

**Contrôle de surveillance 2012 DCE de la flore
benthique et de la faune benthique de substrat meuble de
la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 :
macrofaune invertébrée benthique**



**SAURIAU P.-G.¹, AUBERT F.¹, ALMEIDA FERREIRA L.¹,
CAJERI P.¹, CURTI C.¹, LATRY L.¹, SAURIAU M.¹, SAURIAU F.¹,
LEGUAY D.² & PINEAU Ph.¹**

¹ LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle

² IFREMER, LER-PC, Place Gaby Coll, BP 5, 17137

Sommaire

1 - INTRODUCTION.....	1
2 - CALENDRIER DE RÉALISATION DES OPÉRATIONS À LA MER.....	3
2.1 - PRÉSENTATION DES SITES ET PRÉLÈVEMENTS	5
2.1.1 - <i>Boyardville : station subtidale</i>	5
2.1.2 - <i>Bellevue : station intertidale</i>	8
2.1.3 - <i>Les Doux : station intertidale</i>	9
3 - MATÉRIEL & MÉTHODES	10
3.1 - ANALYSE DES SÉDIMENTS	10
3.1.1 - <i>Analyse granulométrique</i>	11
3.1.2 - <i>Analyse de la matière organique sédimentaire</i>	12
3.2 - ANALYSE DES ÉCHANTILLONS FAUNISTIQUES.....	13
3.2.1 - <i>Lavage et tri des échantillons</i>	13
3.2.2 - <i>Détermination des espèces</i>	15
3.3 - QUALITÉ ÉCOLOGIQUE : INDICE M-AMBI.....	16
4 - RÉSULTATS.....	19
4.1 - ANALYSE DES SÉDIMENTS	19
4.1.1 - <i>Boyardville : station subtidale</i>	19
4.1.2 - <i>Bellevue : station intertidale</i>	21
4.1.3 - <i>Les Doux : station intertidale</i>	23
4.2 - ANALYSE FAUNISTIQUE	25
4.2.1 - <i>Boyardville : station subtidale</i>	25
4.2.1.1. <i>Richesse spécifique et abondance spécifique</i>	25
4.2.1.2. <i>Histogramme de taille des mollusques</i>	28
4.2.1.3. <i>Analyse statut écologique selon M-AMBI</i>	30
4.2.2 - <i>Bellevue : station intertidale</i>	32
4.2.2.1. <i>Richesse spécifique et abondance spécifique</i>	32
4.2.2.2. <i>Histogramme de taille des mollusques</i>	34
4.2.2.3. <i>Analyse statut écologique selon M-AMBI</i>	36
4.2.3 - <i>Les Doux : station intertidale</i>	38
4.2.3.1. <i>Richesse spécifique et abondance spécifique</i>	38
4.2.3.2. <i>Histogramme de taille des mollusques</i>	40
4.2.3.3. <i>Analyse statut écologique selon M-AMBI</i>	42

5 - BILAN DU TEMPS PASSÉ AUX PRÉLÈVEMENTS ET ANALYSES ..	44
6 - BIBLIOGRAPHIE.....	45
7 - ANNEXES	49
7.1 - ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES 2012.....	49
7.1.1 - <i>Boyardville : station subtidale.....</i>	<i>49</i>
7.1.2 - <i>Bellevue : station intertidale.....</i>	<i>50</i>
7.1.3 - <i>Les Doux : station intertidale</i>	<i>51</i>

1 - Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE établit un nouveau cadre (http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce) pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe comme objectif général d'atteindre, à l'horizon 2015, un bon état écologique et chimique des masses d'eaux souterraines et de surface, ces dernières incluant les eaux côtières (MEC) et les eaux de transition (MET).

Le contrôle de surveillance de l'état écologique s'effectue, entre autres éléments biologiques, sur les macrophytes, les phanérogames marines et les invertébrés benthiques. C'est parmi ceux-ci que se trouvent les invertébrés marins habitant des substrats meubles soit de petits fonds (benthos subtidal) soit de la zone de balancement des marées ou estrans (benthos intertidal).

Dans le district Adour-Garonne, la seconde masse d'eau côtière la plus septentrionale retenue pour le contrôle de surveillance est la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 située à l'Est de l'île d'Oléron et réceptacle des eaux de la Charente (**Figure 1**).

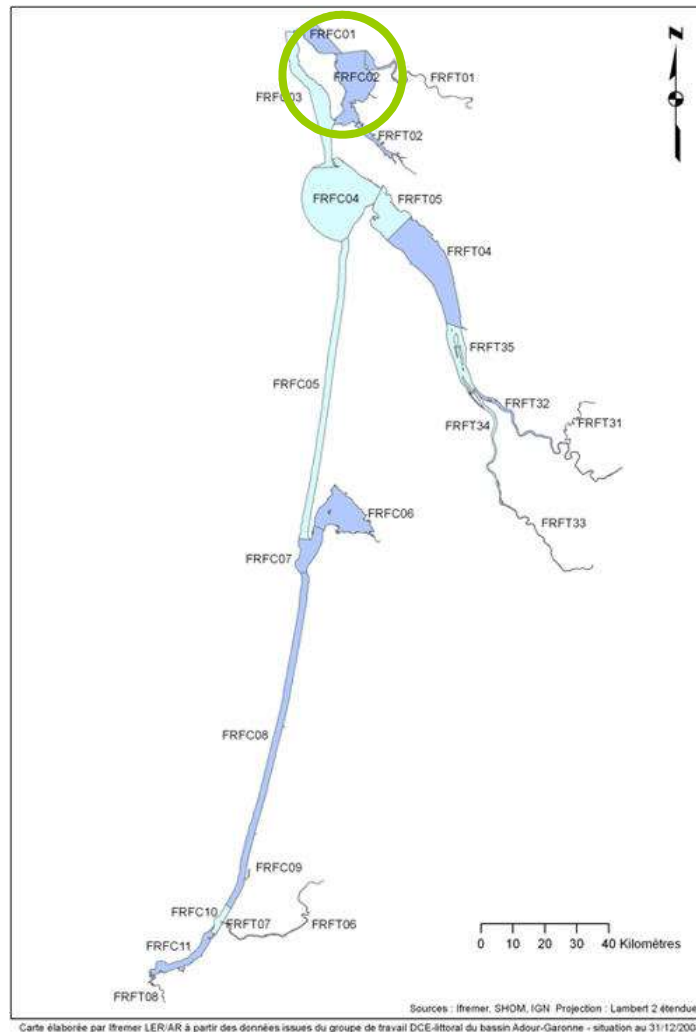


Figure 1 : Masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 dans le bassin Adour-Garonne.

Source http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Les opérations de surveillance retenues en 2012 pour la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 étaient (**Figure 2**) :

- échantillonnage stationnel des invertébrés benthiques de substrat meuble en avril 2012 sur une station subtidale, Boyardville et deux stations intertidales Bellevue et Les Doux selon le protocole DCE (Anonymes, 2005) de cinq réplicats (0,1 m²) par station.
- échantillonnage stationnel des herbiers de la zostère naine *Zostera (Zosterella) noltei* Hornemann en septembre 2012 sur la station Les Doux ainsi que sur deux nouvelles stations selon le nouveau protocole DCE (Auby et al., 2012).

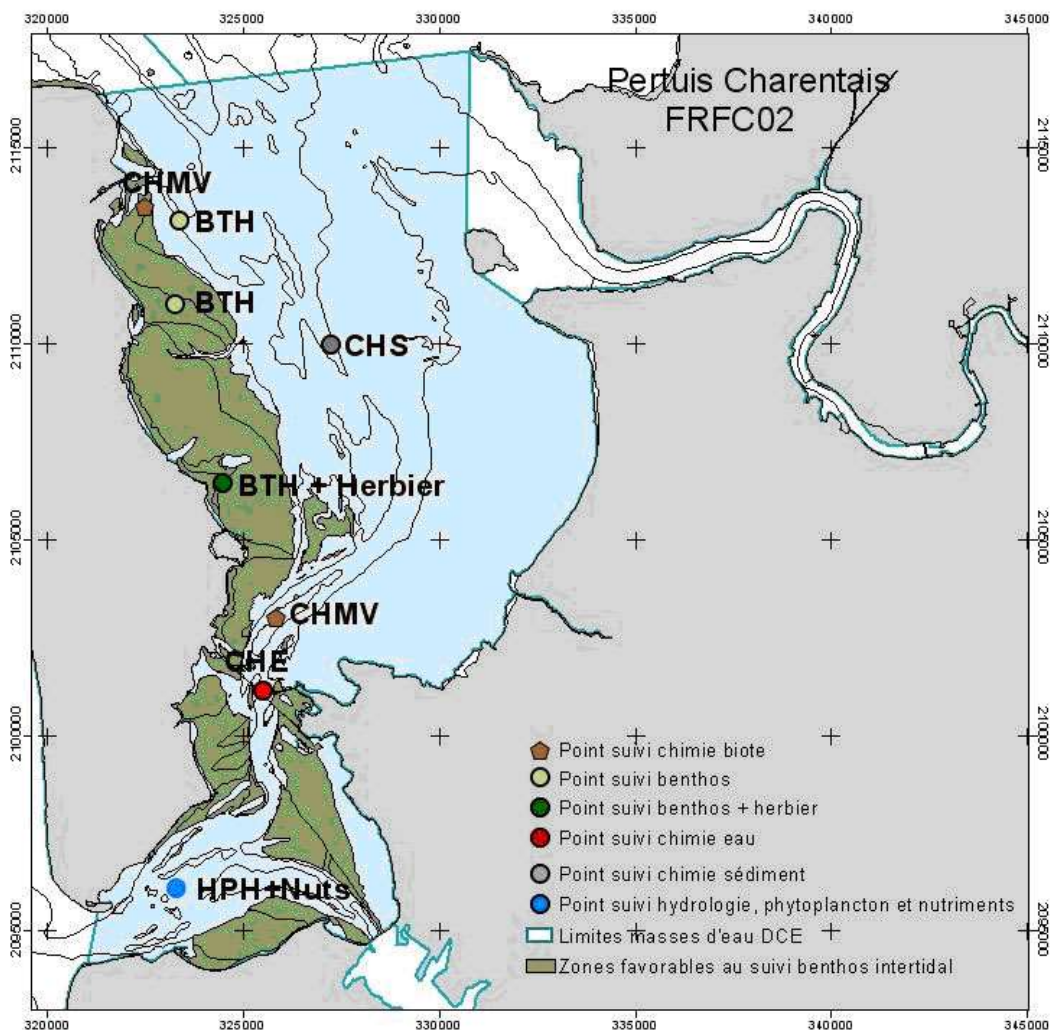


Figure 2 : Masse d'eau côtière « Pertuis Charentais - FRFC02 » avec localisation de la station Boyardville (BTH) en subtidale, Bellevue (BTH) en intertidale et Les Doux (BTH) en intertidale avec herbier à zostère naine. Source G. Trut (Ifremer, com. pers.)

L'objet de ce document est d'exposer les résultats de l'échantillonnage stationnel des invertébrés benthiques de substrats meubles réalisé en 2012 sur les trois stations de Boyardville (en subtidale), Bellevue et Les Doux (en intertidale). Les résultats de l'échantillonnage des stations à herbiers de zostères font l'objet d'un document séparé.

