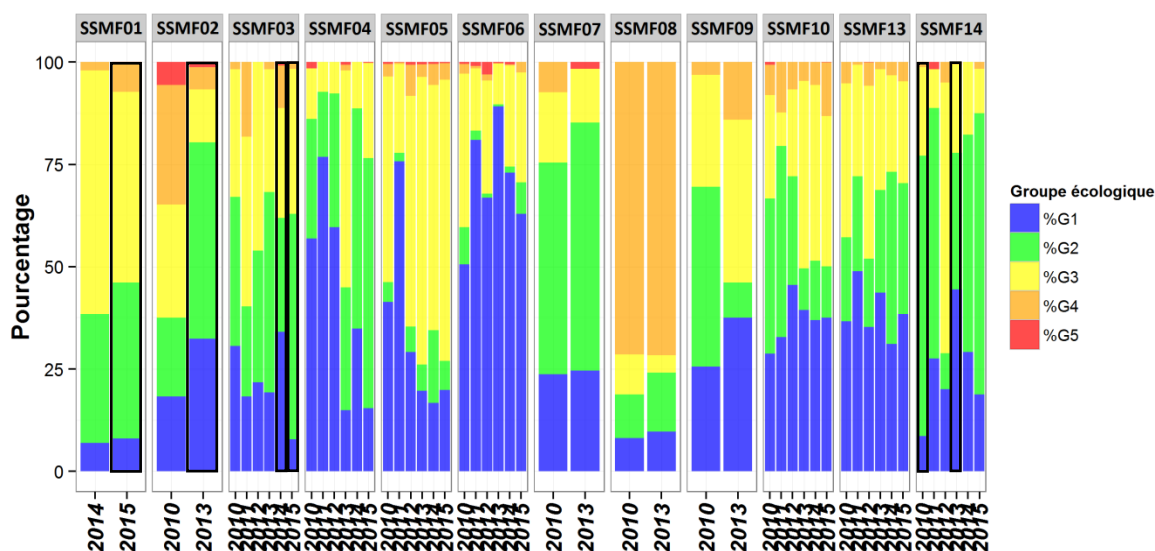


Figure 23 : Répartition des différents groupes écologiques au sein des communautés du domaine subtidal côtier (encadrés noirs : ne respectent pas les conditions d'application).

3.3 MASSES D'EAU DE TRANSITION EN DOMAINE INTERTIDAL

3.3.1 Caractéristiques sédimentaire

L'ensemble du domaine intertidal des eaux de transition est caractérisé par des sables plus ou moins envasés ($D_{50} : 147 \pm 76 \mu m$) selon la classification de Blott & Pye 2001 (Figure 24 et Figure 25A), à l'exception du sédiment situé au Nord-Ouest du Pont de Normandie (R83) qui, en 2011, était une vase sableuse. Ce site présente également une teneur en matière organique plus importante ($6,1 \pm 2,5 \%$) que les autres sites (Figure 26)

Contrairement à ce qui est observé en domaine intertidal côtier, ces sédiments présentent une plus forte variabilité intra-site (Figure 25B).

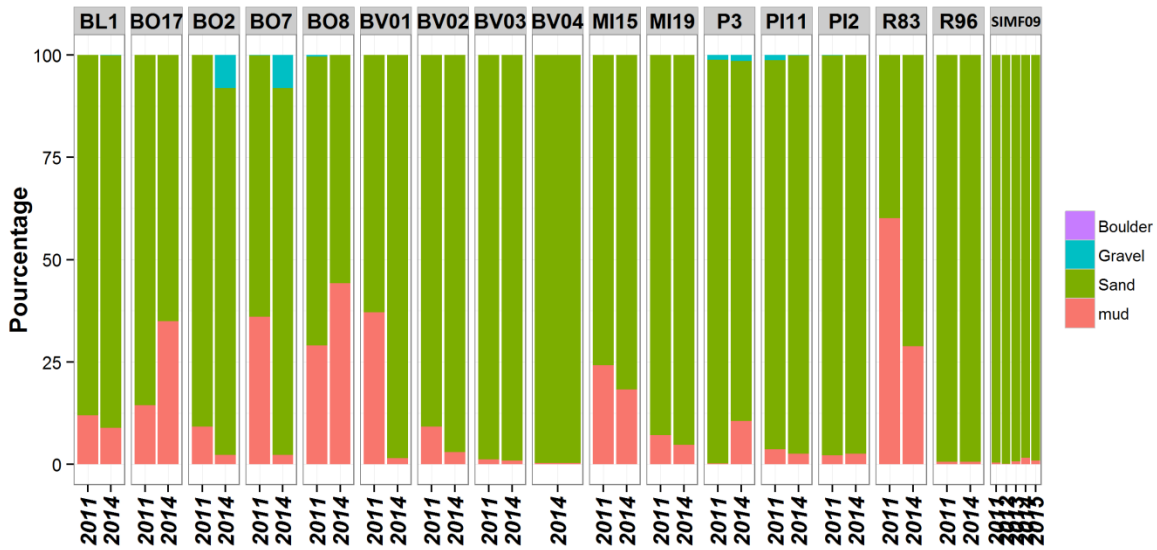


Figure 24 : Histogramme de distribution des fréquences de classes granulométriques caractérisant les sites des masses d'eau de transition en domaine intertidal (2010-2015).

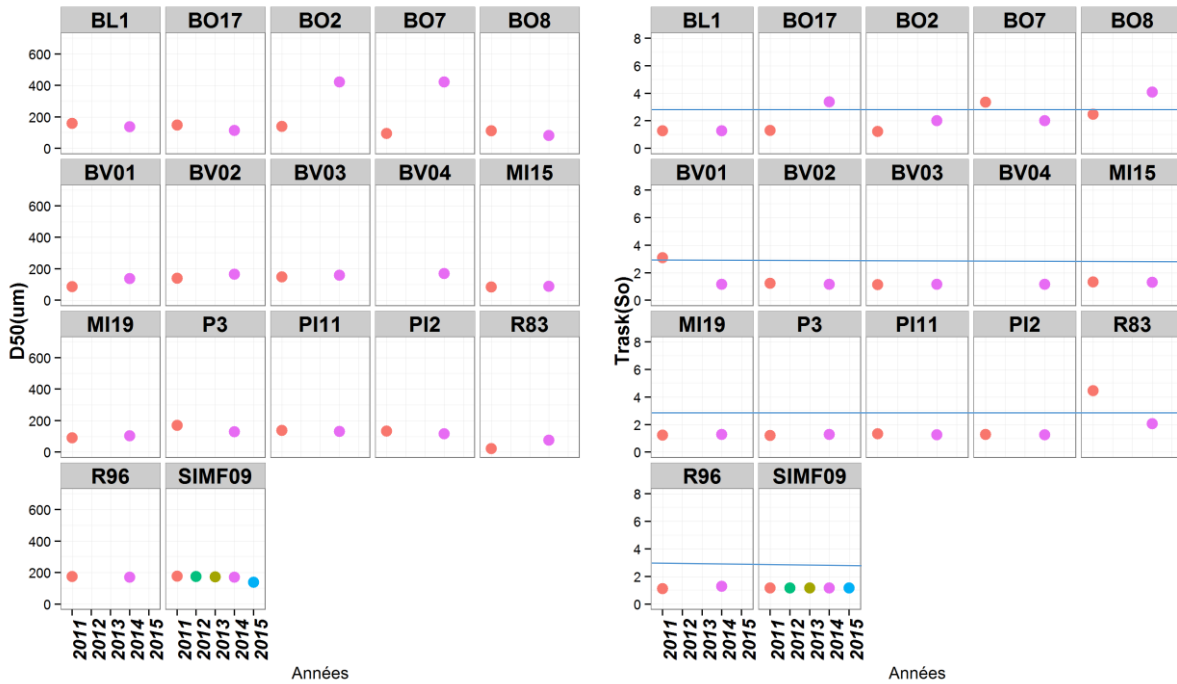


Figure 25: Evolution des paramètres sédimentologiques des sites des masses d'eau de transition du domaine intertidal, 2010-2015. A : médiane granulométrique (D50), B : indice de Trask (So) - les valeurs supérieures à la ligne horizontale (2,75) traduisent un sédiment "très mal classé".

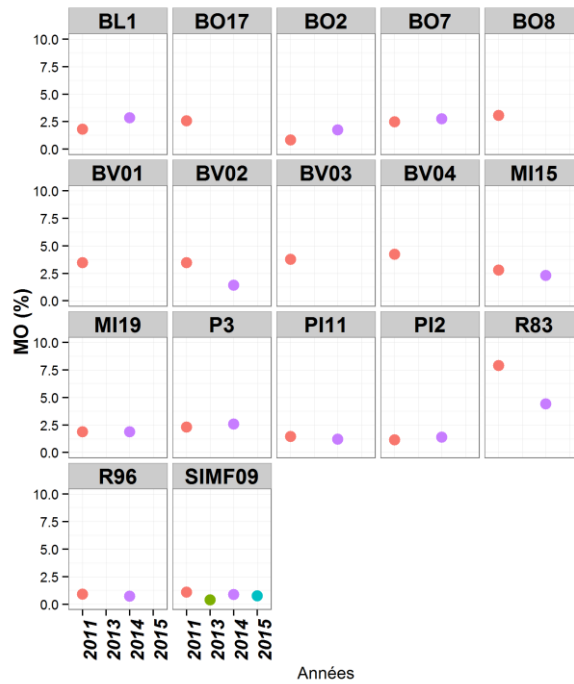


Figure 26: Evolution de la teneur en matière organique des sédiments intertidaux des masses d'eau de transition entre 2010 et 2015.

3.3.2 Caractéristiques faunistique

Abondance

L'abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur les 17 sites intertidaux situés en eaux de transition est de $324 \pm 600 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$ avec un maximum de $2007 \pm 2600 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$ en fond de baie du Mont-Saint-Michel (site de Bouillé, MI15) et un minimum de $16 \pm 11 \text{ ind.} \cdot 0,1\text{m}^{-2}$ dans l'estuaire de la Seine (Banc d'Amfard, BL1).

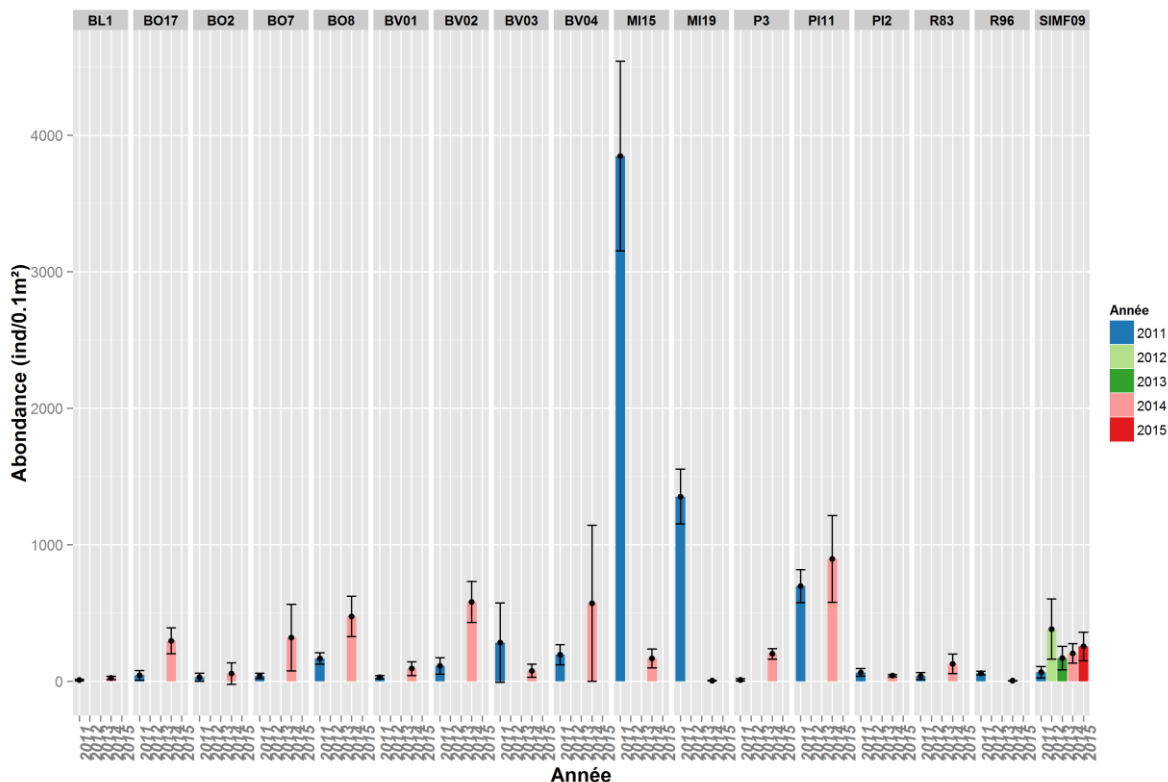


Figure 27 : Abondance moyenne (ind./0,1m⁻²) - sites intertidaux des masses d'eau de transition (2010-2015).