2 - Calendrier de réalisation des opérations à la mer

Les opérations se sont déroulées sur 2 jours (**Tableau 1**), le 2 avril 2012 pour la station Boyardville prospectée à bord du navire Estran (**Figure 3**) de l'université de La Rochelle (le même jour était échantillonnée la station Malconche de la masse d'eau côtière FRFC01 Nord-Est Oléron) et le 6 avril pour l'échantillonnage *pedibus jambi* de la faune des invertébrés sur les stations de Bellevue et Les Doux.

Le travail à la mer a mobilisé 9 personnes jour dont d'une part 2 personnes jour pour chaque station faune des invertébrés des stations intertidales de Bellevue et Les Doux et, d'autre part, 5 personnes jour à bord du navire Estran pour la station subtidale de Boyardville. Ce chiffre ne comprend ni le temps nécessaire à la préparation des opérations à la mer ni le temps de dépouillement des informations collectées.

Tableau 1 : Calendrier des opérations à la mer.

Type de suivi	Type masse d'eau	Code masse d'eau	Nom masse d'eau	Code point	Nom point (toponymie)	Longitude (Lambert IIe) X	Latitude (Lambert IIe) Y	Type de prélèvement	Type de station	Dates	Nombre personne	Opérateurs
Contrôle de surveillance	MEC	FRFC02	Pertuis Charentais	-	Boyardville	324819	2112958	Subtidal invertébrés benthiques	Station	02/04/2012	5	LIENSs
Contrôle de surveillance	MEC	FRFC02	Pertuis Charentais	-	Bellevue	324738	2110800	Intertidal invertébrés benthiques	Station	06/04/2012	2	LIENSs
Contrôle de surveillance	MEC	FRFC02	Pertuis Charentais	-	Les Doux	325926	2106241	Intertidal invertébrés benthiques	Station	06/04/2012	2	LIENSs
Total											9	



Figure 3 : Navire Estran de l'Université de La Rochelle utilisé pour l'échantillonnage DCE

2.1 - Présentation des sites et prélèvements

2.1.1 - Boyardville : station subtidale

Les caractéristiques de cette station d'appui, à échantillonner tous les ans, sont rappelées en **Tableau 2** :

- les opérations à la mer sont regroupées avec les prélèvements dans la masse d'eau FRFC01 Côte Nord-Est île d'Oléron quand ils existent ;
- les prélèvements à la mer nécessitent l'utilisation d'une embarcation à faible tirant d'eau, avec grue et possibilités de lavage à bord (**Figure 3**) ;
- les paramètres suivis sont la composition spécifiques et l'abondance par espèce de la macrofaune des invertébrés benthiques ;
- la fréquence est annuelle pour cette station d'appui avec des prélèvements en mars-avril de chaque année du plan de gestion ;
- l'opérateur de prélèvement, de déterminations faunistiques et des analyses granulométriques et de matières organiques est le laboratoire LIENSs, UMR CNRS – Université de La Rochelle ;
- cette station est suivie depuis 2007.

Tableau 2 : Caractéristiques de la station Boyardville.

Station	Boyardville / point d'appui DCE
Regroupement	Oui avec opérations à la mer dans la masse d'eau FRFC01 Côte Nord île d'Oléron
Moyens à la mer	Embarcation côtière avec treuil (Estran de l'Université de La Rochelle ou bateau de location)
Paramètres	Macrofaune benthique (détermination et abondance) 1 granulométrie + 1 matière organique
Engin de prélèvement	Benne Van Veen de 0,1 m ²
Fréquence	mars-avril, tous les ans du plan de gestion
Opérateur prélèvement	LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle
Opérateur tri et détermination	LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle
Opérateur mesure granulométrie	LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle
Opérateur mesure matière organique	LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle
Début prélèvements	2007

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Le travail à la benne nécessite la présence de 4 personnes, le pilote du navire aux commandes de la grue hydraulique, une personne pour maintenir la tension du bout sur le cabestan qui s'enroule sur le winch motorisé, deux personnes équipées de gants, casque de sécurité, bottes de sécurité et cirés pour manipuler la benne en toute sécurité (**Figure 4**).



Figure 4 : Déroulement des opérations lors d'un prélèvement à la benne Van Veen.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Le 2 avril 2012, aucun des 5 répliquats réalisés à la benne Van Veen n'a nécessité d'être refait. Au final, il n'y a eu aucun essai manqué sur les 5 mises à l'eau, chaque benne étant validée car remplie à 100 % (Figure 5).



Figure 5 : Situation géographique de la station Boyardville (A) et détails des prélèvements validés (B et C).

2.1.2 - Bellevue : station intertidale

La station a été échantillonnée le 06/04/2012 sous une pluie battante (**Figure 6**) par deux personnes.

Chacun des 5 réplicats est réalisé par un prélèvement manuel à l'aide d'un cadrat enfoncé de 15 à 20 cm dans le sédiment. Le sédiment est ensuite déposé dans un tamis de maille carrée de 1 mm de côté puis tamisé dans une flaque de proximité.

Le contrôle qualité sur le prélèvement se fait visuellement et ne pose pas de difficulté liée à un prélèvement à refaire, sauf renversement du tamis lors du tamisage ou de l'ensachage du refus de tamis.



Figure 6 : Situation géographique de la station Bellevue (A), détails des prélèvements faunistiques validés (B, C) et détails du prélèvement granulométrique(D).

2.1.3 - Les Doux : station intertidale

La station a été échantillonnée le 06/04/2012 sous une pluie battante (**Figure 7**) par deux personnes différentes de celles en place à la station de Bellevue.

Chacun des 5 réplicats est réalisé par un prélèvement manuel à l'aide d'un cadrat enfoncé de 15-20 cm dans le sédiment. Le sédiment est ensuite déposé dans un tamis de maille carrée de 1 mm de côté puis tamisé dans une flaque de proximité.

Le contrôle qualité sur le prélèvement se fait visuellement.

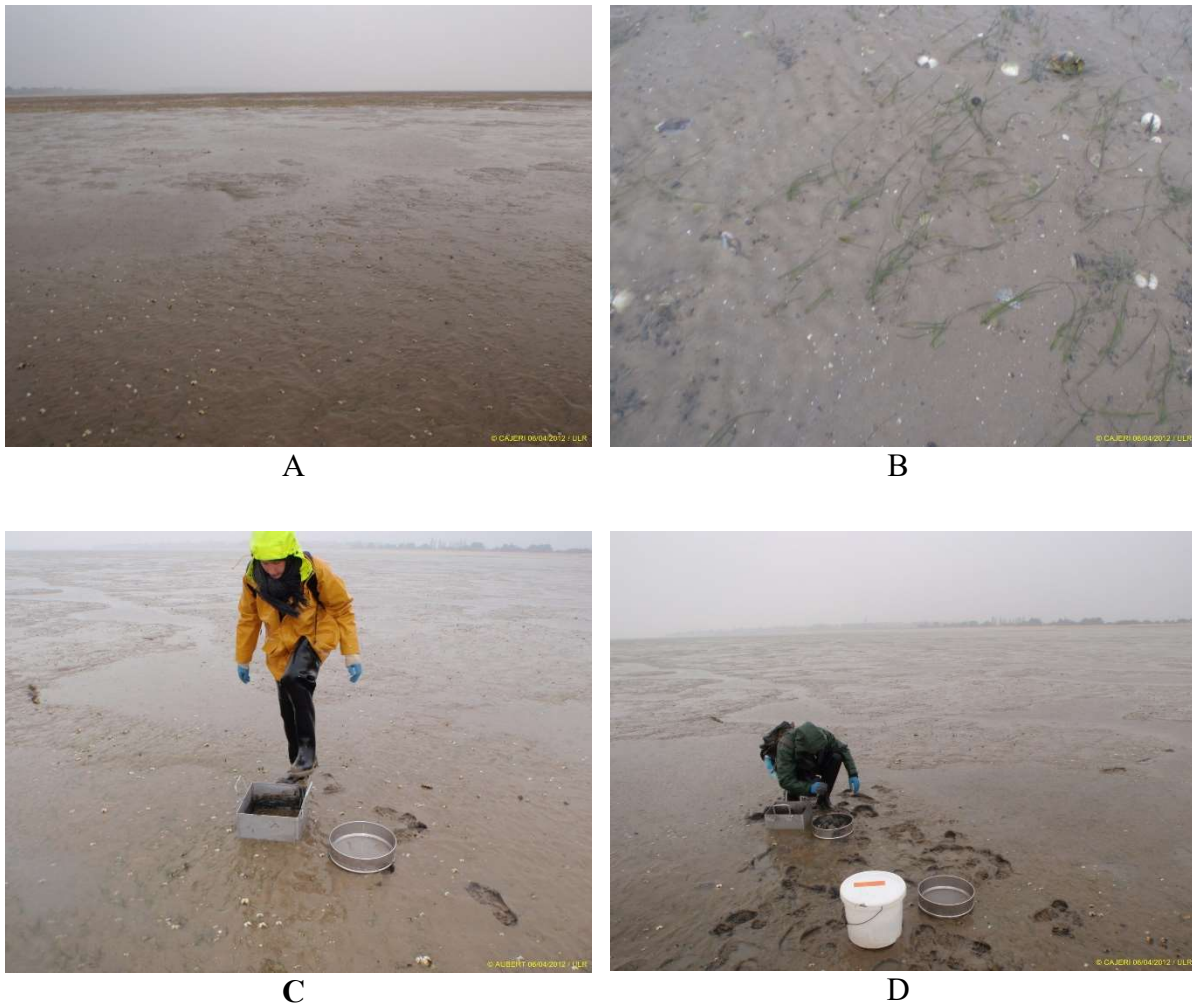


Figure 7 : Situation géographique de la station Les Doux (A), détails de l'herbier (B) et des prélèvements faunistiques (C et D).

3 - Matériel & Méthodes

3.1 - Analyse des sédiments

Le principe général de l'analyse granulométrique à visée biosédimentaire (Chassé & Glémarec, 1976) est d'obtenir une estimation du type sédimentaire à partir des 3 principales fractions de sédiments que sont les pélites (< 63 µm), les sables (63 µm < X < 2 mm) et les graviers (> 2 mm) selon les coupures communément admises (**Figure 8**).

MOYEN D'ÉTUDE	AFNOR α	UNITÉS Φ	CLASSIFICATION					
			Wentworth	Cailleux				
mesure directe	-24	250-256	-8	BLOCS (BOULDERS)	RUDITES	BLOCS		
	-18	63-32	-5	GRAVE (COBBLE)		GALETS		
	-6	4	-	CAILLOUX (PEBBLE)		GRAVILLONS		
	tamisage	-3	2	1	GRANULES	ARÉNITES (SANDS)	2 mm	
		-2	1,6-	0	TRÈS GROSSIER		SABLES	
		-1	1,25-		GROSSIER			
		0	1	1	MOYEN			SABLONS
		1	0,8-		FIN			
		2	0,63-	2	TRÈS FIN			
		3	0,5					
5		0,315-	3	GROSSIER	LUTITES (SILTS)			
		0,25						
microscope électronique		9	0,125	4		LUTITES (CLAYS)	PRE COLLOIDES	
	12	0,625-1/16	5					
	14	0,04-	6					
	17	0,02-	7					
	20	0,01-	8					
	24	0,004-1/256						
pipette		-0,00006	14					

Figure 8 : Echelle granulométrique AFNOR, unité Φ et classifications communes utilisées (Cojan & Renard, 1999).

3.1.1 - Analyse granulométrique

Pour l'analyse, chaque prélèvement est vidé dans un bol identifié pour être séché à l'étuve à 80-100°C pendant 72h. Un sous-échantillon de 100g (200g pour les sables) est remouillé dans un défloculant (métaphosphate de sodium à 40g/l), et malaxé avec une spatule voire éventuellement passé aux ultrasons 20 mn pour désagréger les amas de vase les plus petits. Le lendemain l'échantillon est tamisé à l'eau douce sur maille de 63 μm jusqu'à obtenir un filtrat clair, le but étant d'éliminer les pélites. Le refus de tamis est récupéré et mis à l'étuve à 80-100°C pendant 72h.

L'échantillon est ensuite passé sur une colonne de tamis normalisés Retsch (**Figure 9**). La colonne contient 17 tamis (4000 μm , 2000 μm , 1600 μm , 1250 μm , 1000 μm , 800 μm , 630 μm , 500 μm , 400 μm , 315 μm , 250 μm , 200 μm , 160 μm , 125 μm , 100 μm , 80 μm , 63 μm), répartis en deux passages successifs (4000 à 400 et 315 à 63 μm). Chaque tamis est pesé vide au préalable puis plein avec sa fraction de sédiment après tamisage avec une balance Sartorius FB12CCE-S afin de déterminer le type et la quantité de sédiments dans chaque échantillon. Une précision à 0,01 g est utilisée pour les pesées. La tamiseuse est mise en marche 15 minutes à 2000 vibrations par secondes.



Figure 9 : Colonne de tamis normalisés AFNOR sur tamiseuse Retsch et balance Sartorius à 0,01 g.

Les tamis sont ultérieurement débarrassés de leurs impuretés grâce à un appareil de nettoyage aux ultrasons Elma. Cette méthode est considérée aujourd'hui comme la méthode la plus efficace dans les procédés de nettoyage de précision sans influence néfaste sur le maillage des tamis.

Les résultats des différentes pesées sont ensuite analysées par la macro-procédure GRADISTAT (Blott & Pye, 2001), permettant d'obtenir des paramètres de forme et le type de sédiment. Le type de sédiment est alors interprété vis-à-vis de la classification de Chassé & Glémarec (1976) reprise par Hily (1976) dans les Pertuis Charentais (**Figure 10**).

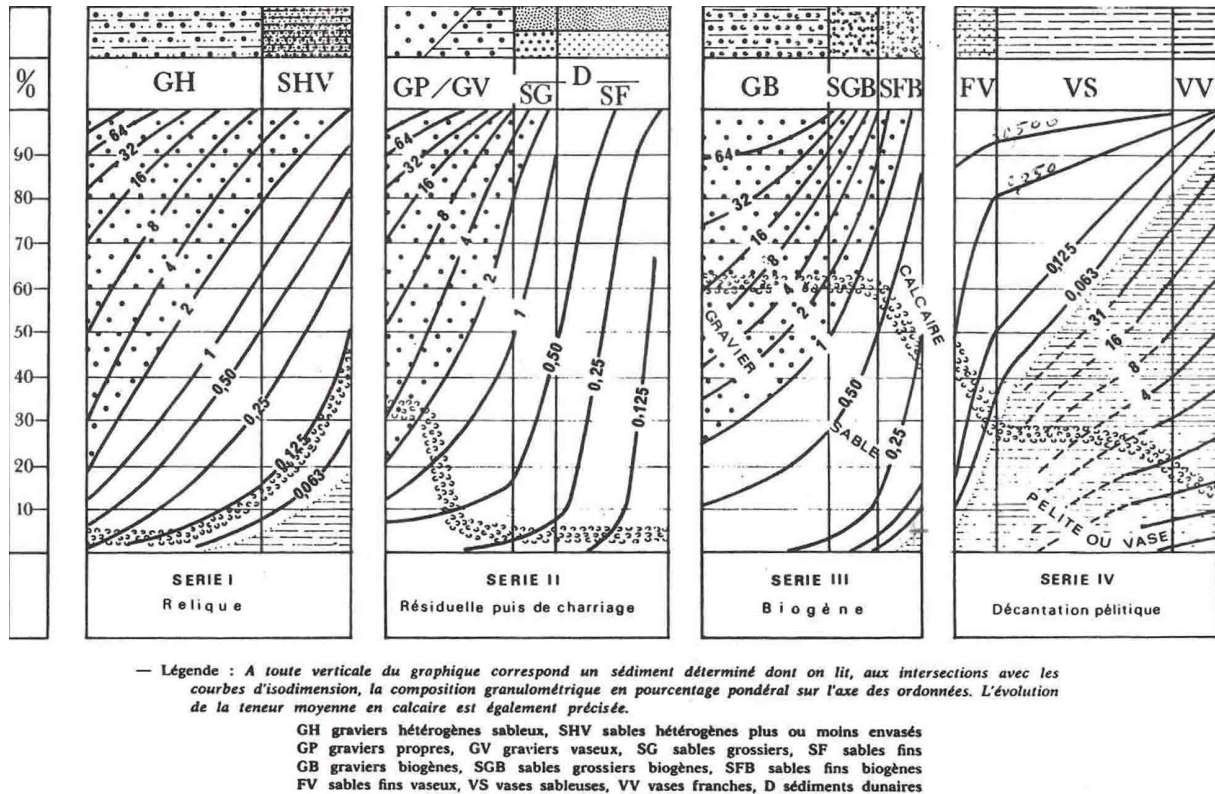


Figure 10 : Type biosédimentaire (Chassé & Glémarec, 1976).

3.1.2 - Analyse de la matière organique sédimentaire

L'analyse de la teneur en matière organique suit le principe de la perte au feu à 450 °C. Chaque sédiment est référencé par son numéro de station puis mis à l'étuve à 80-100°C 72 h afin d'obtenir un échantillon totalement sec. Les masses des coupelles numérotées sont mesurées ainsi que la masse des coupelles + le sédiment sec (environ 1g) par pesée sur une balance Mettler AE 240 avec une précision à 0,0001 g. Les échantillons sont ensuite placés dans un four à mouffles 450°C pendant 5h permettant une crémation effective sur 4h compte tenu de la montée lente en température du four. Des cendres minérales sont ainsi obtenues et sont également pesées sur la même balance après refroidissement dans un dessiccateur à température ambiante.

La formule suivante permet de déterminer la teneur en matières organiques :

$$\% \text{ Matières organiques} = \frac{\text{Matière sèche (g)} - \text{Matière minérale (g)}}{\text{Matière sèche (g)}}$$

La perte au feu est une méthode simple et peu coûteuse mais elle n'est pas très précise vis-à-vis d'une mesure de carbone ou d'azote organique particulière. Elle peut aussi être biaisée lorsque le sédiment renferme une proportion significative d'argile dont l'eau constitutive des feuillettes est évaporée à 450°C (Barillé-Boyer et al., 2003). Elle permet cependant d'avoir une estimation en première approximation des teneurs en matières organiques des sédiments.

3.2 - Analyse des échantillons faunistiques

3.2.1 - Lavage et tri des échantillons

L'analyse des échantillons faunistiques commence par un lavage sur tamis afin de récupérer leurs eaux de fixation formolée, eaux qui sont récupérées dans des bidons normalisés afin d'être traitées par une entreprise spécialisée. Ce rinçage s'effectue dans un évier spécialement aménagé en extérieur avec connexion directe au bidon de récupération des eaux formolées. Le lavage se termine par un rinçage soigneux afin d'éliminer le maximum de sédiments fins et les résidus formolés (**Figure 11A**). Ce rinçage nécessite généralement d'utiliser une série de tamis (parmi les suivants de 10 mm, 5 mm, 1 mm et 500 µm pour le dernier) de façon à récupérer des refus de tamis homogène en taille.

L'opération de tri des refus de tamis s'effectue en deux étapes successives chacune d'elle réalisée si possible par un opérateur différent :

- Etape 1 : tri à vue par un premier opérateur. Le tri est facilité lorsque la forme des débris coquilliers est homogène (cf. le lavage sur la série de tamis) ou bien lorsque leur faible quantité permet un étalement monocouche dans la bassine de tri. En cas de refus de tamis hétérogène en taille, un tamisage successif sur trois ou quatre mailles de tamis est effectué (10 mm, 5 mm, 1 mm et 0,5 mm) afin d'homogénéiser la taille des débris coquilliers. Le tri à vue est aussi facilité après un rinçage hydraulique des éléments faunistiques les plus légers (**Figure 11B**) avec coloration au rose Bengale (**Figure 11C**) puis lavage (**Figure 11D**).
- Etape 2 : tri de vérification à la loupe binoculaire des refus de tamis les plus fins par un opérateur différent de celui ayant réalisé le premier tri (**Figure 11e**). La détection des organismes de la macrofaune (annélides, crustacés, juvéniles de mollusques) est facilitée par la coloration au rose Bengale effectuée de façon à contrôler le temps de coloration (**Figure 11c**). Ce procédé a l'avantage de faciliter la détection des plus petits organismes tout en n'altérant pas ou peu leur coloration d'origine. Le temps de coloration est de l'ordre de quelques dizaines de secondes à moins d'une demi-minute.



Figure 11 : Opération de rinçage des eaux de fixation puis de lavage à grande eau (A), tri hydraulique (B), coloration des refus de tamis (C) et rinçage (D) puis de tri à la loupe binoculaire des éléments les plus fins. Photos M. Chenoun, M. Sauriau & P. Cajeri CNRS ©.

3.2.2 - Détermination des espèces

Les espèces déterminées font partie de la faune macroscopique (macrofaune > 1 mm). Ces espèces peuvent appartenir à :

- l'endofaune (faune vivant dans les sédiments) et vivre isolément ou en association,
- l'épifaune (faune vivant au-dessus des sédiments), être libre de leur mouvement (épifaune vagile) ou bien fixée (épifaune fixée). Dans chacun de ces deux cas, les espèces peuvent vivre isolément ou en colonie.

La nomenclature de la faune suit celle donnée par le World Register of Marine Species (WoRMS) (<http://www.marinespecies.org/index.php>) :

- Chaque espèce est nommée par son non latin binomial de genre et d'espèce suivi du nom de l'auteur l'ayant initialement décrite et de la date de publication de la description, par exemple *Spisula subtruncata* (da Costa, 1778).
- Lorsque un spécimen est abîmé ou lorsqu'un ou des appendices permettant de caractériser l'espèce de ce spécimen est ou sont absents, par exemples palpes, branchies, élytres, tâches oculaires, etc., l'analyse taxinomique ne peut être menée à son terme et seul le nom de genre est utilisé, par exemple *Lineus* sp.
- En cas d'incertitude sur le genre, seul de nom de la famille est utilisé, par exemple **HESIONIDAE** et, en cas d'incertitude sur la famille ou sur les niveaux supérieurs de la taxinomie, seul le nom de l'embranchement, par exemple **NEMERTEA**, est utilisé.

Les déterminations faunistiques s'appuient en particulier sur les ouvrages listés en **Tableau 3**. Les ouvrages généraux de Hayward & Ryland (1990a, 1990b) sont utilisés avec parcimonie, leur analyse révélant que ne sont listées que 75 % de la faune des Pertuis Charentais (de Montaudouin & Sauriau, 2000), ce chiffre descendant à 60 % pour les polychètes.