Indice de diversité : Richesse et indice de Piélou

Un total de 103 taxa a été identifié sur l'ensemble des sites intertidaux des eaux de transition sur la période 2010-2015. La richesse moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur l'ensemble des 17 sites est de 12±6 taxa, avec un maximum de 21±2 taxa en baie des Veys (Grouin Nord Ouest, BV02) et un minimum de 3±1 taxa dans le fond de la baie du Mont Saint Michel (Gué de l'Epine, MI19, Figure 28). Globalement, les communautés sont bien structurées. Sur l'ensemble des suivis, 60% des indices de Piélou (J') calculés par couples années-sites sont supérieurs à 0,6, 24% sont compris entre 0,4 et 0,6 et 16% sont inférieurs à 0,4 (Figure 29). L'amphipode *Corophium arenarium* domine les communautés des sites du fond de la baie du Mont Saint-Michel (Bouillé MI15 et Gué de l'Epine MI19_2011). L'amphipode *Bathyporeia pilosa* domine également, dans la baie du Mont-Saint-Michel, les communautés du site Grouin du Sud (PI11). Enfin, au Nord-Ouest du pont de Normandie, les communautés sont dominées par l'annélide polychète *Eteone longa*.

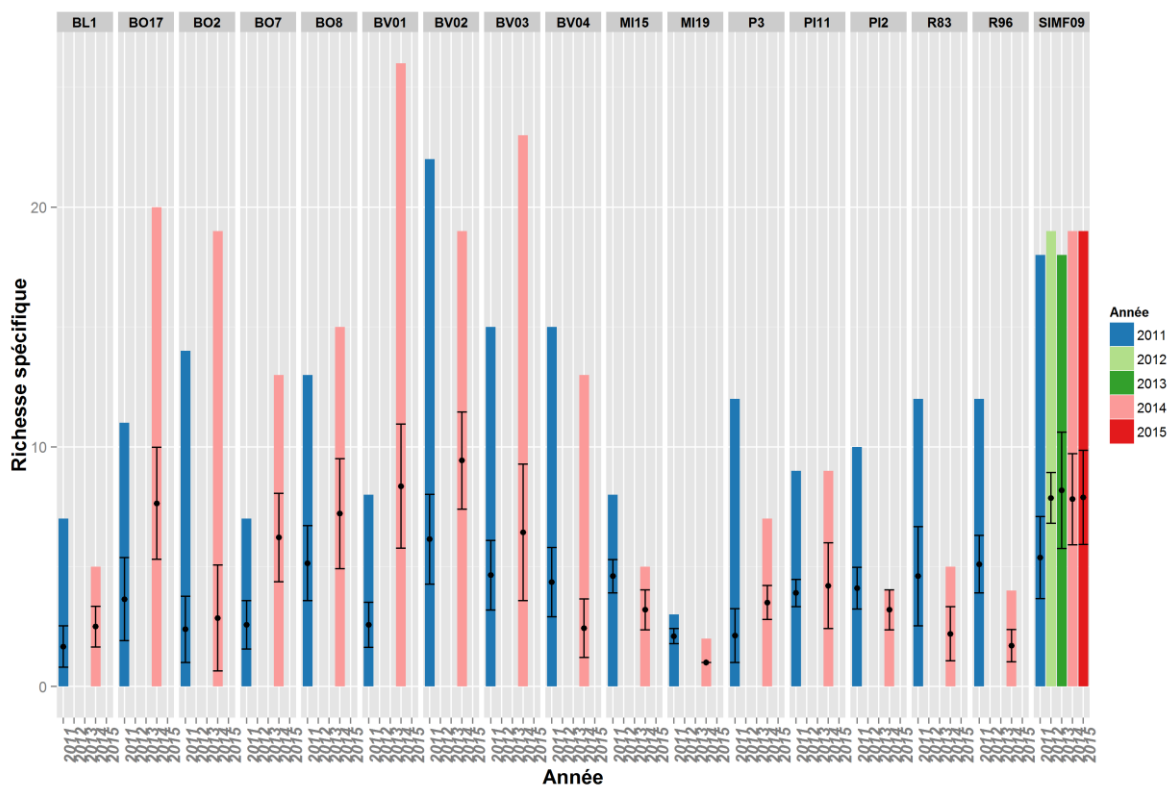


Figure 28 : Richesse taxinomique (S) des sites intertidaux des eaux de transition (2010-2015). Barres colorées : richesse totale, points noirs : richesse moyenne±écart type).

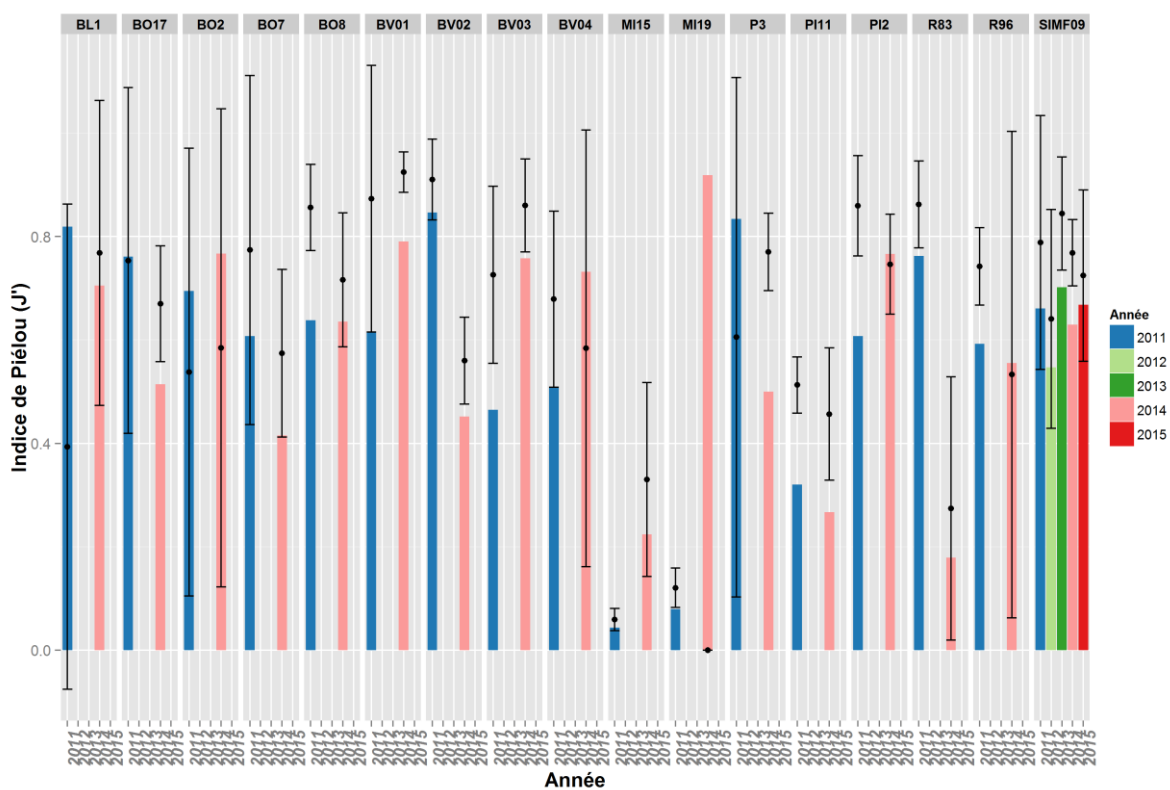


Figure 29 : : Indice de Piéou (J') des sites intertidaux des eaux de transition (2010-2015). Barres colorées : indice de Piéou total, points noirs : indice de Piéou moyen±écart type.

3.3.3 Détermination des communautés

Les groupes déterminés *a priori* grâce à la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité (distance de Bray-Curtis) entre les sites en domaine subtidal des masses d'eau côtières sont significativement différents (PermAnova : $p\text{-value} < 0,001$). Il est intéressant de noter que les groupes définis par la CAH s'agrègent par estuaire (Figure 30).

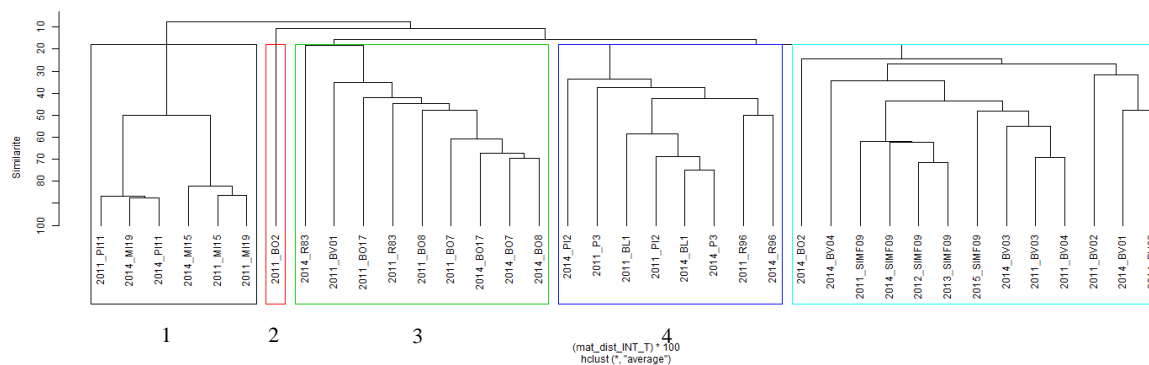


Figure 30 : Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre les sites intertidaux des eaux de transition.

Le groupe 1 (n=6) est constitué de l'ensemble des années de suivi des sites du fond de la baie du Mont Saint-Michel, à l'exception du site de Tombelaine (PI2) qui se détache dans le groupe 4 (Figure 30). L'abondance moyenne est significativement la plus élevée ($1161 \pm 1404 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$, Figure 31A). Sa richesse moyenne est l'une des plus faible (6 ± 3 taxa, Figure 31B). Ce groupe est caractérisé par deux espèces d'amphipodes : *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa*.

Le groupe 2 (n=1) est composé d'un seul couple année-site : Ouistreham en baie de l'Orne (B02_2011). Il présente une abondance de $30 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ et une richesse de 14 taxa. Ce groupe se différencie du groupe 3 (n=9), qui est constitué du reste des sites de la baie de l'Orne, par la présence du genre *Capitella* et des espèces *Goniada maculata* et *Nephtys cirrosa* ainsi que par l'absence de *Scrobicularia plana* (espèce caractéristique du groupe 3). Le groupe 3 a une abondance moyenne de $171 \pm 160 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ et une richesse de 12 ± 5 taxa.

Le groupe 4 (n=8) est constitué des sites de la baie de Seine à l'exception du site localisé au nord-ouest du pont de Normandie qui se trouve dans le groupe 3. Son abondance moyenne est de $52 \pm 65 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ et sa richesse de 8 ± 3 taxa. La méthode de l'IndVal ne décèle aucune espèce caractéristique.

Le groupe 5 (n=13) se compose de l'ensemble de sites de la baie des Veys, à l'exception du site Grouin Ouest (BV01_2011) qui se trouve dans le groupe 3. Son abondance moyenne est de $234 \pm 179 \text{ ind.}0,1\text{m}^{-2}$ et sa richesse de 19 ± 3 taxa. Deux espèces sont caractéristiques de ce groupe : l'annélide polychète *Arenicola marina* et l'amphipode *Urothoe poseidonis*.

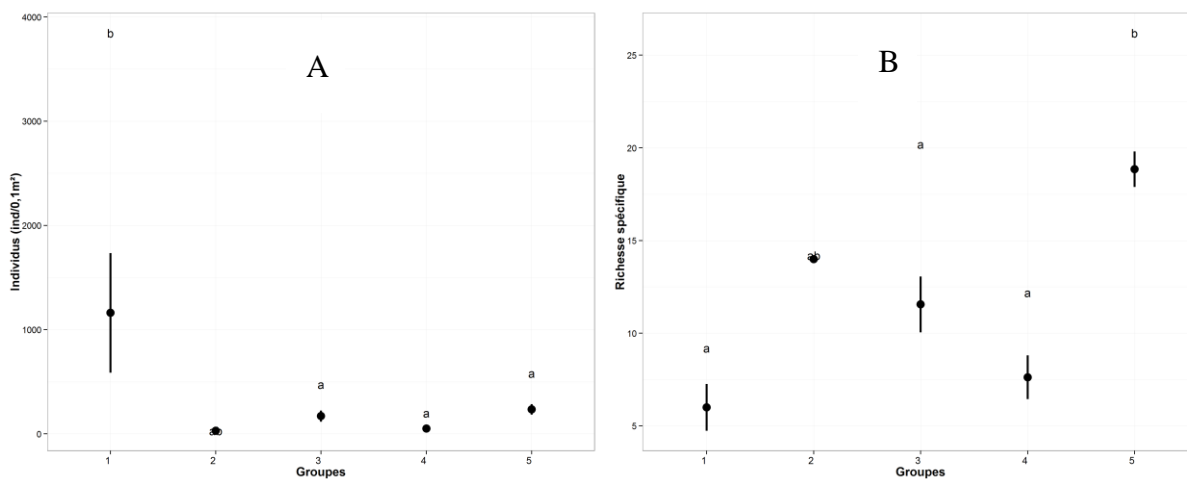


Figure 31 : Abondance (A) et richesse spécifique (B) des assemblages en domaine intertidal des eaux de transition déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post-hoc de Tukey HSD au seuil de 0,05.