La validation des fichiers de saisies et la qualification des données taxinomiques ont été assurées par P.-G. Sauriau (CNRS) et revue pour certaines espèces par J. Jourde (ULR) pour la validation finale des données.

Tableau 3 : Ouvrages principaux utilisés pour les déterminations taxinomiques.

Embranchement	Ouvrage
Annelida	Fauvel (1923, 1927), Hartmann-Schröder (1971), George & Hartmann-Schröder (1985), Pleijel (1988), Westheide (1990), Pleijel & Dales (1991), Chambers & Muir (1997), Rouse & Pleijel (2001), Dauvin et al. (2006)
Arthropoda	Naylor (1972), Mauchline (1984), Smaldon et al. (1993), Ingle (1996), Dauvin & Bellan-Santini (1988), Bellan-Santini & Dauvin (1988), Dauvin & Bellan-Santini (1996, 2002), Ingle & Christiansen (2004), Martin (2011)
Chordata	Millar (1969, 1970), Degraer et al. (2006)
Cnidaria	Manuel (1988), Wood (2005)
Echinodermata	Southward & Campbell (2006), Martin (2011)
Mollusca	Tebble (1966), Glémarec (1968), Jones & Baxter (1987), Graham (1988), Thompson (1988), Poppe & Goto (1991, 1993), Houart (2001), Degraer et al. (2006), Martin (2011)

Nemertea	Gibson (1994)
Phoronida	Emig (1979)
Sipunculida	Gibbs (2001)

3.3 - Qualité écologique : indice M-AMBI

La méthode d'analyse de la qualité écologique est basée sur le concept d'indice biotique :

- Un indice biotique permet de statuer sur l'état écologique d'un fond sédimentaire à partir de la composition faunistique des peuplements qu'il héberge.
- La méthode repose sur la reconnaissance parmi les espèces constitutives du peuplement de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (Hily, 1984) en relation avec la réponse de chaque espèce à la teneur en matière organique des sédiments (**Tableau 4**), que celle-ci soit d'origine pétrolière, anthropique (rejets urbains) ou industrielle comme les résidus de traitement de bois.

Tableau 4 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (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 du milieu. - dernières à se réinstaller	suspensivores, carnivores sélectifs, quelques dépositivores tubicoles de sub-surface
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	dépositivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé en matière organique
IV	Opportunistes de second ordre	cycle de vie court (souvent <1 an) proliférant dans les sédiments réduits	dépositivores de sub-surface
V	Opportunistes de premier ordre	prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	dépositivores

- Différents indices ont été proposés (Grall & Glémarec, 2003) mais l'un des plus utilisés aujourd'hui est l'AZTI Marine Benthic Index ou AMBI disponible sur le site de l'AZTI (<http://ambi.azti.es/>). Les réflexions menées depuis la proposition initiale de l'AMBI par Borja *et al.* (2000, 2003, 2004) et les difficultés d'interprétation de cet indice comme explicitées par Borja & Muxika (2005) ont abouti à la proposition d'un indice multivarié ou M-AMBI (Muxika *et al.*, 2007).
- Cet indice est retenu et utilisé par la France dans le cadre de la DCE à l'issue de sa participation au GIG NEA. Il est basé sur les métriques suivantes :

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

- **Richesse spécifique** : la richesse spécifique (RS) se définit classiquement comme le nombre d'espèces recensées à une échelle d'espace déterminée, ici la station ponctuelle.

- **Diversité spécifique** : la diversité (H'), intégrant d'une part la richesse spécifique et d'autre part l'abondance relative des espèces, reflète l'équilibre dynamique de la biocénose et permet d'estimer le degré d'évolution entre les stades pionnier et mature d'un peuplement. L'indice le plus couramment utilisé en écologie est celui de Shannon (1948) ; par analogie avec la théorie de l'information, ce dernier exprime la diversité d'une communauté en fonction du nombre d'espèces récoltées et du nombre d'individus de chaque espèce (Frontier & Pichod-Viale, 1991) :

$$H' = - \sum_{i=1}^n (p_i \log_2 p_i)$$

Avec n : nombre d'espèces et p_i : fréquence relative de l'espèce i dans le prélèvement.

- **AMBI** : cet indice se base sur la reconnaissance parmi les espèces constitutives des peuplements benthiques de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (**Tableau 4**) et une pondération particulière de chaque groupe écologique par une constante qui représente le niveau de perturbation auquel les espèces sont associées :

$$AMBI = \{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\} / 100$$

Avec GI, GII, GIII, GIV et GV : proportion d'individus de chacun des groupes écologiques.

- Cet indice est calculé pour chaque station à partir d'une analyse factorielle des correspondances, déterminant trois axes perpendiculaires minimisant le critère des moindres carrés (Bald *et al.*, 2005). 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 sont projetés l'ensemble des points des stations (**Figure 12**). Pour chacun d'eux est calculée la distance qui le sépare du point le plus dégradé, en considérant que le segment de droite du point le plus dégradé à celui du meilleur état, à une longueur de 1. Cette distance bornée par 0 et 1 est le M-AMBI.

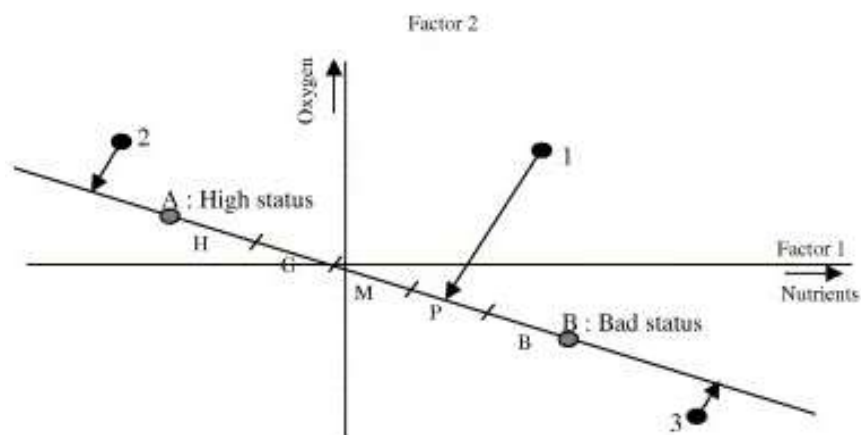


Figure 12 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (Bald *et al.*, 2005).

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

- Les stations échantillonnées lors du contrôle de surveillance se réfèrent à trois types d'environnement hydrosédimentaires (sables fins plus ou moins envasés subtidaux, sables fins plus ou moins envasés intertidaux, sables fins à moyens exposés) et, conséquemment, à trois conditions de référence distinctes (**Tableau 5**).

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

Environnement hydro-sédimentaire	Etat écologique	AMBI	Diversité de Shannon-Weaver	Richesse spécifique
Sables fins plus ou moins envasés subtidaux	Très bon	1	4	58
	Très mauvais	6	0	1
Sables fins plus ou moins envasés intertidaux	Très bon	1	4	35
	Très mauvais	6	0	1
Sables (fins à moyens) exposés	Très bon	1	3,5	15
	Très mauvais	6	0	1

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	Très mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon

- Les indices AMBI et M-AMBI sont calculés à partir du logiciel AMBI 4.1.
- Une technique de bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993, Palm, 2002) sur les répliqués (tirage aléatoire avec remise des répliqués) permet d'obtenir une estimation de la précision sur l'indice M-AMBI ainsi qu'une estimation de sa distribution (histogrammes de 1000 valeurs) autour de la valeur moyenne. La procédure a été développée sous MS-EXCEL et permet une application directe du logiciel AMBI 4.1 sur la feuille de calcul contenant les tirages aléatoires.

4 - Résultats

4.1 - Analyse des sédiments

4.1.1 - Boyardville : station subtidale

L'analyse granulométrique sur 100 g de sédiment (

Tableau 6) indique que ce sont des sédiments sablo-vaseux composés à 42,7 % de sables fins et à 56,3 % de vases. Ce sédiment fin dont le mode est à 90 μ m avec une taille médiane de 46 μ m possède une distribution unimodale mais un mauvais classement (**Annexe**).

Le taux de matière organique de 4,0 % est déterminé sur 3 réplicats d'analyse (

Tableau 7).

Tableau 6 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Information	Maille de tamis	Pesée tamis vide	Pesée tamis+sed	Commentaire	Sédiment (g)
DATE_ANALYSE	4000	603,20	603,86		0,66
27/04/2012	2000	494,56	494,90		0,34
OPERATEUR_ANALYSE	1600	454,35	454,40		0,05
LdAlmeida_LLatry	1250	422,09	422,15		0,06
SED_ANALYSE	1000	416,85	416,91		0,06
100	800	384,62	384,71		0,09
NOM_ME	630	402,63	402,75		0,12
Pertuis_Charentais	500	363,57	363,73		0,16
NOM_STATION	400	348,53	348,73		0,20
Boyardville	315	343,18	343,46		0,28
MOIS_STA	250	330,22	330,58		0,36
avril	200	328,78	329,35		0,57
CODE_ME	160	315,68	316,67		0,99
FRFC02	125	312,16	318,23		6,07
CODE_STA	100	309,43	321,26		11,83
SMF1	80	298,91	311,46		12,55
CODE_ANNEE	63	298,90	308,10		9,20
2012	0			Reste < 63 μ m	56,41

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de la teneur en matières organiques.

CODE_ANNEE	NOM_STA	MOIS_STA	TYPE_ANALYSE	DATE_ANALYSE	OPERATEUR_ANALYSE	TAUX_MO_SED (%)
2012	Boyardville	avril	MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	4,17
			MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	3,90
			MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	4,00

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Une analyse comparative des sédiments de cette station échantillonnée depuis 2007 (**Figure 13**) montre une relative stabilité de sa composition en vases, sables et graviers. Les proportions de vases varient de 50 à 80 % pour des sédiments très peu chargés en graviers. Le maximum de proportion en vases est daté d'avril 2010. La médiane varie entre 20 et 60 μm traduisant pour cette vase sableuse la prépondérance de la fraction silteuse.

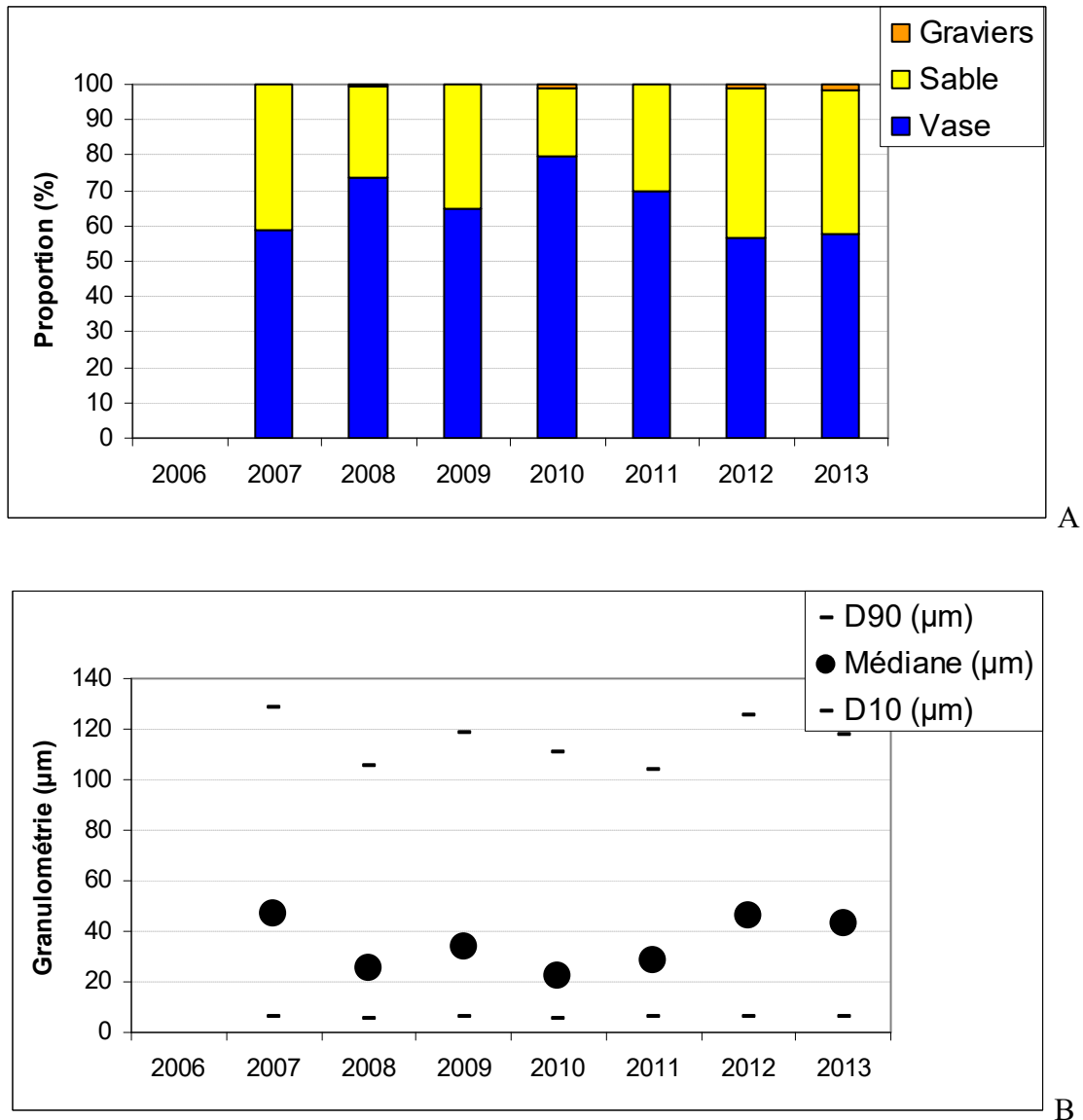


Figure 13 : Evolution des proportions en vases, sable et graviers (A) et de la médiane (D50) encadrée par les D10 et D90 (μm) pour les sédiments de la station subtidale Boyardville.

De même les valeurs de la série 2007-2012 des taux de matières organiques varient entre 3,7 % (le minimum en avril 2010) et 5,1 (le maximum en avril 2008) ne traduisant pas de changement majeur dans les sédiments subtidaux de la station Boyardville.

4.1.2 - Bellevue : station intertidale

L'analyse granulométrique sur 200 g de sédiment (

Tableau 8) indique que ce sont des sédiments sableux composés à plus de 98 % de sables moyens dont la médiane est proche des 400 μm . Ce sable moyen dont le mode est proche des 360 μm possède une distribution unimodale mais bon classement (**Annexe**).

Le taux de matière organique de 0,84 % est déterminé sur 6 réplicats d'analyse (**Tableau 9**).

Tableau 8 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Information	Maille de tamis	Pesée tamis vide	Pesée tamis+sed	Commentaire	Sédiment (g)
DATE_ANALYSE	4000	603,2	603,23		0,03
27/04/2012	2000	494,56	494,56		0,00
OPERATEUR_ANALYSE	1600	454,36	454,45		0,09
LdAlmeida_LLatry	1250	422,09	422,66		0,57
SED_ANALYSE	1000	416,85	418,47		1,62
200	800	384,63	388,91		4,28
NOM_ME	630	402,62	417,14		14,52
Pertuis_Charentais	500	363,61	389,45		25,84
NOM_STATION	400	348,58	399,62		51,04
Bellevue	315	343,18	414,72		71,54
MOIS_STA	250	330,26	355,88		25,62
Avril	200	328,9	331,04		2,14
CODE_ME	160	315,75	315,88		0,13
FRFC02	125	312,23	312,25		0,02
CODE_STA	100	309,49	309,51		0,02
IMF1	80	298,95	298,96		0,01
CODE_ANNEE	63	298,98	299,01		0,03
2012	0			Reste < 63 μm	2,50

Tableau 9 : Résultats de l'analyse de la teneur en matières organiques.

CODE_ANNEE	NOM_STA	MOIS_STA	TYPE_ANALYSE	DATE_ANALYSE	OPERATEUR_ANALYSE	TAUX_MO_SED (%)
2012	Bellevue	avril	MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	0,74
			MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	0,83
			MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	1,10
			MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	0,88
			MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	0,76
			MO perte au feu	04/06/2012	L_deAlmeidaFerreira	0,72

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Une analyse comparative des sédiments de cette station échantillonnée depuis 2007 (**Figure 14**) montre la stabilité de sa composition en vases, sables et graviers. Les proportions de sables varient de 97 à 99 % pour des sédiments très peu chargés en vases et graviers. Les proportions de vases restent inférieures à 2 % sauf en 2008 avec 2,1 %. La médiane de ces sédiments varie entre 379 et 398 μm traduisant pour la prépondérance de la fraction des sables moyens. La station de Bellevue est en effet placée sur l'aval de la flèche dunaire de Bellevue.

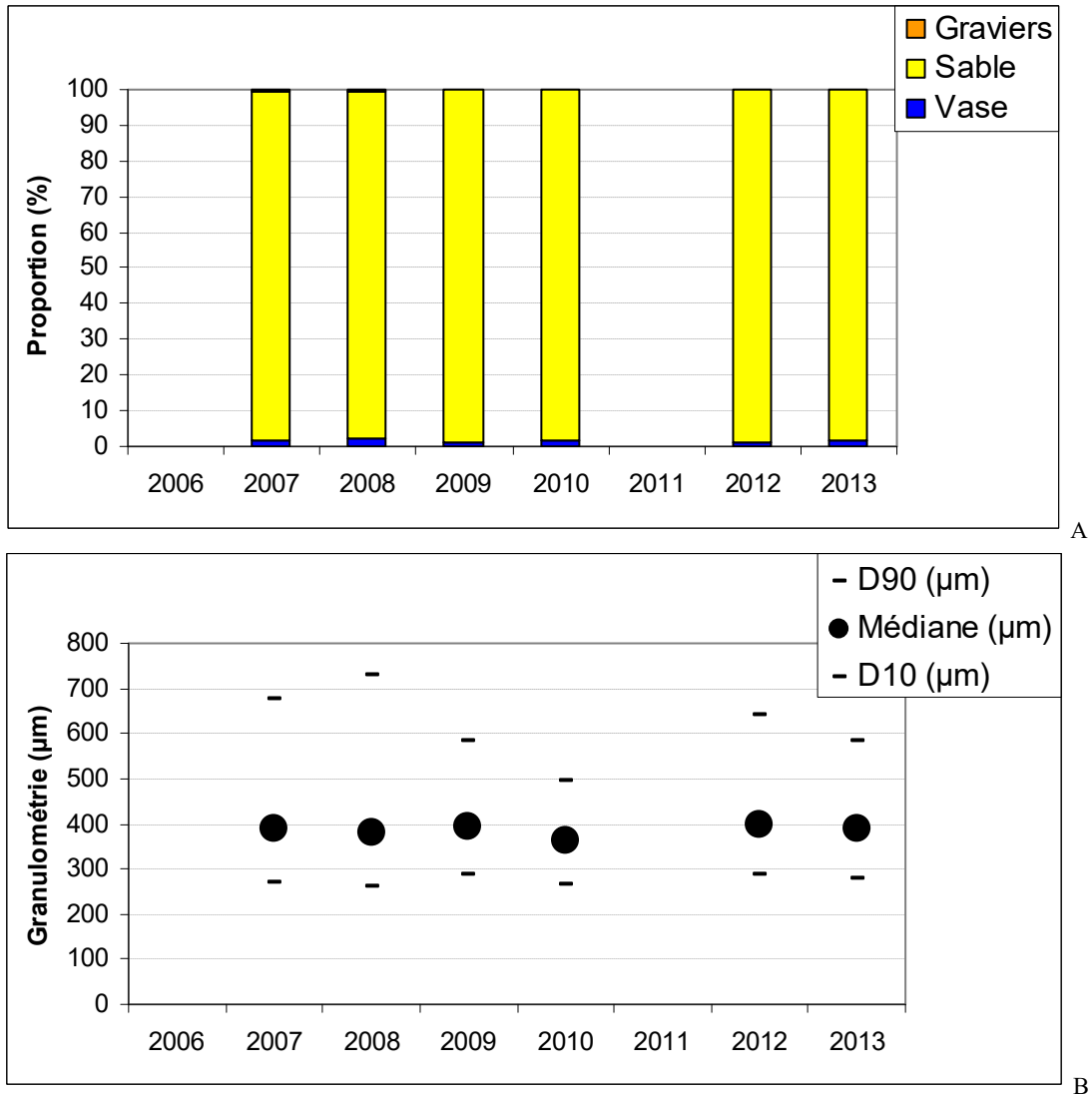


Figure 14 : Evolution des proportions en vases, sable et graviers (A) et de la médiane (D50) encadrée par les D10 et D90 (μm) pour les sédiments de la station intertidale de Bellevue.

De même les valeurs de la série 2007-2012 des taux de matières organiques varient entre 0,6 % (le minimum en avril 2010) et 1,1 (le maximum en avril 2008) ne traduisant pas de changement majeur dans le piégeage de matières organiques par ces sables intertidaux.

Le minimum de taux de matières organiques est cependant enregistré en avril 2010 comme pour la station Boyardville.

4.1.3 - Les Doux : station intertidale

L'analyse granulométrique sur 100 g de sédiment (**Tableau 10**) indique que ce sont des sédiments sablo-vaseux composés à 50 % de vases et 49 % de sables fins. La médiane est proche des 63 μ m. Cette vase sableuse dont le mode est proche des 90 μ m possède une distribution unimodale, presque bimodale et donc avec un mauvais classement (**Annexe**).

Le taux de matière organique de 2,3 % est déterminé sur 3 réplicats d'analyse (**Tableau 11**).

Tableau 10 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Information	Maille de tamis	Pesée tamis vide	Pesée tamis+sed	Commentaire	Sédiment (g)
DATE_ANALYSE	4000	603,21	603,77		0,56
18/06/2012	2000	494,55	495,54		0,99
OPERATEUR_ANALYSE	1600	454,36	454,62		0,26
Sauriau_M_&_Sauriau_F	1250	422,08	422,36		0,28
SED_ANALYSE	1000	416,84	417,09		0,25
100,17	800	384,63	384,97		0,34
NOM_ME	630	402,62	403,2		0,58
Pertuis_Charentais	500	363,59	364,43		0,84
NOM_STATION	400	348,55	350,16		1,61
Les Doux	315	343,17	345,14		1,97
MOIS_STA	250	330,27	332,15		1,88
Avril	200	329,05	330,31		1,26
CODE_ME	160	316,26	317,09		0,83
FRFC02	125	312,42	314,88		2,46
CODE_STA	100	309,57	315,74		6,17
IMFZno1	80	299,05	317,55		18,50
CODE_ANNEE	63	299,04	310,45		11,41
2012	0			Reste < 63 μ m	49,98

Tableau 11 : Résultats de l'analyse de la teneur en matières organiques.