Contrairement aux sites du domaine intertidal côtier, la plupart des communautés sont dominées par des taxa appartenant au groupe écologique 3 (Figure 32). Les sites du fond de la baie de l'Orne présentent une forte proportion d'espèces opportunistes de premier ordre, en particulier les oligochètes.

Aux sites du fond de la baie des Veys (Grouin Ouest BV01 et Grouin Nord-Ouest BV02), l'apparition du genre *Bathyporeia* en 2014 au Grouin Nord-Ouest explique l'augmentation de la proportion du groupe écologique G1. La communauté en place au site d'appui de Brévands (SIMF09) est dominée par l'amphipode *Bathyporeia sarsi* (G1), toutefois en 2013, l'augmentation du nombre d'individus de l'annélide *Pygospio elegans* (G3) et de nématodes (G5) contribue à diminuer la proportion du groupe écologique G1.

En 2014, sur le banc de la Ravine (BV03), la proportion d'espèces du groupe G1 diminue en raison de la réduction du nombre d'individus de l'amphipode *Urothoe poseidonis*.

En baie du Mont Saint-Michel, l'ensemble des communautés est dominé en 2011 par des espèces du groupe écologique 3, tel l'amphipode *Corophium arenarium*. L'apparition de *Bathyporeia sarsi* contribue à l'augmentation de la proportion du G1 dans les communautés de Tombelaine et du Gué de l'Epine (respectivement PI2 et MI19).

En baie de Seine, les communautés sont dominées par le bivalve *Limecola balthica* (G3), à l'exception de la station située au nord-ouest du pont de Normandie qui dominée par des espèces du groupe écologique G3, dont *Corophium arenarium* et *Hediste diversicolor*.

Pour 16 couples année/station, les proportions des cinq groupes écologiques calculées doivent être considérées avec précaution (Tableau 11). Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectent en effet pas les conditions d'application permettant une représentation robuste de la structure écologique.

Tableau 11 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance moyenne (ind.0,1m⁻²) : 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 communautés intertidales des eaux de transition.

		S	N	%NA
2011	BL1	7	8,73	27,27
2014	BL1	5	23,93	52,24
2011	BO17	11	42,86	20,83
2014	BO2	19	55,71	57,69
2011	BV03	15	282,86	22,47
2014	BV03	23	77,14	21,76
2011	BV04	15	195,00	61,9
2011	MI19	3	1352,4	0
2014	MI19	2	4	0
2011	P3	12	10,27	21,74
2014	P3	7	200,71	42,35
2014	PI11	9	896	0,13
2011	PI2	10	64,8	29,01
2014	PI2	4	40,8	50
2011	R96	12	60	59,52
2014	R96	4	3,6	77,78

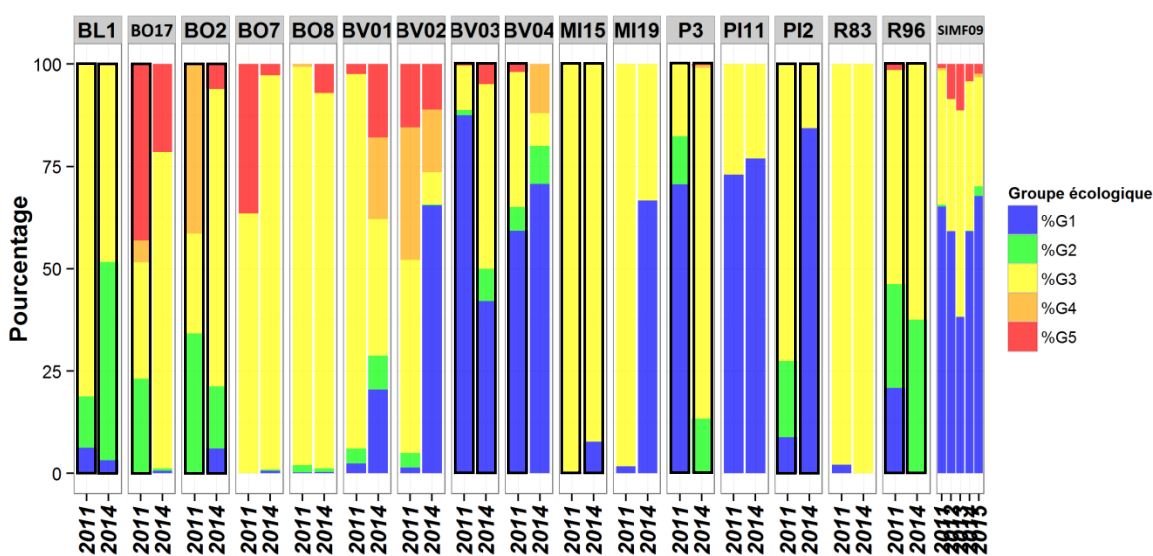


Figure 32 : Répartition des différents groupes écologiques au sein des communautés intertidales des eaux de transition (encadrés noirs : ne respectent pas les conditions d'application).

3.4 MASSES D'EAU DE TRANSITION EN DOMAINE SUBTIDAL

Les sites subtidaux suivis dans les masses d'eau de transition sont tous localisés dans la partie aval de l'estuaire de la Seine (masse d'eau FRHT03).

3.4.1 Caractéristiques sédimentaire

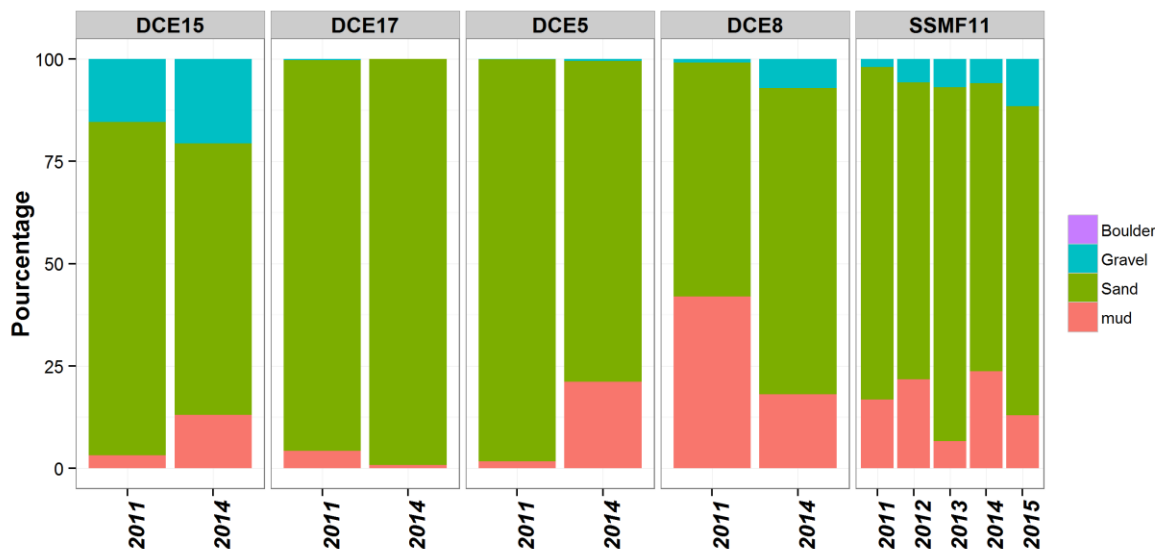


Figure 33 : Histogrammes de distribution des fréquences de classes granulométriques caractérisant les sites subtidiaux des eaux de transition sur le plan de gestion 2010-2015.

Les sédiments des sites subtidiaux de baie de Seine sont tous caractérisés, selon la classification de Blott & Pye en 2001 (Figure 33) et comme l'illustre la médiane granulométrique (D_{50} - Figure 34 A), par des sables plus ou moins envasés. On peut malgré tout remarquer une importante proportion de particules grossières à l'est du banc du Ratier (DCE15) et de particules fines ($<63\mu\text{m}$) à l'ouest du banc de Trouville en 2011 (DCE8). C'est d'ailleurs à ce site que l'indice de Trask (S_o - Figure 34 B) est le plus élevé, traduisant l'hétérogénéité du sédiment ($S_o = 3,66$ en 2011 au site DCE8), et que le taux de matière organique est le plus important ($MO_{moyenne_{2010-2015}} = 5,3 \pm 0,3\%$ - Figure 35). La variabilité de la teneur en matière organique à l'est des Ratelets (DCE5) est également notable (+3,4% entre 2011 et 2014).

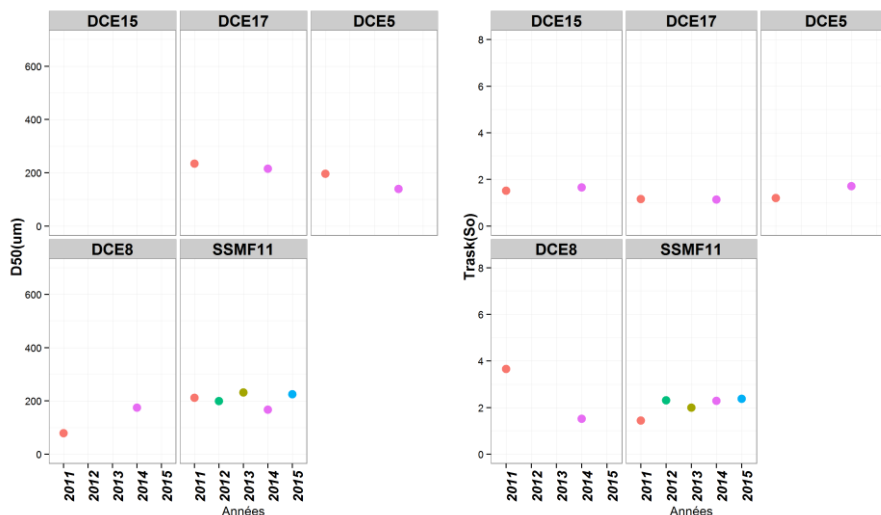


Figure 34 : Evolution des paramètres sédimentologiques des sites subtidiaux des eaux de transition entre 2010 et 2015. A : médiane granulométrique (D_{50}), B : indice de Trask (S_o) - les valeurs supérieures à la ligne horizontale (2.75) traduisent un sédiment "très mal classé".

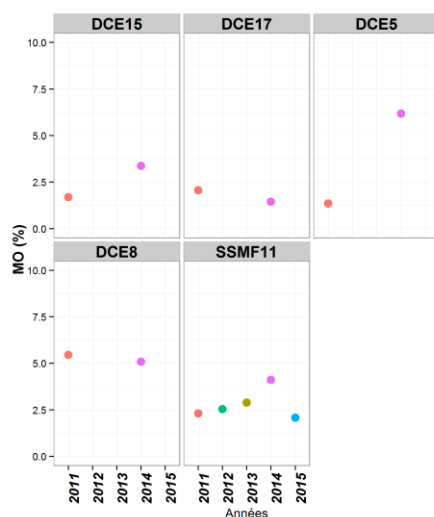


Figure 35 : Evolution de la teneur en matière organique au sein des sédiments subtidiaux des sites côtiers en domaine intertidal, 2010-2015 : teneur en matière organique (MO)

3.4.2 Caractéristiques faunistique

Abondance

L'abondance moyenne des cinq sites subtidiaux situés en eaux de transition durant la période 2010-2015 est de 175 ± 250 ind. $0,1m^{-2}$ avec une abondance moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ maximale de 365 ± 300 ind. $0,1m^{-2}$ atteinte sur le site de Villerville (SSMF11, Figure 36).