CODE_ANNEE	NOM_STA	MOIS_STA	TYPE_ANALYSE	DATE_ANALYSE	OPERATEUR_ANALYSE	TAUX_MO_SED (%)
2012	Les Doux	avril	MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	2,40
			MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	2,17
			MO perte au feu	26/12/2012	F_Aubert	2,25

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Une analyse comparative des sédiments de cette station échantillonnée annuellement de 2007 à 2008 puis en 2012 (**Figure 15**) montre une relative stabilité de sa composition en vases, sables et graviers. Les proportions de vases varient de 42 à 56 % pour des sédiments peu chargés en graviers. Les proportions de graviers restent inférieures à 2 % sauf en 2008 avec 5,5 %. La médiane de ces sédiments varie autour des 63 μm , la limite entre silts grossiers et sables fins traduisant la prépondérance des fractions vaseuses avec des apports grossiers.

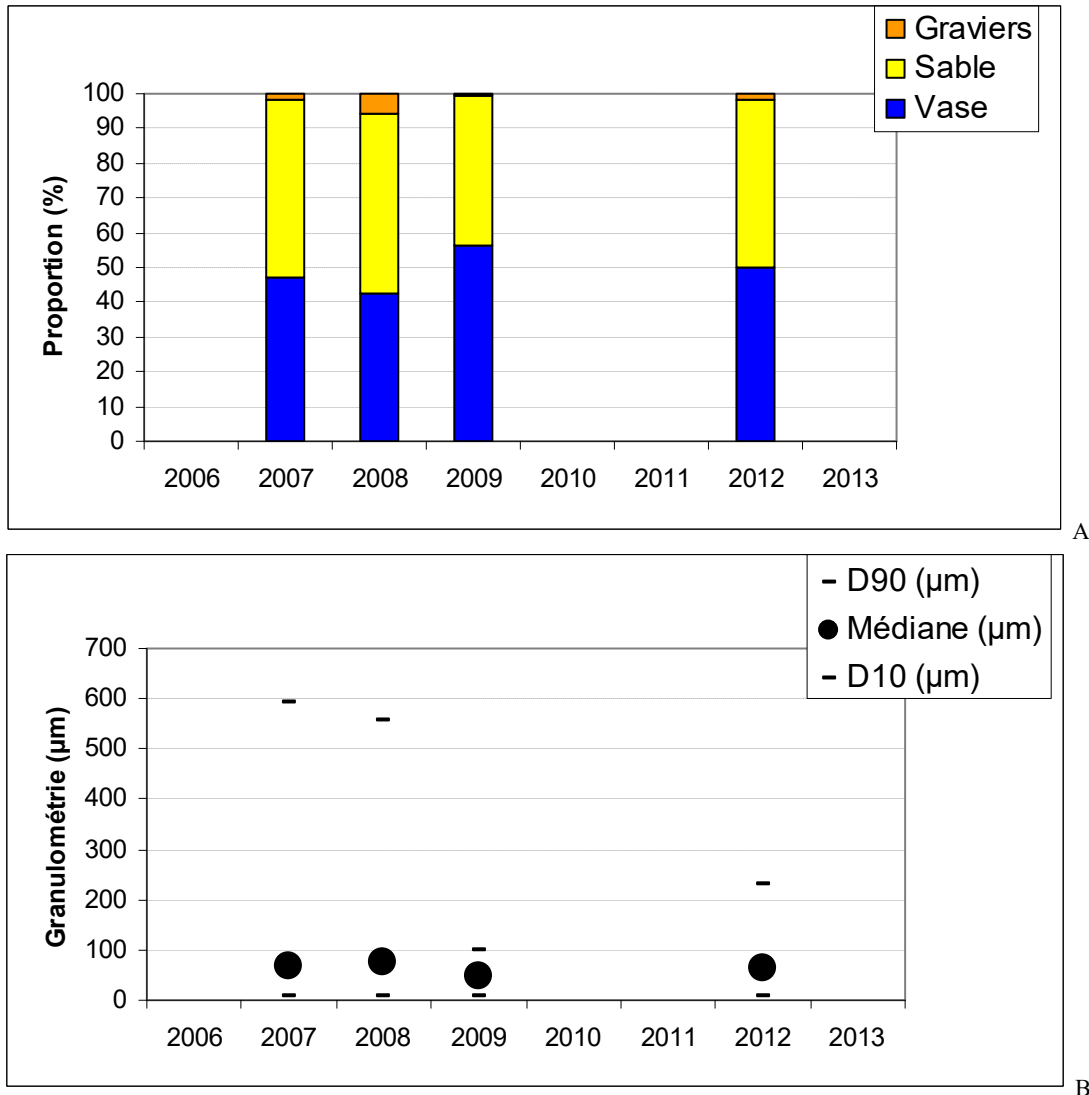


Figure 15 : Evolution des proportions en vases, sable et graviers (A) et de la médiane (D50) encadrée par les D10 et D90 (μm) pour les sédiments de la station intertidale de Bellevue.

De même les valeurs de la série 2007-2009 et 2012 des taux de matières organiques varient entre 2,3 % (le minimum en avril 2012) et 3,7 (le maximum en avril 2007) ne traduisant pas de changement majeur dans le piégeage de matières organiques par les vases sableuses de l'herbier de la station des Doux.

4.2 - Analyse faunistique

4.2.1 - Boyardville : station subtidale

4.2.1.1. Richesse spécifique et abondance spécifique

La richesse spécifique totale obtenue en sommant les 5 réplicats est de 77 taxons qui se répartissent en deux embranchements dominants avec 38 % d'annélides et 30 % de mollusques (**Figure 16**). Les mollusques sont les plus abondants avec en moyenne 62 % des abondances suivis des arthropodes à 18 % et des annélides à 15 % des abondances (**Figure 17**).

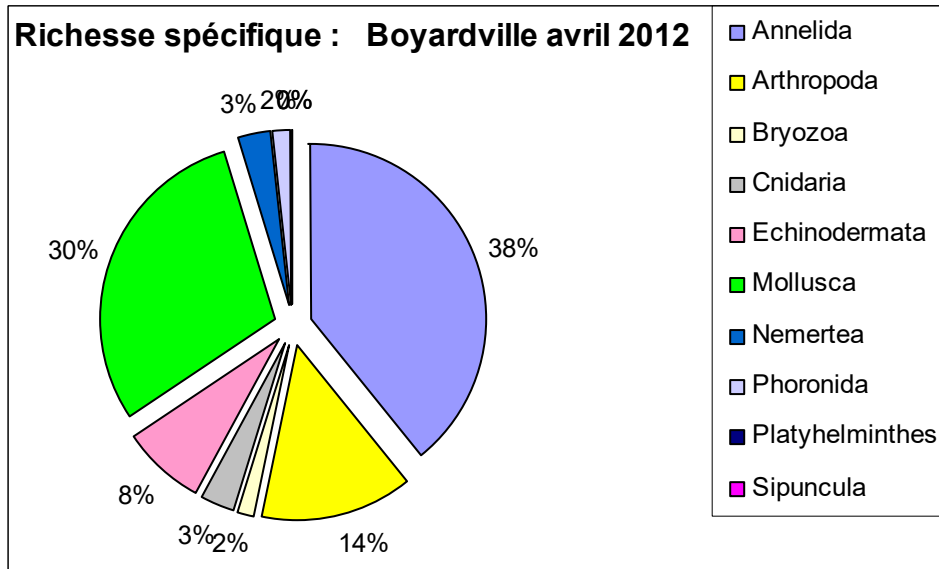


Figure 16 : Répartition des taxons par embranchement selon le nombre d'espèces.

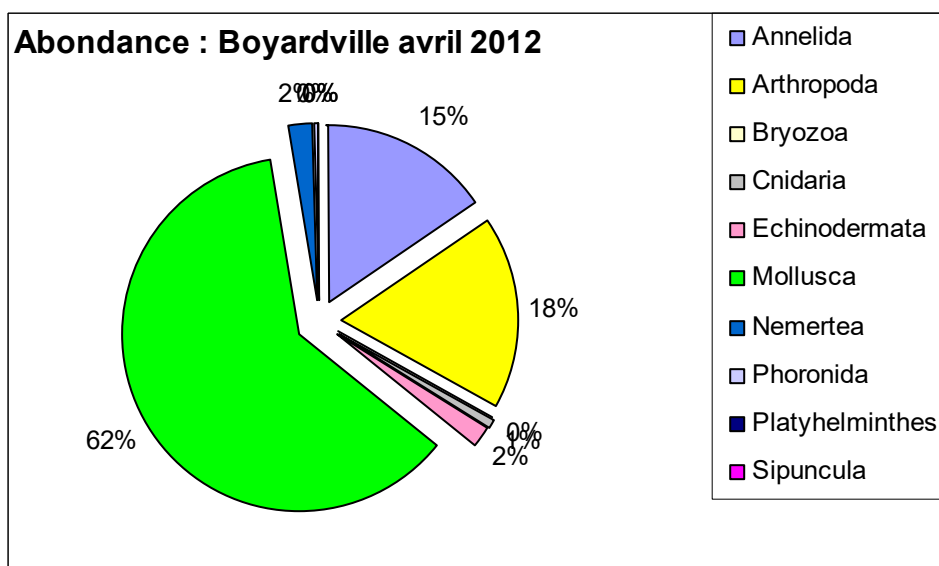


Figure 17 : Répartition des taxons par embranchement selon les abondances.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

L'analyse succincte du

Tableau 12 des richesses et abondances spécifiques par réplicat montre que :

- La richesse spécifique par réplicat varie entre 28 et 37 espèces ;
- Les abondances par réplicat varient d'environ 1200 à 2900 individus par m² pour une valeur moyenne avec son intervalle de confiance à 95 % de 1800 ± 100 individus par m² ;
- Les cinq espèces les plus abondantes sont le crustacé amphipode *Ampelisca spinipes* (16 %) et les mollusques *Nucula nitidosa* (14 %), *Corbula gibba* (13 %), *Kurtiella bidentata* (11 %) et *Antalis novemcostata* (8 %) ;
- Au moins 20 espèces sont rares avec un seul individu collecté sur la station parmi lesquels 7 annélides polychètes, 4 arthropodes, 1 cnidaire, 1 colonie de bryozoaires, 1 échinoderme et 6 mollusques.

Tableau 12 : Richesse et abondances spécifiques de la station Boyardville en avril 2012.

Richesse spécifique		28	34	36	29	37	64		
Abondance totale an m ²		1250	1690	1500	1480	2920	1768	±	84
Embranchement	Espèce	1	2	3	4	5	Total	%	
Annelida	<i>Ampharete acutifrons</i>	3	1	4	1	3	12	1 %	
	<i>Chaetozone gibber</i>	0	0	1	0	1	2	0 %	
	<i>Dipolydora coeca</i>	0	0	0	0	3	3	0 %	
	<i>Euclymene collaris</i>	0	0	2	0	0	2	0 %	
	<i>Euclymene sp.</i>	3	1	2	0	5	11	1 %	
	<i>Glycera unicornis</i>	4	1	1	2	3	11	1 %	
	<i>Heteromastus filiformis</i>	1	0	2	3	4	10	1 %	
	<i>Lagis koreni</i>	0	1	0	0	2	3	0 %	
	<i>Magelona alleni</i>	2	1	0	0	2	5	1 %	
	<i>Malmgreniella castanea</i>	0	0	3	0	0	3	0 %	
	<i>Melinna cristata</i>	0	1	0	0	0	1	0 %	
	<i>Monticellina sp.</i>	1	0	5	2	0	8	1 %	
	<i>Neanthes sp.</i>	1	1	0	0	1	3	0 %	
	<i>Nephtys cirrosa</i>	0	1	0	1	2	4	0 %	
	<i>Nereimyra punctata</i>	0	0	0	1	0	1	0 %	
	<i>Notomastus latericeus</i>	11	5	7	8	9	40	5 %	
	<i>Pista cretacea</i>	0	1	2	0	3	6	1 %	
<i>Prionospio malmgreni</i>	1	0	0	0	0	1	0 %		
<i>Sabellaria spinulosa</i>	1	2	0	0	0	3	0 %		

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

	<i>Scoletoma impatiens</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Spio decoratus</i>	0	0	0	1	1	2	0 %
	<i>Spiochaetopterus costarum</i>	0	0	0	1	0	1	0 %
	<i>Spirobranchus triqueter</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Sthenelais boa</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Syllidia armata</i>	0	0	1	0	1	2	0 %
Arthropoda	<i>Ampelisca brevicornis</i>	1	0	0	0	0	1	0 %
	<i>Ampelisca spinipes</i>	8	14	9	26	83	140	16 %
	<i>Asthenognathus atlanticus</i>	0	1	1	1	0	3	0 %
	<i>Cestopagurus timidus</i>	0	0	1	1	0	2	0 %
	<i>Crangonidae</i>	0	0	0	1	0	1	0 %
	<i>Iphinoe serrata</i>	0	0	0	0	1	1	0 %
	<i>Liocarcinus sp.</i>	0	1	0	0	0	1	0 %
	<i>Monocorophium sextonae</i>	0	0	0	0	2	2	0 %
	<i>Photis longicaudata</i>	1	1	1	0	1	4	0 %
Bryozoa	BRYOZOA	1	0	0	0	0	1	0 %
Cnidaria	ANTHOZOA	0	0	0	1	0	1	0 %
	<i>Edwardsia claparedii</i>	0	1	1	1	2	5	1 %
Echinodermata	<i>Amphiura filiformis</i>	1	4	2	2	1	10	1 %
	<i>Leptopentacta elongata</i>	0	1	1	0	1	3	0 %
	<i>Leptosynapta sp.</i>	1	0	0	0	1	2	0 %
	<i>Oestergrenia digitata</i>	1	0	0	0	1	2	0 %
	<i>Ophiura albida</i>	0	1	0	0	0	1	0 %
Mollusca	<i>Abra alba</i>	2	7	7	0	12	28	3 %
	<i>Abra nitida</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Antalis novemcostata</i>	22	15	12	16	10	75	8 %
	<i>Calyptraea chinensis</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Corbula gibba</i>	30	31	15	15	28	119	13 %
	<i>Crassostrea gigas</i>	0	1	0	0	0	1	0 %
	<i>Crepidula fornicata</i>	4	5	18	9	1	37	4 %
	<i>Cylichna cylindracea</i>	1	2	1	5	2	11	1 %
	<i>Hyala vitrea</i>	1	2	3	1	6	13	1 %
	<i>Kurtiella bidentata</i>	6	36	13	10	34	99	11 %
	<i>Melanella sp.</i>	0	0	0	0	1	1	0 %
	<i>Modiolula phaseolina</i>	1	0	0	0	1	2	0 %

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

	<i>Musculus costulatus</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
	<i>Nassarius pygmaeus</i>	0	7	1	3	0	11	1 %
	<i>Nassarius reticulatus</i>	0	1	0	0	0	1	0 %
	<i>Nucula nitidosa</i>	10	14	23	22	58	127	14 %
	<i>Peringia ulvae</i>	0	0	1	1	2	4	0 %
	<i>Spisula subtruncata</i>	0	4	0	1	0	5	1 %
	<i>Turritella communis</i>	0	2	3	3	0	8	1 %
Nemertea	NEMERTEA	3	0	1	6	1	11	1 %
	<i>Tubulanus polymorphus</i>	3	1	0	3	2	9	1 %
Phoronida	<i>Phoronis sp.</i>	0	1	0	0	1	2	0 %

4.2.1.2. Histogramme de taille des mollusques

L'histogramme de taille des mollusques montre que les individus sont en grande majorité de petite taille (moins de 10 mm) les deux espèces dominantes *Nucula nitidosa* et *Kurtiella bidentata* ayant des tailles variant respectivement entre 1-6 mm et 1-4 mm. Les plus grands individus sont des *Crepidula fornicata* jusqu'à 46 mm (**Figure 18**). Ces dernières sont présentes sur la station mais en faible abondance puisque celle-ci varie de 1 à 18 individus par réplikat, soit de 10 à 180 individus/m².

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

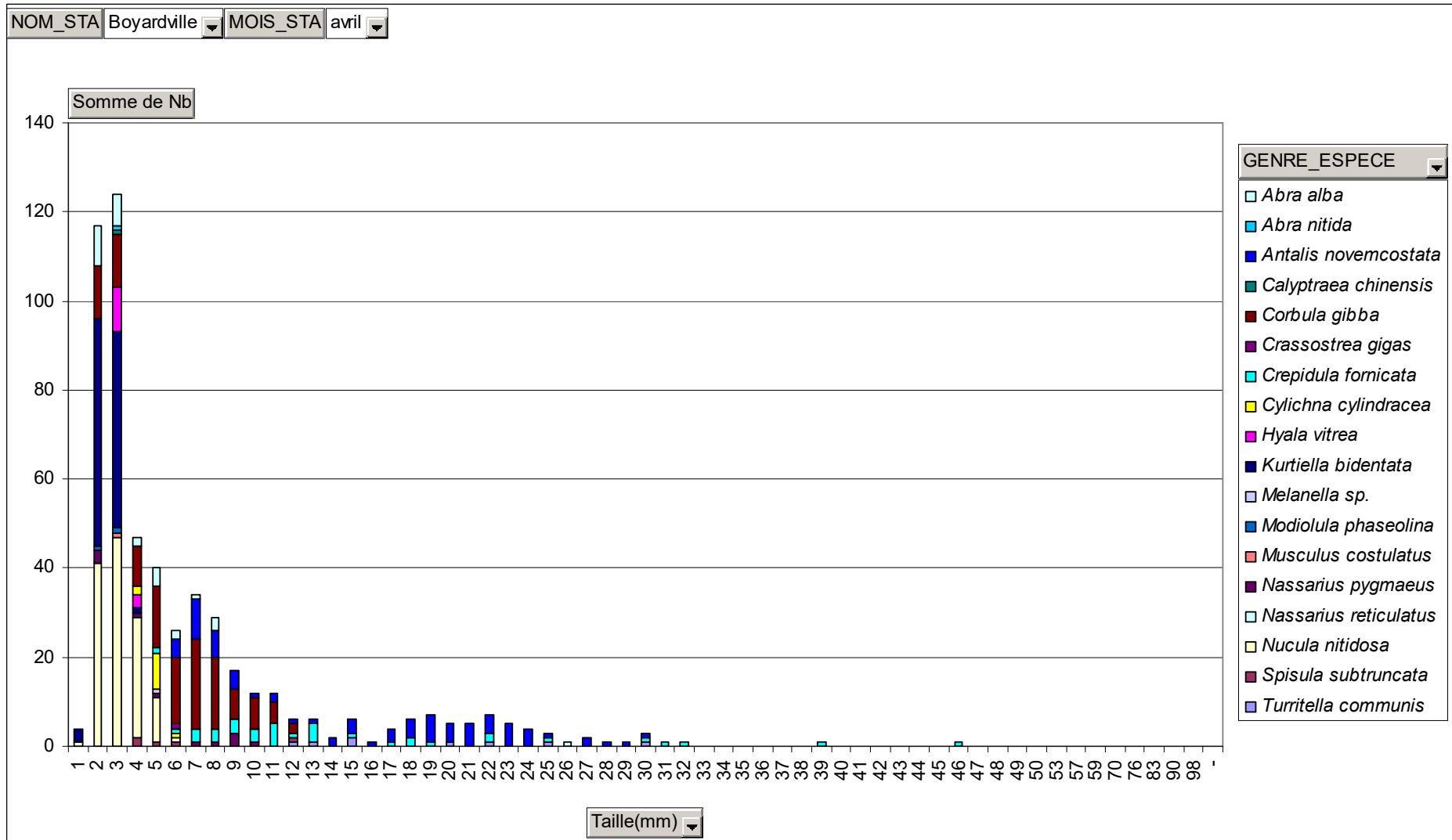


Figure 18 : Histogramme de taille des mollusques pour les 5 réplicats.

4.2.1.3. Analyse statut écologique selon M-AMBI

Parmi les individus recensés, 52 % appartiennent au groupe écologique I des espèces sensibles, 12 % au groupe II, 18 % au groupe III, 19 % au groupe IV mais aucun au groupe V des espèces opportunistes de premier ordre (**Figure 19**).

L'indice AMBI est de 1,65 avec 64 taxons retenus et une diversité de 4,22.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station et avec comme condition de référence une station de sables fins plus ou moins envasés subtidaux (1, 4, 58) fournit une valeur de 1,06 arrondie à 1, suggérant un très bon état écologique.