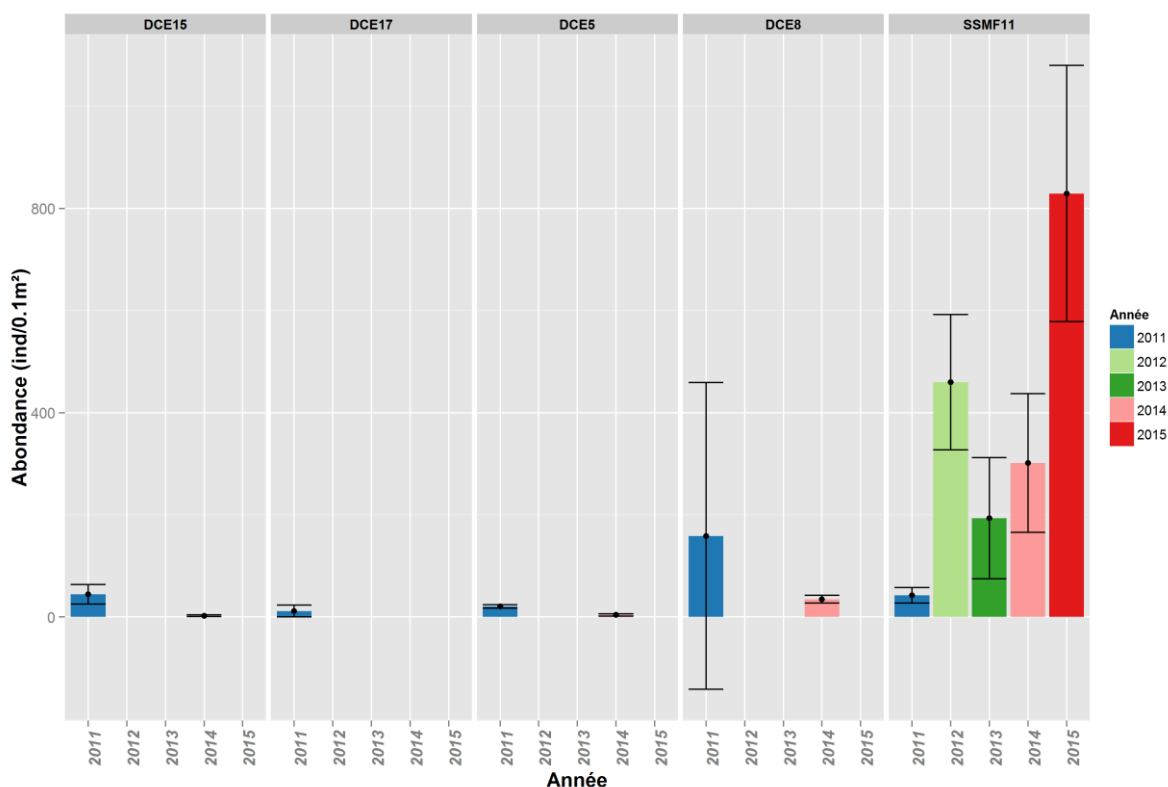


Figure 36 : Abondance moyenne (ind. $0,1m^{-2}$) aux sites subtidiaux situés en domaine de transition (2010-2015).

Indices de diversité : Richesse taxinomique (S) et Indice de Piélou (J')

Un total de 190 taxa a été identifié entre 2010 et 2015 sur l'ensemble des sites subtidiaux des eaux de transition. La richesse moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅ sur l'ensemble des cinq sites est de 41 taxa, avec un

maximum de 81 ± 23 taxa atteint au site de Villerville (SSMF11) et un minimum de 4 taxa au site DCE17 (face à la zone portuaire de Honfleur, Figure 37).

Les individus sont globalement bien répartis entre les différents taxa. Il convient de noter cependant la faible valeur de l'indice de Pielou en 2011 sur le site du banc de Trouville ouest, qui indique la dominance numérique de l'annélide polychète tubicole *Owenia fusiformis* (Figure 38).

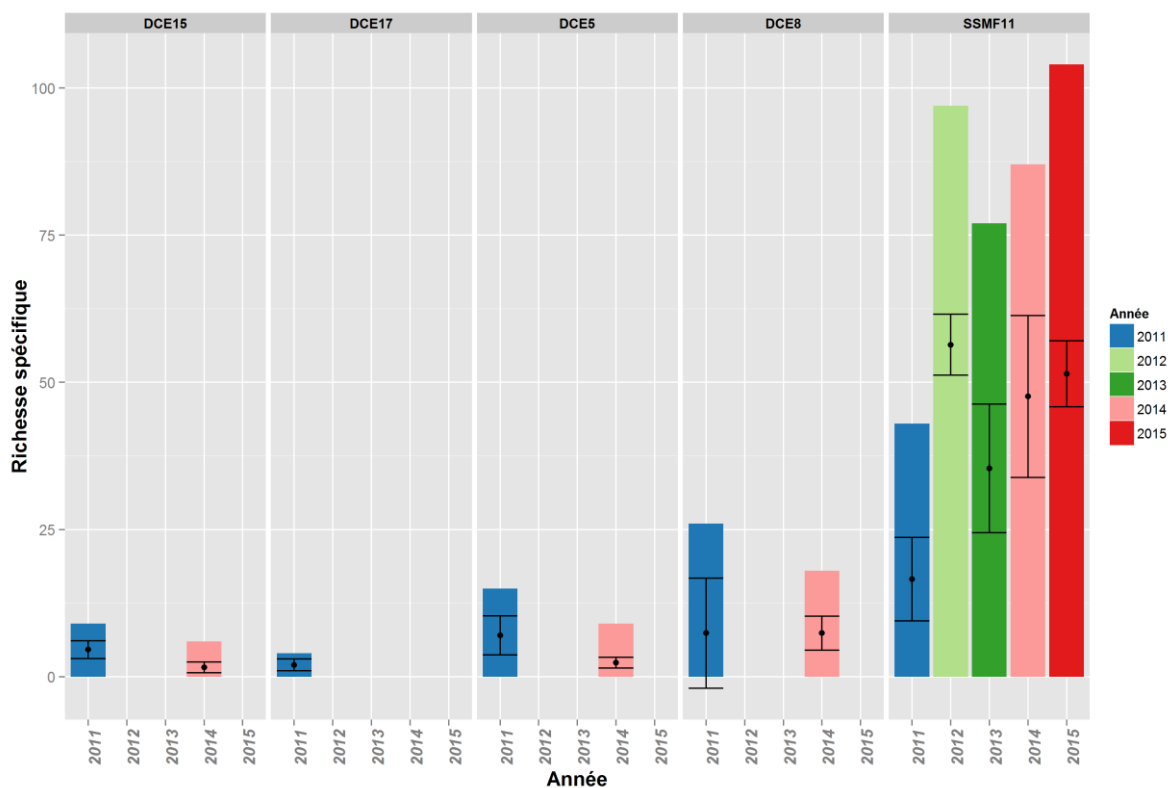


Figure 37 : Richesse taxinomique (S). Sites subtidiaux situés en eaux de transition (2010-2015). Barres colorées : richesse totale, points noirs : richesse moyenne \pm écart type)

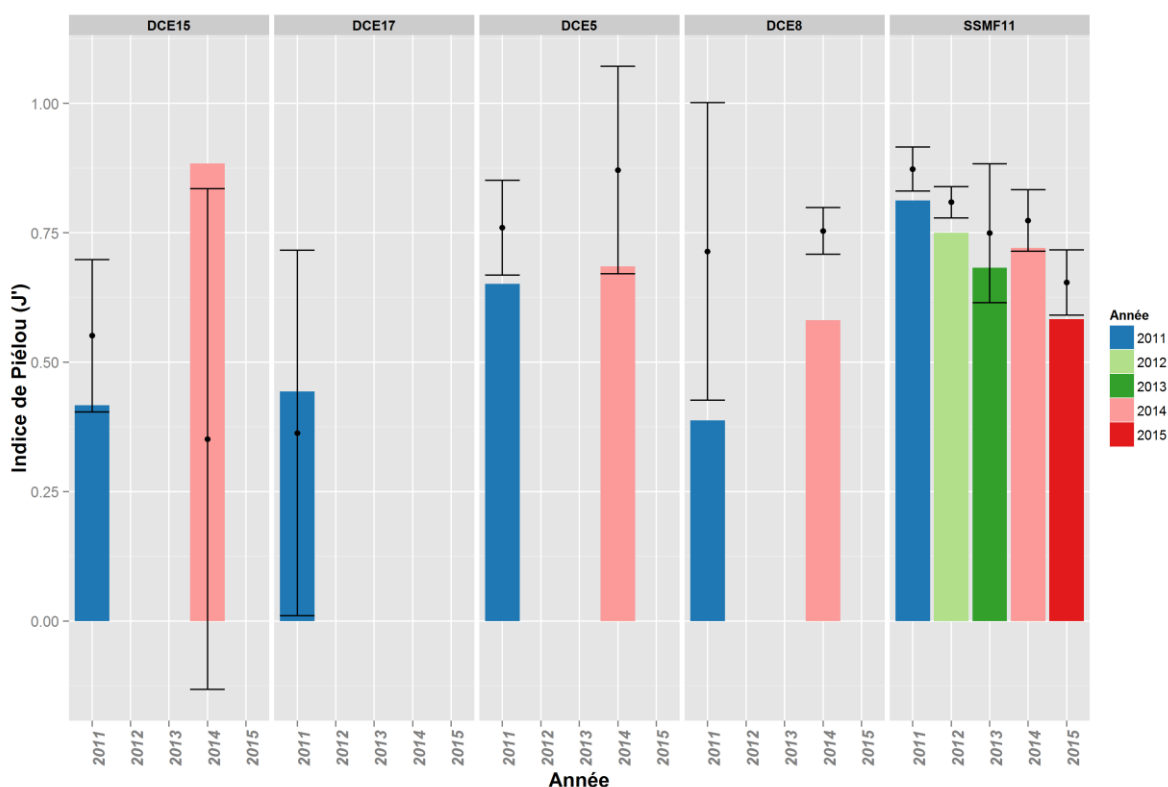


Figure 38 : Indice de Piérou (J'). Sites subtidiaux situés en eaux de transition (2010-2015). Barres colorées : indice de Piérou total, points noirs : indice de Piérou moyen±écart type).

3.4.3 Détermination des communautés

Les groupes déterminés *a priori* grâce à la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité (distance de Bray-Curtis) entre les sites en domaine subtidal des masses d'eau de transition ne sont pas significativement différents (PermAnova : p-value > 0,05). Toutefois, il est intéressant de noter une dichotomie entre les sites situés en fond de baie (groupes 1 2) et ceux plus sous influence des eaux côtières (groupe 3, Figure 39).

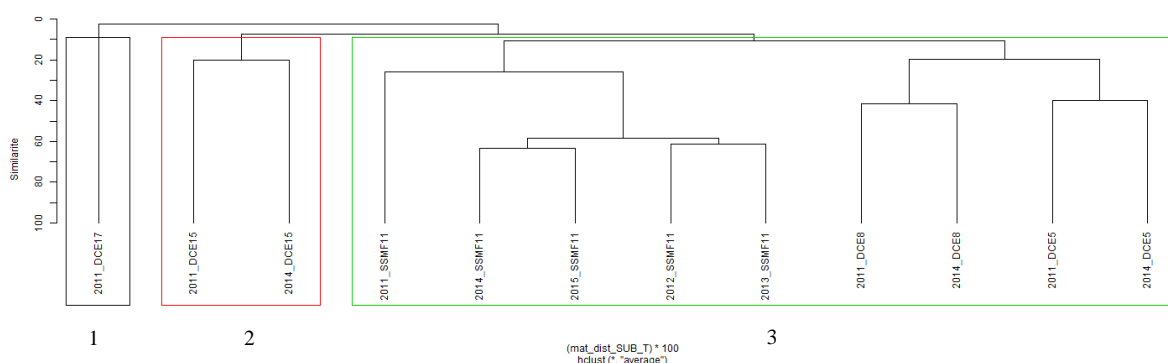


Figure 39 : Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir de la matrice de similarité entre les sites subtidiaux situés en eaux de transition.

Le suivi réalisé sur le site d'Honfleur (DCE17) en 2011, constitue à lui seul le groupe 1 (Figure 39, n=1). L'abondance des espèces y est de 11,6 ind.0,1m⁻² et la richesse taxinomique de 4 taxa. La méthode IndVal n'identifie pas d'espèce caractéristique, mais l'amphipode *Haustorius arenarius* domine la communauté par son abondance (9,6 ind.0,1m⁻²). Pour rappel, l'année de suivi

2013 a été retirée de l'analyse car l'absence d'espèce observé cette année-là crée un biais dans l'analyse.

Le groupe 2 (n=2) est constitué de l'ensemble des années de suivi du site situé à l'est du banc du Ratier (DCE15). L'abondance moyenne des espèces y est de 23,5 ind.0,1m⁻² et la richesse taxinomique moyenne, de 7,5 taxa. L'espèce caractéristique de ce groupe est le bivalve *Mytilus edulis*, présente aux deux années de suivi.

Le groupe 3 (n=9) est constitué des sites situés le plus au large de l'estuaire de la Seine (SSMF11, DCE8 et DCE5). La faune une abondance moyenne de 227±271 ind.0,1m⁻², dû en particulier aux fortes abondances recensées sur le site d'appui de Villerville (SSMF11 - N moyen₂₀₁₀₋₂₀₁₅=365±300 ind.0,1m⁻²) et une richesse taxinomique moyenne de 52±39 taxa (SSMF11 - S moyenne₂₀₁₀₋₂₀₁₅= 81±24 taxa).

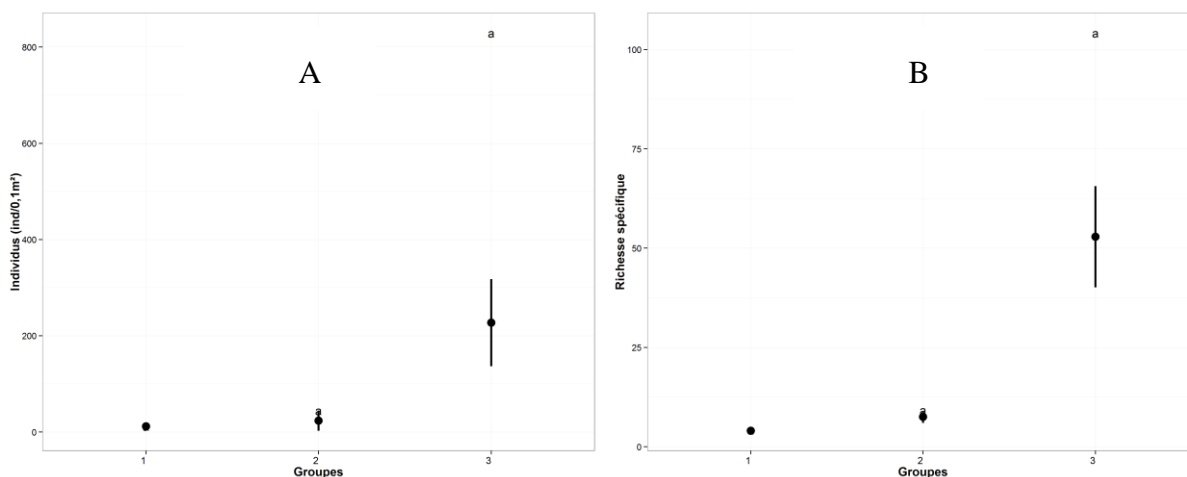


Figure 40 : Abondance (A) et Richesse (B) des assemblages subtidaux situés en domaine de transition déterminés par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les groupes (a, b, c) ont été définis par un test post-hoc de Tukey HSD au seuil de 0,05.

Les assemblages subtidaux de l'estuaire de la Seine sont dominés par des espèces appartenant aux groupes écologiques 1 et 2.

Le site d'appui de Villerville présente une variabilité due à l'augmentation de la proportion de taxa du groupe écologique 4, comme les cirratulidae *Chaetozone gibber*, *Caulleriella alata* et *Monticellina sp.*

Le site localisé à l'est du banc du Ratier (DCE15) a une forte proportion de taxa des groupes écologiques 3 en 2011 (*Mytilus edulis* et Némertes) et 5 en 2014 (oligochètes).

Pour cinq couples année/station, les proportions des cinq groupes écologiques calculées doivent être considérées avec précaution (encadrés noirs, Figure 41). Certains descripteurs (richesse spécifique : S, abondance : N et pourcentage d'espèces Non-Assignées à un groupe écologique : %NA) ne respectent pas les conditions d'application permettant une représentation robuste de la structure écologique (Tableau 12).

Tableau 12 : Résumé des descripteurs (richesse spécifique : S, abondance moyenne (ind.0,1m⁻²) : 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 stations subtidales situées en eaux de transition.

		S	N	%NA
2014	DCE15	6	2,4	8,33
2011	DCE15	4	11,6	0,00
2014	DCE5	9	4,0	0,00
2013	SSMF11	77	193,4	38,06

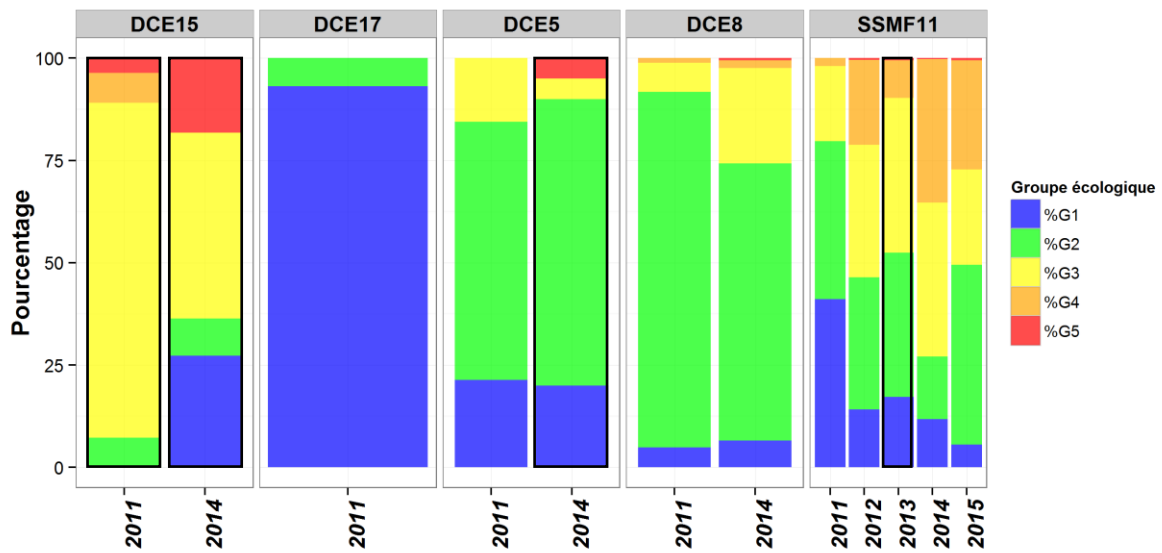


Figure 41 : Répartition des différents groupes écologiques au sein des communautés du domaine subtidal des eaux de transition (encadrés noirs : ne respectent pas les conditions d'application)

4 ANALYSE PRELIMINAIRE DU CHANGEMENT DE PROTOCOLE SUR LES SITES SUIVIS EN OUEST COTENTIN.

4.1 INTRODUCTION

Le protocole (Garcia *et al.*, 2014) décrit dans la partie 2.2 de ce rapport a été appliqué pour la première fois en 2015. Il suit un plan d'échantillonnage hiérarchisé et s'inspire du protocole REBENT Bretagne (Guillaumont & Gauthier, 2005).

Ce protocole propose d'utiliser les coordonnées du site comme centre de l'échantillonnage (Figure 2 - partie 2.2). Afin d'assurer un suivi, il a été convenu qu'un des trois passages correspondait aux coordonnées géographiques utilisées les années précédentes. Pour les deux autres passages, les coordonnées GPS ont été préalablement déterminées de manière théorique pour être sur la même ligne bathymétrique, au sein du même type de sédiment (data.shom.fr) et à environ 200 m du point de référence.

En ajoutant l'échelle des « passages », l'objectif était d'avoir une meilleure vision de la variabilité spatiale des communautés, sans pour autant changer d'habitat et donc de type de communauté.

Il s'agit dans cette partie de faire un premier bilan de la mise en œuvre de ce protocole, uniquement à l'échelle des stations de l'ouest Cotentin.

4.2 METHODE

Dans un premier temps, la bonne application du protocole a été vérifiée en replaçant les points réellement échantillonnés sur les cartes des habitats physiques des fonds marins EUNIS (Hamdi *et al.*, 2010), à l'aide du logiciel QGis.

Dans un second temps, les assemblages benthiques en place aux différents passages ont été comparés à chacune des stations de l'ouest Cotentin (Tableau 13).

Tableau 13 : récapitulatif des neuf stations retenues dans le cadre de cette analyse préliminaire.

Stations subtidales	Stations intertidales
SSMF01 Chausey	SIMF01 Chausey
SSMF03 Pirou	SIMF01b Chausey
SSMF04 Diélette	SIMF03 Saint-Jean
SSMF05 Cherbourg	SIMF06 Armanville
SSMF06 Cap Levy	

Les données d'abondances par espèces ont été préalablement transformées (racine carré) afin de pondérer les écarts d'abondance trop importants. La similarité entre les échantillons a été calculée grâce au coefficient de similarité de Bray-Curtis (Clarke & Warwick, 2001). Une Analyse en Coordonnées Principales (PCO) a ensuite été effectuée et couplée à une classification ascendante hiérarchique (seuil arbitraire de similarité de 15%).

A partir de la matrice de similarité, les compositions des assemblages entre les passages ont été comparées à l'aide d'une PermAnova. L'ensemble de ces traitements et analyses ont été effectués à l'aide du logiciel PRIMER 6 (Clarke & Warwick, 2001) et de son supplément PermAnova (Clarke *et al.*, 2006).

4.3 RESULTATS ET DISCUSSION

4.3.1 Distances réelles entre les passages

Après discussion avec les membres des équipages des navires, il semble que 200 mètres entre les passages soit la distance minimale qu'il peut y avoir par rapport à la précision des outils de navigation. Cette information est confirmée par les mesures de distances réelles. La distance minimale entre deux passages était de 227 m. La distance maximale était de 622 m. La distance moyenne entre le passage de référence et les deux autres passages était de 379 ± 124 m. D'après la carte des habitats physiques des fonds marins EUNIS (Hamdi *et al.*, 2010), les passages ont été réalisés sur les mêmes types de fonds, comme cela avait été déterminé au préalable (Figure 42) :

- des sédiments plutôt grossiers à Chausey
- des sables fins à Pirou et Diélette
- de la vase sableuse à Cherbourg
- du sable vaseux au Cap-Levy.

Ce constat est appuyé par les faibles écart-types entre les valeurs de matière organique, de médiane de répartition des tailles et de texture des sédiments moyennés pour les trois passages à chaque site (Tableau 14). Seules les sites SSMF04 et SIMF01b ont un passage avec une médiane de répartition des tailles de particules différentes des deux autres passages (Figure 43 A et B) : les particules du passage C de la station SSMF04 sont plus fines d'un facteur 2 que les particules des passages A et B. À l'inverse, les particules du passage A de la station SIMF01b sont plus grossières d'un facteur 2 que les particules des passages B et C. À noter que l'absence de répliquats ne permet pas de déterminer si ces différences sont significatives ou non.

Tableau 14 : valeurs moyennes et écart-types du taux de matière organique et de la médiane de répartition des tailles de particules sédimentaires.

Station	moyenne MO (%) \pm écart-type	moyenne D50 (μ m) \pm écart-type
SIMF01	$3,4 \pm 0,4$	$98,6 \pm 21,4$
SIMF01b	$0,8 \pm 0,1$	$349,8 \pm 144,4$
SIMF03	$1,0 \pm 0,2$	$157,8 \pm 20,2$
SIMF06	$0,8 \pm 0,1$	$122,9 \pm 6,6$
SSMF01	$1,7 \pm 0,9$	$187,4 \pm 31,0$
SSMF03	$0,8 \pm 0,1$	$314,2 \pm 28,1$
SSMF04	$0,7 \pm 0,3$	$329,8 \pm 119,8$
SSMF05	$2,3 \pm 0,5$	$87,2 \pm 11,5$
SSMF06	$2,0 \pm 0,2$	$129,3 \pm 5,0$

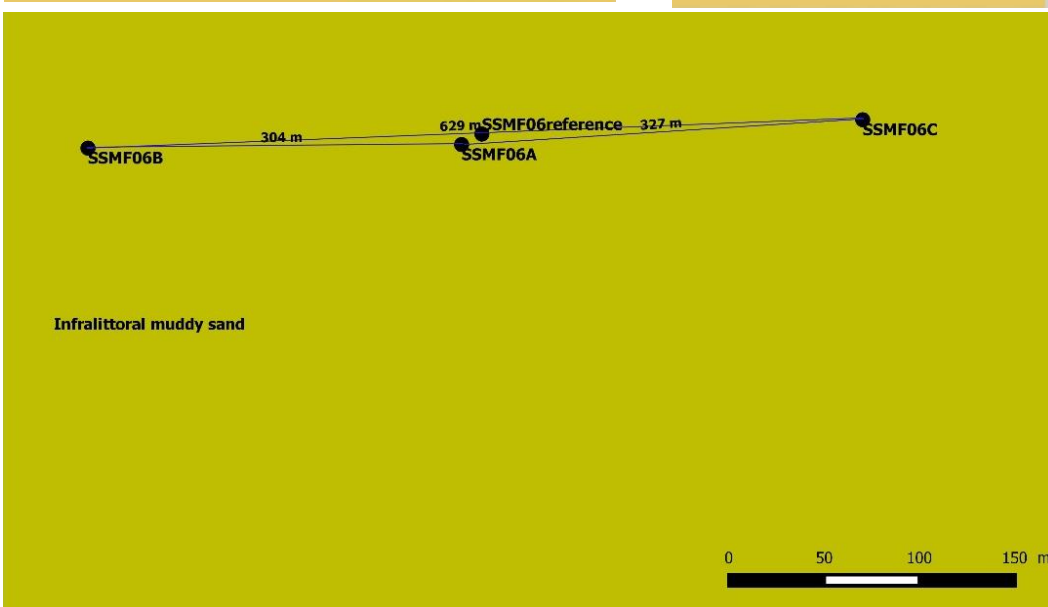
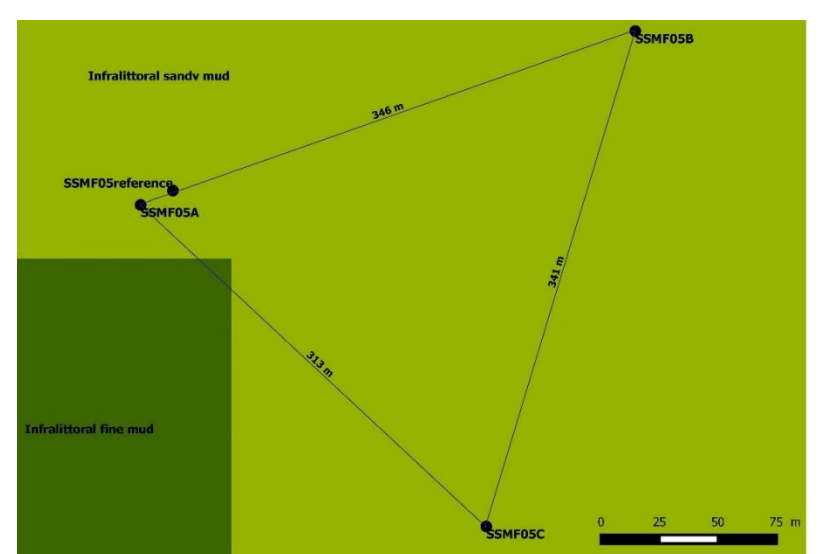
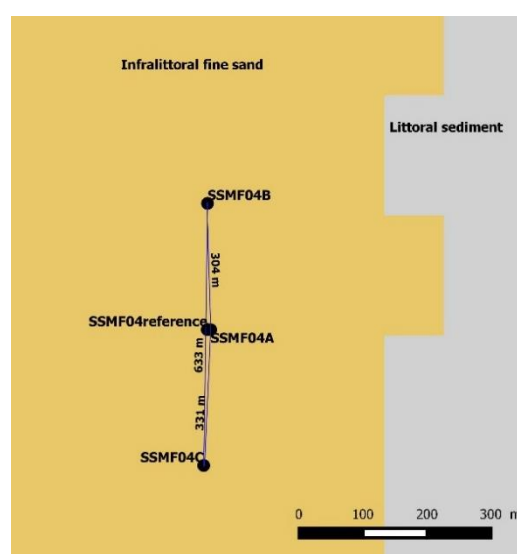
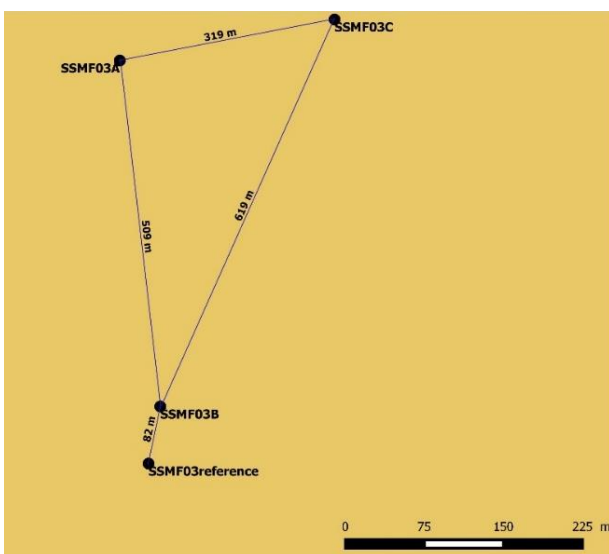
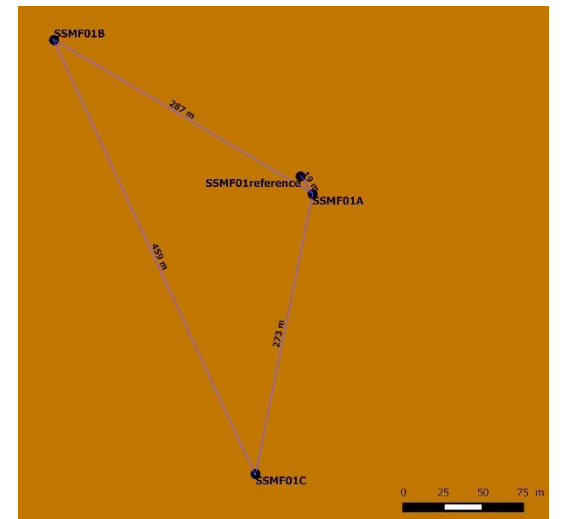
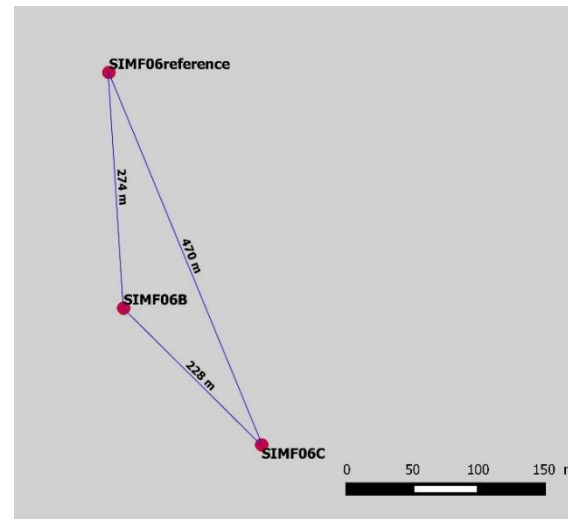
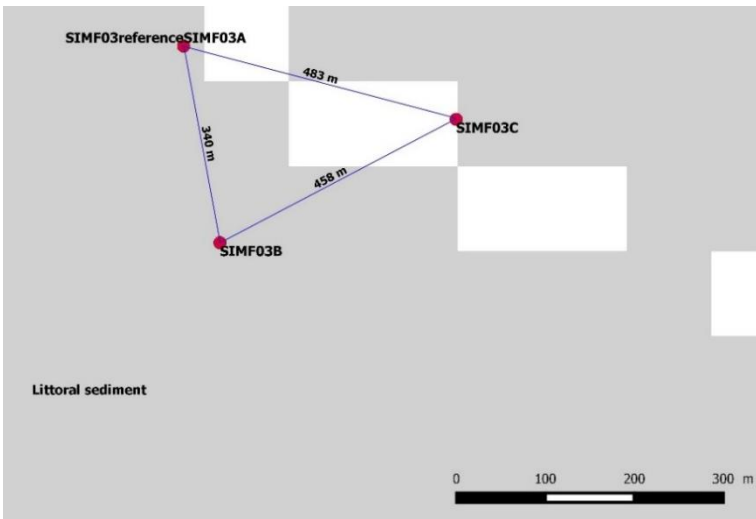
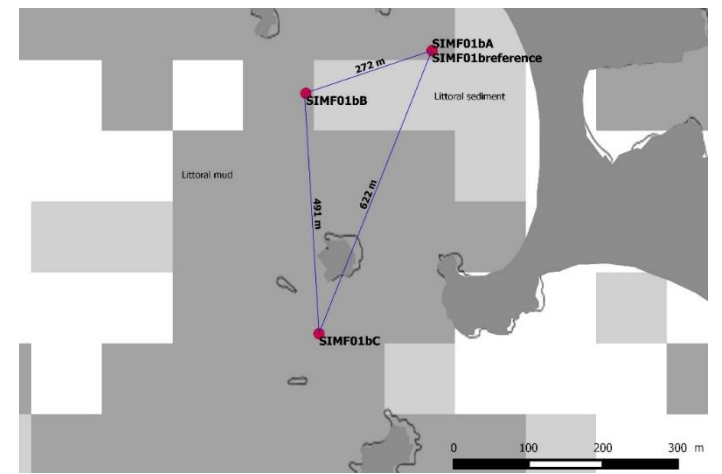
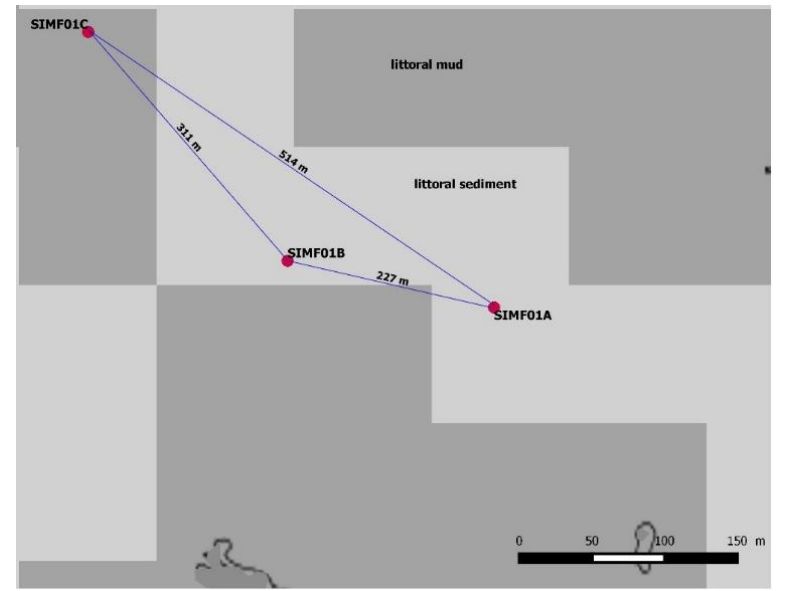
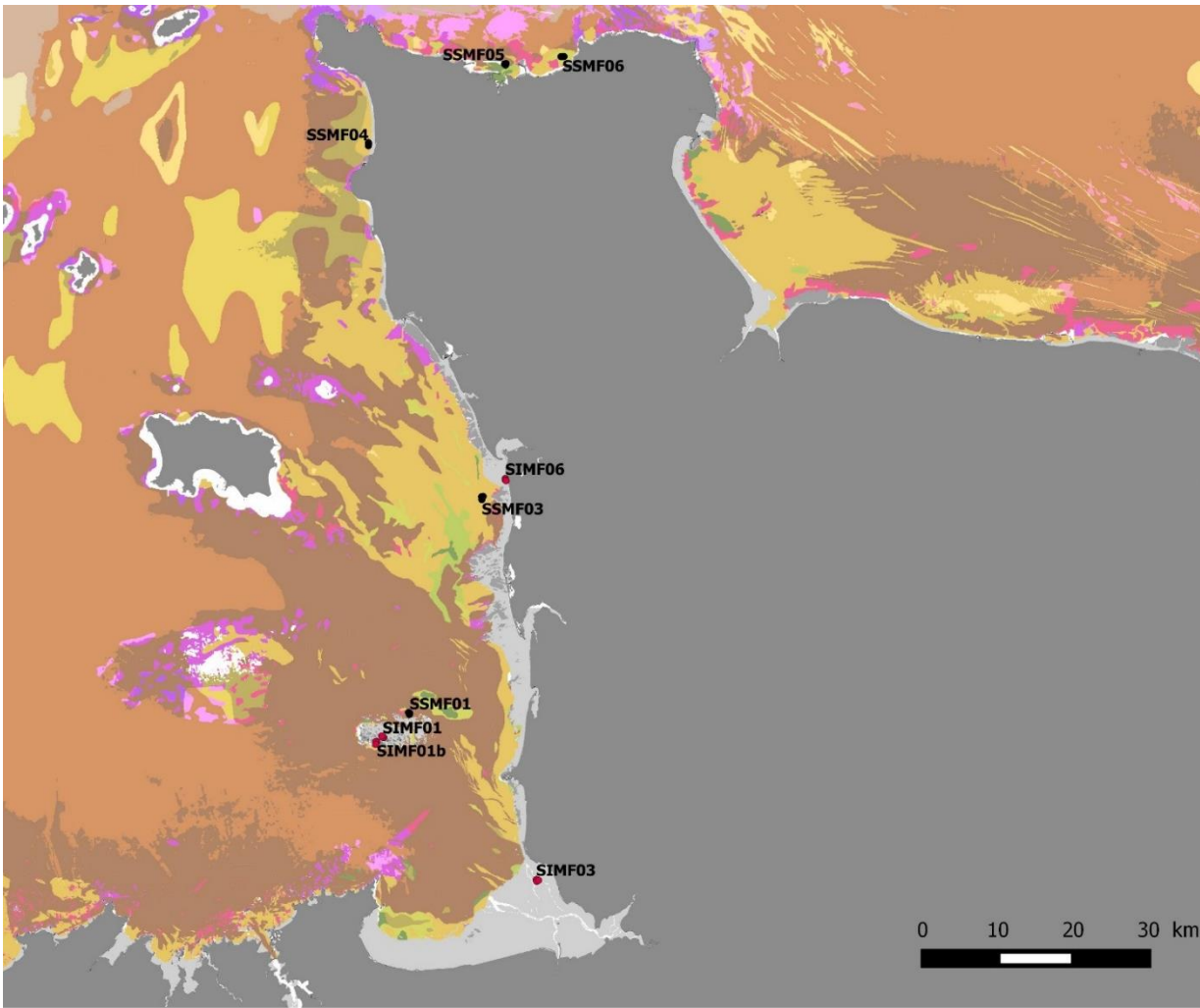


Figure 42 : positions et distances réelles des passages A, B et C pour chacun des sites intertidaux et subtidaux. Fonds de cartes : Sextant Ifremer.

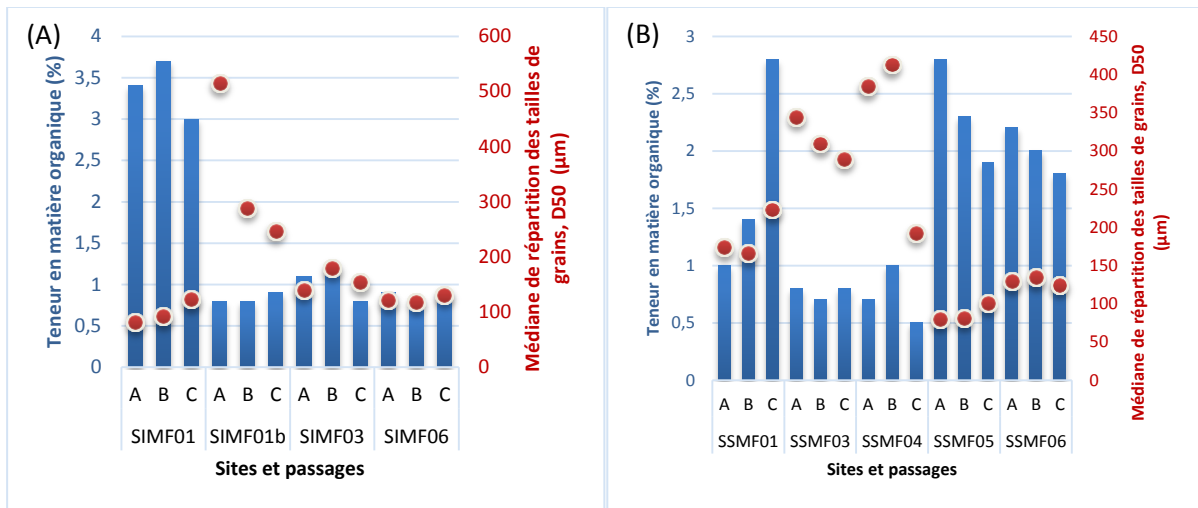


Figure 43 : pourcentage de matière organique et médiane de répartition des tailles de particules sédimentaires pour les sites intertidaux (A) et subtidaux (B).

4.3.2 Composition des communautés benthiques intertidales

Pour chacune des quatre stations intertidales, il n'y a pas de différence de composition des assemblages de macrofaune benthique entre les passages A, B et C (PermAnova, test 2 à 2 ; $p > 0,05$). Cependant, l'analyse en coordonnées principales et la classification ascendante hiérarchique montrent que les assemblages des trois réplicats du passage C de la station SIMF01b ont plus de similarité avec les assemblages du site SIMF06 qu'avec les assemblages des deux autres passages caractérisant le site SIMF01b (Figure 44). Ce résultat ne suit pas la tendance décrite ci-dessus pour la granulométrie.

Un des réplicats du passage C de la station SIMF03 présente également plus de similarité avec les assemblages du site SIMF06 et les assemblages du passage C du site SIMF01b qu'avec les assemblages des autres passages du site SIMF03 (Figure 44).

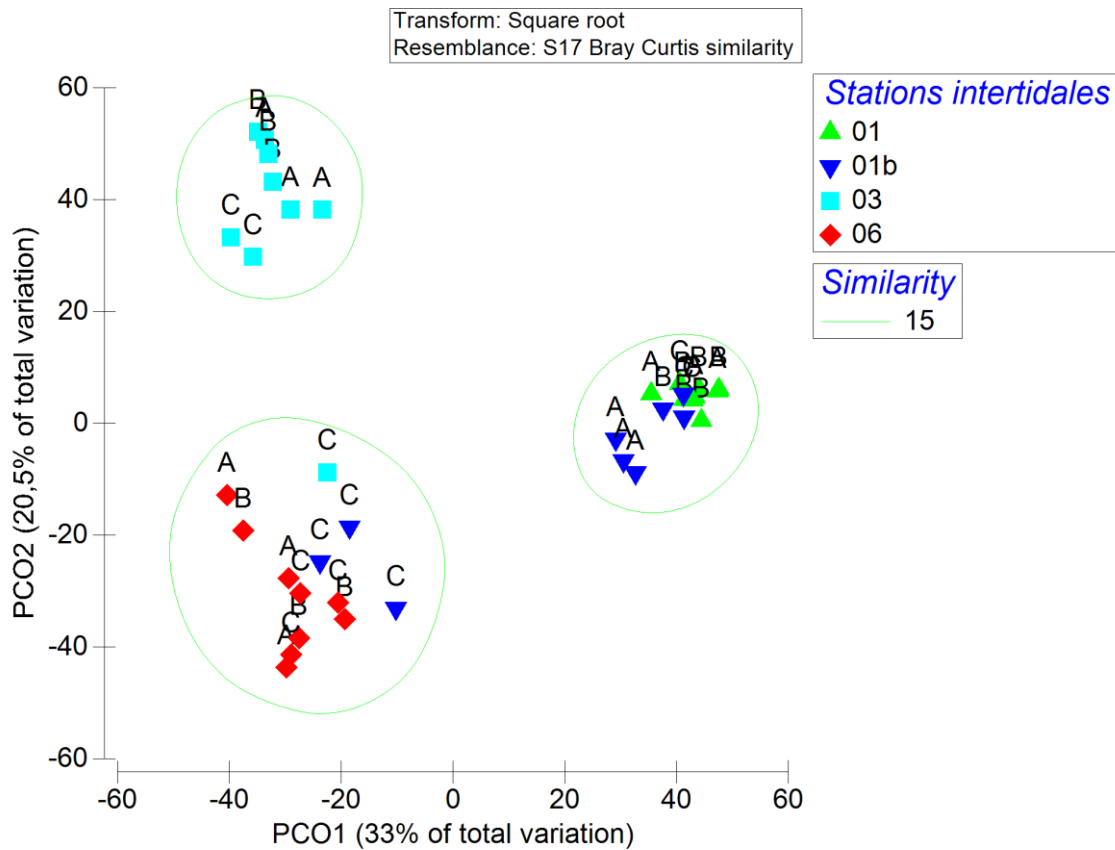


Figure 44 : Analyse en coordonnées principales (PCO) des communautés de macrofaune benthique des quatre stations intertidales. Les échantillons entourés en vert sont similaires à plus de 15 %.

4.3.3 Composition des communautés benthiques subtidales

Pour chacune des cinq stations subtidales, il n'y a pas de différence de composition des assemblages de macrofaune benthique entre les passages A, B et C (PermAnova, test 2 à 2 ; $p > 0,05$). Cependant, l'analyse en coordonnées principales et la classification ascendante hiérarchique montrent que les assemblages du passage C de la station SSMF04 ont plus de similarité avec ceux des stations SSMF01, SSMF05 et SSMF06 qu'avec les assemblages des passages A et B de la même station (Figure 45). Ce résultat est en accord avec les différences mises en évidence à cette station SSMF04 pour la granulométrie.

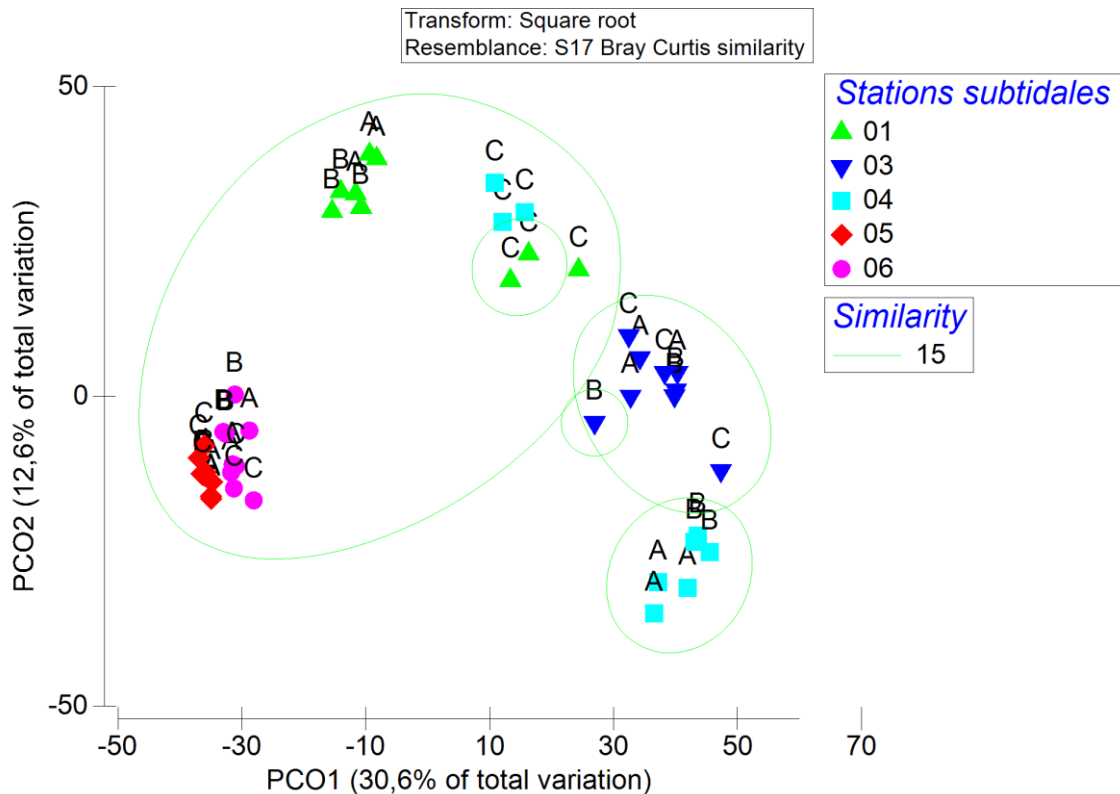


Figure 45 : Analyse en coordonnées principales (PCO) des assemblages de macrofaune benthique des cinq stations subtidales. Les échantillons entourés en vert sont similaires à plus de 15 %.

4.4 CONCLUSION AUTOUR DE LA PREMIERE APPLICATION DU NOUVEAU PROTOCOLE

D'un point de vue pratique, le nouveau protocole a pu être facilement mis en œuvre. De plus, les critères de base (espacer de 200 m les passages tout en restant dans le même habitat) ont pu être respectés. Comme souhaité lors de sa mise en œuvre, ce nouveau protocole a permis de mettre en avant une variabilité spatiale plus fine, intra-station, des assemblages de macrofaune benthique.

Ces premiers résultats pourront être enrichis par les suivis ultérieurs et élargis à d'autres masses d'eaux côtières.

5 SYNTHÈSE 2015 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.

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie a souhaité renforcer ces fréquences d'observation sur les éléments invertébrés benthiques depuis 2010 (14 sites d'appui suivis annuellement sur 48 stations suivies tous les trois ans) et angiospermes depuis 2012 (trois stations d'herbiers à *Zostera marina*).

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 15 : 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 15). 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 16 synthétise les derniers résultats disponibles du contrôle biologique benthique. Ces résultats sont fournis à titre indicatif, car actuellement tous les indices utilisés en France ne sont pas intercalibrés 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 17 récapitule les interprétations des résultats des indices par élément de qualité benthique.

Tableau 16 : Synthèse 2015 des derniers résultats du contrôle biologique des éléments de qualité benthique : faune invertébré benthique (FAU- Garcia *et al.*, 2015), angiospermes (ANG – Auby *et al.*, 2016), macroalgues de substrat dur intertidales (MAID - Goyot *et al.*, 2015), subtidales (MASD - Garcia *et al.*, 2017) et opportunistes (AO - Garcia *et al.*, 2017)

Masses d'eau	FAU (2010)	ANG (2015)	MAID (2014)	MASD (2015)	AO (2010-2015)
HC01	0,65	0,75	63,33	0,87	
HC02	0,79				0,96
HC03	0,87	0,61		1,50	0,97
HC04	0,75		70,00	0,95	0,99
HC60	0,95				
HC61M	0,89				
HC07			57,33	0,87	0,80
HC08					0,54
HC09	0,96		70,60	0,28	0,94
HC10	0,68		66,70		0,77
HC11					0,92
HC12				0,83	0,51
HC13	0,92		62,65	0,73	0,29
HC14	0,82				0,74
HC15	0,85				0,99
HC16M	0,90				
HC17			Benouville 63,50 St Valery 73,33	0,30	
HC18	0,84		52,00		
HT03M			71,27		
HT04M			26,61		
HT05M					
HT06M		1,00			0,72

Grâce aux connaissances acquises sur ce premier plan de gestion, il est maintenant possible d'analyser la pertinence du choix des paramètres, des protocoles, fréquences et des sites suivis.

Une réflexion entre l'Agence de l'eau, l'équipe de coordination et les partenaires a débouché sur une évolution des protocoles et l'optimisation de l'utilisation des métriques.

La méthodologie de suivi des invertébrés benthiques a été améliorée, harmonisée et appliquée en 2015 (Garcia *et al.*, 2014). Suite à l'envasement de la station SIMF01 (Chausey), une nouvelle station en domaine intertidal et une autre en domaine subtidal, sont échantillonnées depuis 2014.

Les paramètres les plus déclassant pour les masses d'eau normandes sont dans l'état actuel des connaissances les macroalgues (MAID et MASD). Après l'étude et l'analyse des sites problématiques avec les spécialistes nationaux, il a été convenu que :

- Les sites SIDB03 (Pirou), SIDB10 (Octeville), SSDB06 (Grandcamp) et SSBD09 (Benouville) sont retirés du contrôle de surveillance.

- Les sites SSDB02 (Gouville) et SSBD03 (Diélette) sont déplacés respectivement aux Ecréhous et au sud du cap de Flamanville. Le nouveau protocole de Derrien *et al.* (2013) est appliqué depuis 2014.

Dans le cadre du suivi des zostères marine (ANG), deux nouvelles stations sur l'archipel de Chausey ont été échantillonnées en 2014.

Deux masses d'eau (HC12 et HC13) ont été évaluées en risque de non atteinte biologique pour l'élément algues opportunistes. Il a donc été décidé de mettre en place un Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO) depuis 2014.

Tableau 17 : Avis d'experts sur les résultats des indices biologiques utilisés pour la classifications des masses d'eau.

Paramètres	Interprétations	Bibliographie
Invertébrés benthiques	En eaux côtières l'évaluation des masses d'eau se fait sur l'ensemble des façades Manche et Atlantique. Les résultats ne sont pas encore disponibles pour 2015. Actuellement aucun indice n'a été choisi en eaux de transition.	Partie 2.3 (p. 11 du présent rapport)
Macroalgues de substrat dur intertidal	Il est conseillé de ne pas comparer les résultats obtenus en 2011 avec ceux de 2008 car sur certains sites, le nombre et l'identification des ceintures algales sont variables.	Nebout et al. (2012)
Macroalgues de substrat dur subtidal	Six des huit sites échantillonnés en 2008 ne présentent pas toutes les caractéristiques permettant de calculer un indice fiable.	Derrien (2011)
Algues opportunistes	Parmi les masses d'eau de ce littoral ayant pu faire l'objet de classement, 3 masses d'eau sur les 13 ayant fait l'objet d'un classement, ne seraient pas en bon état sur la série 2008-2013 de données utilisées.	Rapport CEVA (2013)
Angiospermes	HC03 apparaît en « Bon » état écologique, cependant il est important de noter que les herbiers à <i>Zostera marina</i> de l'ouest-Cotentin ont subi une forte régression (884 ha en 1983 à 156 ha en 2008) et accompagnée d'une extrême fragmentation.	Auby et al. (2010) Fournier (2009) Nebout et al. (2011)

6 OPERATIONS PROGRAMMEES EN 2016 ET 2017

2015 a vu la mise en place d'un nouveau protocole pour le suivi des macroinvertébrés de substrat meuble. Le protocole DCE a donc été accordé avec celui de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), ce qui permettra à terme la fusion des deux Directives.

En 2016, les actions menées ont été les suivantes :

- Le suivi **stationnel des macroalgues subtidales de substrats durs** dans les masses d'eau côtières : un total de 12 stations sera échantillonné.
- Le suivi **stationnel des macroalgues intertidales de substrats durs** dans les masses d'eau côtières : un total de cinq stations sera échantillonné deux fois en 2016 (printemps et automne)
- Le suivi **stationnel des herbiers à *Zostera marina* et des herbiers à *Zostera noltei*** : Un total de sept herbiers sera échantillonné : cinq herbiers de zostères marines et deux herbiers de zostères naines.
- Le suivi **surfacique des algues opportunistes** : trois survols seront effectués et un RCO sera mis en place.
- Le suivi **stationnel des macroinvertébrés de substrats meubles** de neuf stations de masses d'eau côtières, ainsi que des 16 sites d'appui (MEC+MET) sera échantillonné selon le protocole de Garcia *et al.* (2014).
- Le suivi de la faune associée du **maërl** qui, bien que n'étant pas retenu pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau, fait néanmoins l'objet d'un suivi particulier.

A partir de 2017, l'Ifremer n'assure plus la coordination du volet « macroalgues fixées en domaine intertidal et subtidal » au sein des suivis benthiques de la DCE. Pour les autres paramètres les actions à mener en 2017 sont :

- Le suivi **stationnel des macroinvertébrés** de substrats meubles des masses d'eau de transition et des 16 sites d'appui de la façade (14 en masses d'eau côtières).
- Le suivi **surfacique et stationnel des herbiers à angiospermes marins** :
 - Herbiers à zostères marines :
 - Stationnel : Un total de cinq herbiers devra être échantillonné (trois herbiers déjà suivi depuis 2007 ainsi que deux nouvelles stations sur l'Archipel de Chausey, l'herbier de l'Anse de Saint Martin n'ayant pas été localisé).
 - Herbiers à zostères naines :
 - Stationnel : deux herbiers à *Zostera noltei* seront observés selon le protocole défini par Auby *et al.* (2012).

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- Auby I., Oger-Jeanneret H., Sauriau P.-G., Hily C., Barille L. (2010). Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. 52 pp + annexe <http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14358/>
- Auby I., Dalloyau S., Hily C., Oger-Jeanneret H., Plus M., Sauriau, P.-G., Trut G. (2012). Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), *Zostera marina* et *Zostera noltii*, Ifremer, document interne, 20 pages.
- Auby I., Rigouin L., Trut G., Oger-Jeanneret H., Ganthy F., Trut F., Gouriou L., Bujan Stephane, Devaux L., Goullieux B., Dalloyau S., Feigne C. (2016). Suivi stationnel (2006-2015) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2015) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - Bassin Hydrographique Adour-Garonne. 58 pp. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00345/45575/>
- Bajjouk T., Guillaumont B., Michez N., Thouin B., Croguennec C., Populus J., Louvel-Glaser J., Gaudillat V., Chevalier C., Tourolle J., Hamon D. (2015). Classification EUNIS, Système d'information européen sur la nature : Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée. Vol. 1. Habitats Littoraux. 231 pp. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00271/38222/>
- 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.J. & Pye K. (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *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., Franco J., Pérez V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 1100–1114.
- 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., Elliott M., Henriksen P., Marbà N. (2013). Transitional and coastal waters ecological status assessment: advances and challenges resulting from implementing the European Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, **704**: 213-229.
- Carletti A., Heiskanen A.S. (2009). Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3: Coastal and Transitional waters. JRC-IES EUR 23838 EN/3. 244 pp.
- CEVA (2013). Contrôle de surveillance DCE 2013. Suivi des blooms de macroalgues opportunistes. Rapport pour Ifremer, 60 pp.
- Clarke K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, **18**: 117–143.
- Clarke K.R., Somerfield P.J., Chapman M.G. (2006). On resemblance measures for ecological studies, including taxonomic dissimilarities and a zero-adjusted Bray-Curtis

- coefficient for denuded assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **330**: 55–80.
- Clarke K.R., Somerfield P.J., Gorley R.N. (2008). Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **366**: 56–69.
- Clarke, K. R., Warwick, R. M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. ed. 2001: PRIMER-E. Plymouth, UK. 172 pp.
- Derrien-Courtel, S., Le Gal A. (2011). “Suivi Des Macroalgues Subtidales de La Façade Manche-Atlantique,”
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. (2013). Protocole de surveillance DCE pour l'élément de qualité « Macroalgues subtidales » : Bilan et Perspectives. Contrat IFREMER-MNHN, Décembre 2013, 45pp.
- Dufrêne M., Legendre P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, **67**: 345–366.
- Friedman G. M., Sanders J. E. (1978). *Principles of Sedimentology*. Wiley, New-York.
- Fournier J. (2009). Dépêche Ministérielle du 13 mars 1933 : état des herbiers français. Com. Pers., Dinard : 62 pp.
- Fournier J., Bonnot-Courtois C., Paris R., Voldoire O., Le Vot M. (2012). Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 99 pp.
- Gallon R.K., Fournier J. (2013). G2Sd : Grain-size Statistics and Description of Sediment, R package version 2.0. 12 pp.
- Garcia A., Desroy N., Le Mao P. (2014). Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2013. District Seine-Normandie. 82 pp.
- Garcia A., Desroy N., Le Mao P., Miossec L. (2014). Protocole de suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidaux et intertidaux dans le cadre de la DCE. Façades Manche et Atlantique – Rapport AQUAREF 2014 – 13 p. + Annexes.
- Garcia A., Brun M., Soudant D., Pothier A., Gauthier E., Desroy N. (2015). Valorisation des données DCE 2007-2010 - MIB – MEC - Façades Manche et Atlantique. 18 pp.
- Garcia A., Aubin S., Derrien-Courtel S., Hénaff F., Joncourt Y., Le Gal A., Rossi N., Desroy N., Le Mao P. (2017). Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Volume II : Flore autre que phytoplancton, année 2015.
- Goyot L., Garcia A., Desroy N., Le Mao P. (2015). Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) - Volume II : Flore autre que phytoplancton, Année 2014. 210 pp.
- Goyot L., Desroy N., Garcia A., Le Mao P. (2016). Etude des communautés benthiques des sites d'appui des façades Manche et Atlantique (2007-2013) - Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE). 20 pp.
- 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. 88 pp.
- 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. 3 p.
- Guillaumont B., Gauthier E. (2005). Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE - Recommandations concernant le benthos marin. 152 pp.

- Hamdi A., Vasquez M., Populus J. (2010). Cartographie des habitats physiques Eunis - Côtes de France. Technical Report DYNECO/AG/10-26/JP, Ifremer. 129 pp.
- 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.
- Muxika I., Ibaibarriaga L., Sáiz J.I., Borja Á. (2007). Minimal sampling requirements for a precise assessment of soft-bottom macrobenthic communities, using AMBI. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **349**: 323–333.
- Nebout T., Desroy N., Le Mao P. (2011). Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2010 - District Seine-Normandie. 109 pp. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00242/35287/>
- Nebout T., Garcia A., Desroy N., Le Mao P. (2012). Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Année 2011 - District Seine-Normandie. 142 pp. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00242/35292/>
- Rao C.R. (1995). A review of canonical coordinates and an alternative to correspondence analysis using Hellinger distance. *Qüestió*, **19**: 23-63.
- 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- Elément de qualité biologique « macroalgues opportunistes ». Partenariat Onema-Ifremer. CEVA. 55 p.
- Udden J. A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, **25**: 655-744.
- Wentworth C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**: 377-392.

Annexe I : coordonnées et dates des prélèvements

Libellé du Lieu	Code Masse d'eau	Date de prélèvement	Latitude (N, WGS84)	Longitude (E, WGS84)
BL1 - Banc d'Amfard IM	HT03M	24/11/2014	49,4391716	0,2131698
P3 - Ratier Sud IM		07/10/2014	49,4156737	0,1728363
R83 - Pont de Normandie IM		09/10/2014	49,439995	0,266385
R96 - Pont de Normandie nord est IM		12/09/2014	49,4368398	0,2791722
BO17 - Merville - Baie de Sallenelles IM	HT04	06/10/2014	49,2710067	-0,2256497
BO2 - Ouistreham IM			49,2860067	-0,242983
BO7- Ouistreham - Baie de Sallenelles IM			49,2708358	-0,2256549
BO8 - Merville IM			49,2818392	-0,2298171
MI15 - Bouille IM	HT05M	11/09/2014	48,6535809	-1,4141107
MI19 - Gue de l'épine IM		23/09/2014	48,64828	-1,3964537
PI11 - Grouin du Sud IM		11/09/2014	48,6554158	-1,4517729
PI2 - Tombelaine Est IM		10/09/2014	48,6518176	-1,5048492
BV01 - Les Veys - Grouin Ouest IM	HT06M	09/10/2014	49,3573475	-1,1278211
BV02 - Les Veys - Grouin Nord Ouest IM			49,3610147	-1,1288122
BV03 - Les Veys - Banc de la Ravine IM			49,3675074	-1,1259876
BV04 - Les Veys - Passe d'Isigny IM			49,3718398	-1,1219838
SIMF09 - Brevands IM		17/04/2014	49,3715105	-1,1349743
SIMF01 - Chausey IM	HC01	28/04/2014	48,8811785	-1,8281483
SIMF01bis - Chausey IM			48,8760333	-1,8388333
SIMF03 - Saint-Jean IM	HC02	02/04/2014	48,7125168	-1,5521453
SIMF06 - Armanville IM	HC03	03/04/2014	49,185683	-1,6078132
SIMF08 - Madeleine IM	HC10	17/04/2014	49,4185095	-1,1753173
SIMF10 - Courseulles IM	HC13		49,339478	-0,4439341
DCE5 - Les Ratelets ouest SM	HT03M	17/09/2014	49,4320061	0,0661769
DCE8 - Banc de Trouville ouest SM			49,4086737	0,0770025
DCE15 - Banc du Ratier est – face Pennedepie SM			49,4328369	0,1603446
DCE17 - Honfleur - face Zone portuaire SM			49,4308394	0,2438398
SSMF11 - Villerville SM		15/04/2014	49,4195	0,044333
SIMF01 - Chausey IM	HC01	29/04/2014	48,8811785	-1,8281483
SSMF03 - Pirou SM	HC03	30/04/2014	49,1610132	-1,6499857
SSMF04 - Dielette SM	HC04	14/04/2014	49,5769013	-1,8538551
SSMF05 - Cherbourg SM	HC06M		49,6701714	-1,608975
SSMF06 - Cap Levy SM			17/04/2014	49,6788162
SSMF10 - Villers-sur-Mer SM	HC15	15/04/2014	49,335026	-0,022612
SSMF13 - Heuqueville SM	HC16M	16/04/2014	49,6166562	0,1166643
SSMF14 - Dieppe SM	HC18		49,9355078	1,0593474