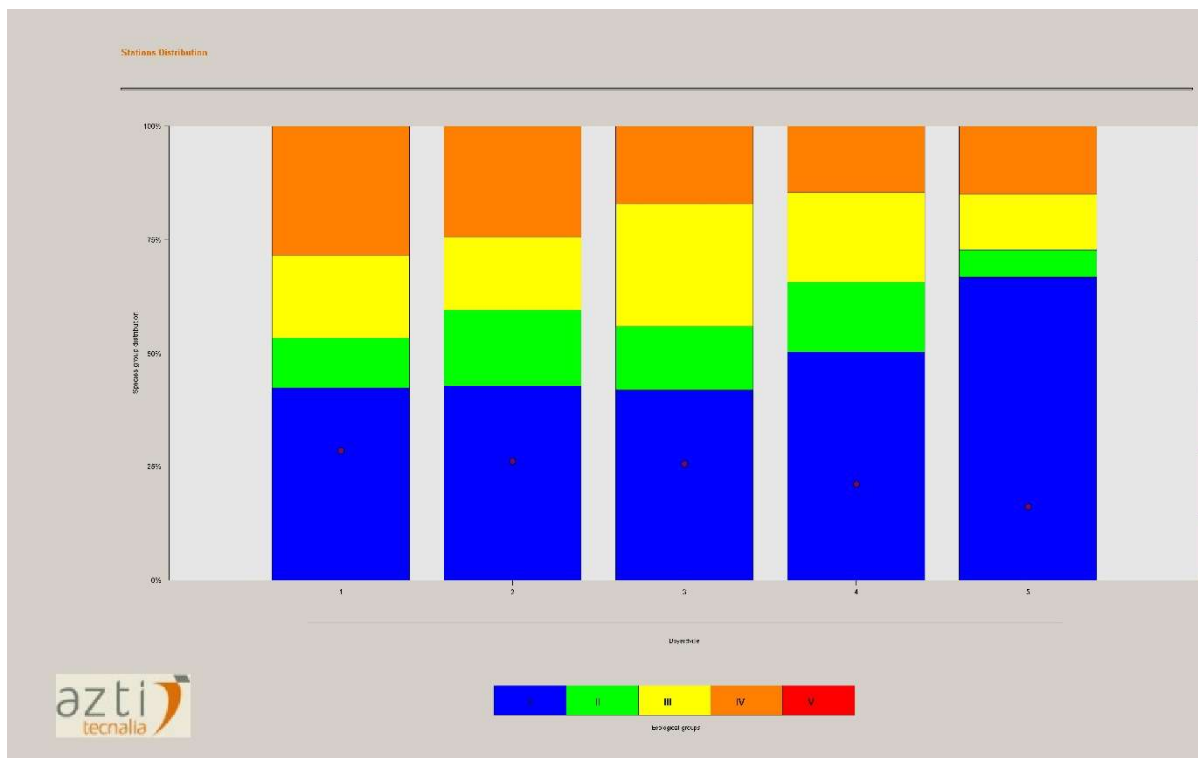


Figure 19 : Proportion des groupes écologiques dans les 5 réplicats.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station fournit une valeur de 1 mais il a été reconnu que d'utiliser un jeu de données trop restreint (une seule station) conduit à des surestimations du M-AMBI (Ruellet & Dauvin, 2008). Cette valeur ne devrait donc pas être retenue pour estimer le statut écologique de la station. Ce problème de surestimation est lié à l'utilisation d'une analyse factorielle dans le calcul de l'indice M-AMBI, analyse qui est sensible au nombre d'observations soumises à l'analyse (Muxika *et al.*, 2007, Borja *et al.*, 2008). De fait il est recommandé d'utiliser au moins 50 stations afin d'en stabiliser les résultats individuels (Borja & Mader, 2008).

La procédure générale sera donc d'utiliser le jeu de données 2012 sur l'ensemble du littoral atlantique pour estimer le statut écologique de cette station (Desroy, 2010 com. pers.).

Cependant, une procédure alternative peut être proposée à partir des résultats obtenus sur cette station. Un bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993, Palm, 2002) permet en effet, à partir

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

des 126 combinaisons possibles issues de tous les tirages aléatoires avec remise de 5 réplicats parmi 5, de réaliser :

- 1) le calcul de l'indice M-AMBI sur ces 126 combinaisons en respectant la contrainte d'utiliser au moins 50 observations ;
- 2) d'estimer un intervalle de confiance autour de la valeur moyenne du M-AMBI à partir d'un tirage ultérieur de 1000 combinaisons et
- 3) de présenter un histogramme des valeurs obtenues.

En suivant cette procédure, la valeur moyenne de l'indice M-AMBI pour la station de Boyardville en 2012 est de $0,93 \pm 0,01$ avec un intervalle de confiance à 95 % entre 0,92 et 0,94 (**Figure 20**). La dispersion des valeurs se fait sur une seule classe de statut écologique, le statut écologique TRES BON.

Un test de χ^2 sur la répartition des 1000 tirages aléatoires ne permet pas d'aller en deçà, sans écart significatif à 5 %, d'une répartition en 6 % en statut BON et 94 % en statut TRES BON. Il doit être conclu que le statut TRES BON est le plus probable.

Le statut écologique de la station Boyardville en 2012 peut être considéré comme **TRES BON** pour l'élément de qualité invertébrés benthiques.

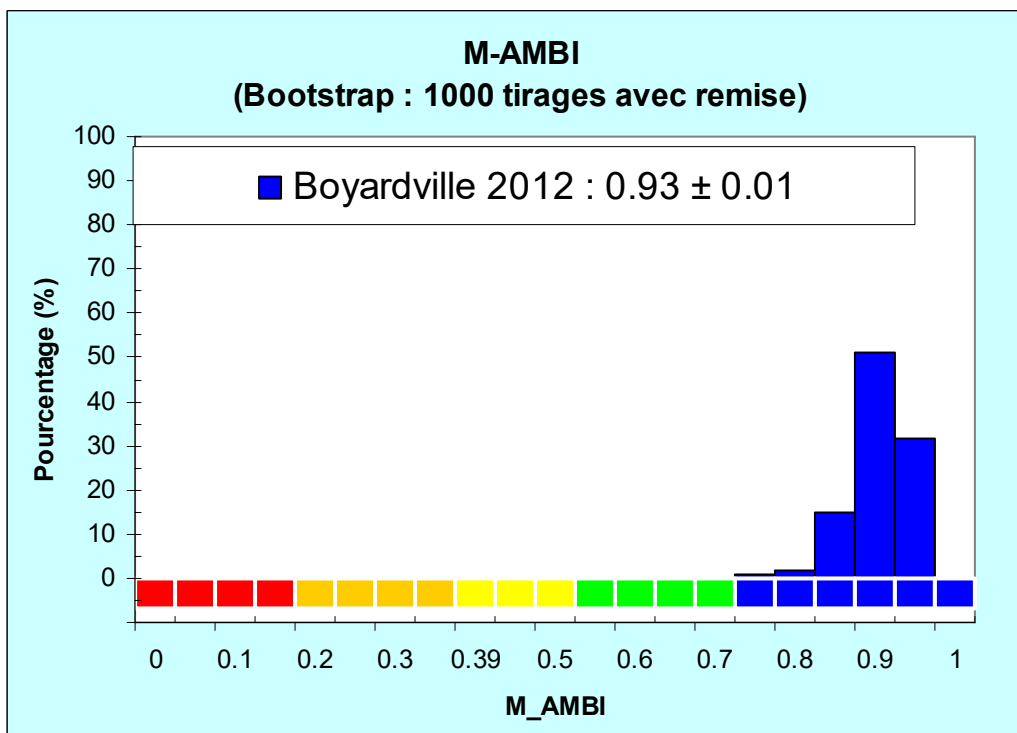


Figure 20 : Histogramme des valeurs du M-AMBI après 1000 tirages aléatoires.

4.2.2 - Bellevue : station intertidale

4.2.2.1. Richesse spécifique et abondance spécifique

La richesse spécifique totale obtenue en sommant les 5 réplicats est de 24 taxons qui se répartissent en trois embranchements dominants les arthropodes avec 30 % des espèces suivis des mollusques avec 29 % et des annélides avec 21 % des espèces (**Figure 21**). Les mollusques sont les plus abondants avec en moyenne 96 % des abondances suivis des arthropodes qui ne représentent que 4 % des abondances (**Figure 22**).

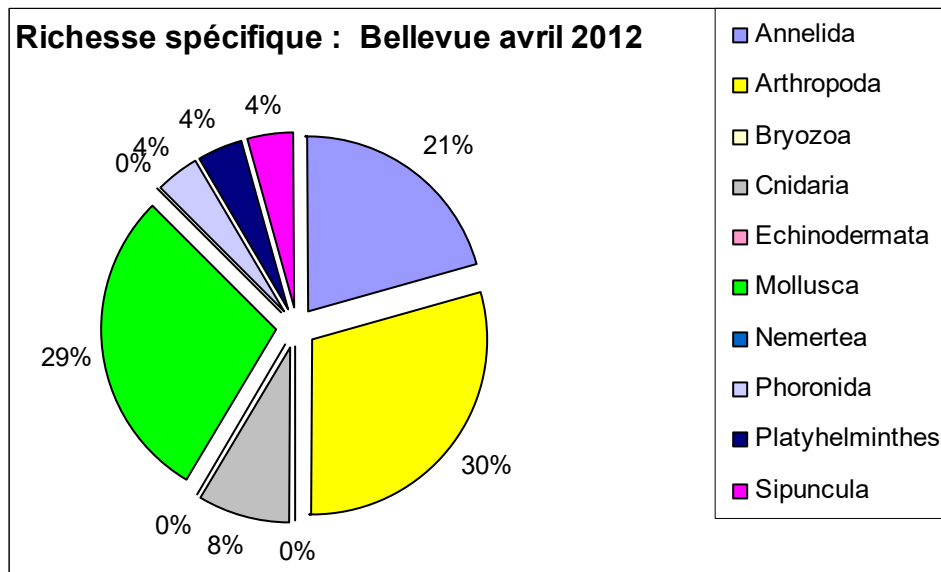


Figure 21 : Répartition des taxons par embranchement selon le nombre d'espèces.

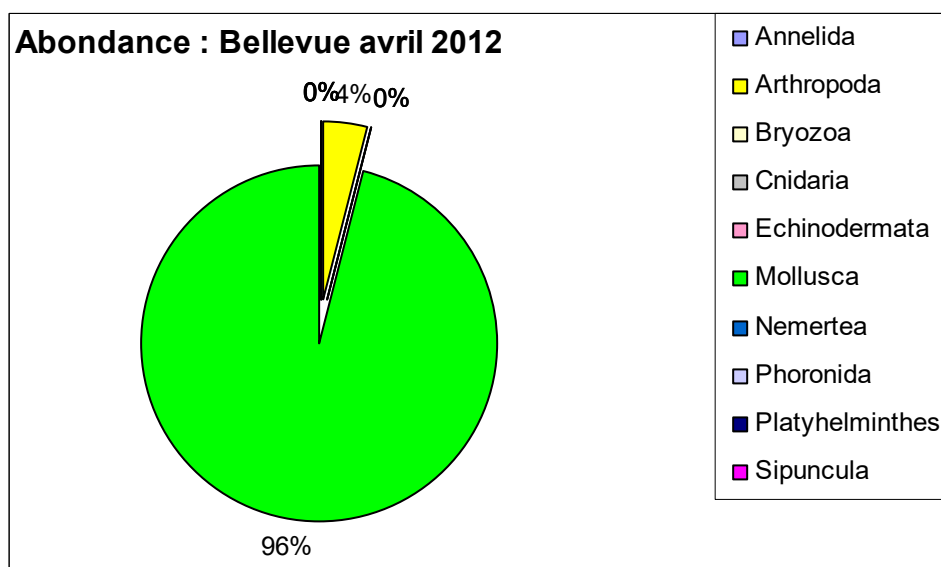


Figure 22 : Répartition des taxons par embranchement selon les abondances.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

L'analyse succincte du

Tableau 13 des richesses et abondances spécifiques par réplicat montre que :

- La richesse spécifique par réplicat varie entre 10 et 12 espèces ;
- Les abondances par réplicat varient d'environ 3300 à 23000 individus par m² pour une valeur moyenne avec son intervalle de confiance à 95 % de 11000 ± 2000 individus par m² ;
- Une seule espèce représente 95 % des abondances, il s'agit du mollusque *Peringia ulvae* ;
- Au moins 9 espèces sont rares avec un seul individu collecté sur la station parmi lesquels 3 annélides polychètes, 2 arthropodes, 1 cnidaire, 1 Phoronidiens et 1 Platyhelminthes.

Tableau 13 : Richesse et abondances spécifiques de la station Bellevue en avril 2012.

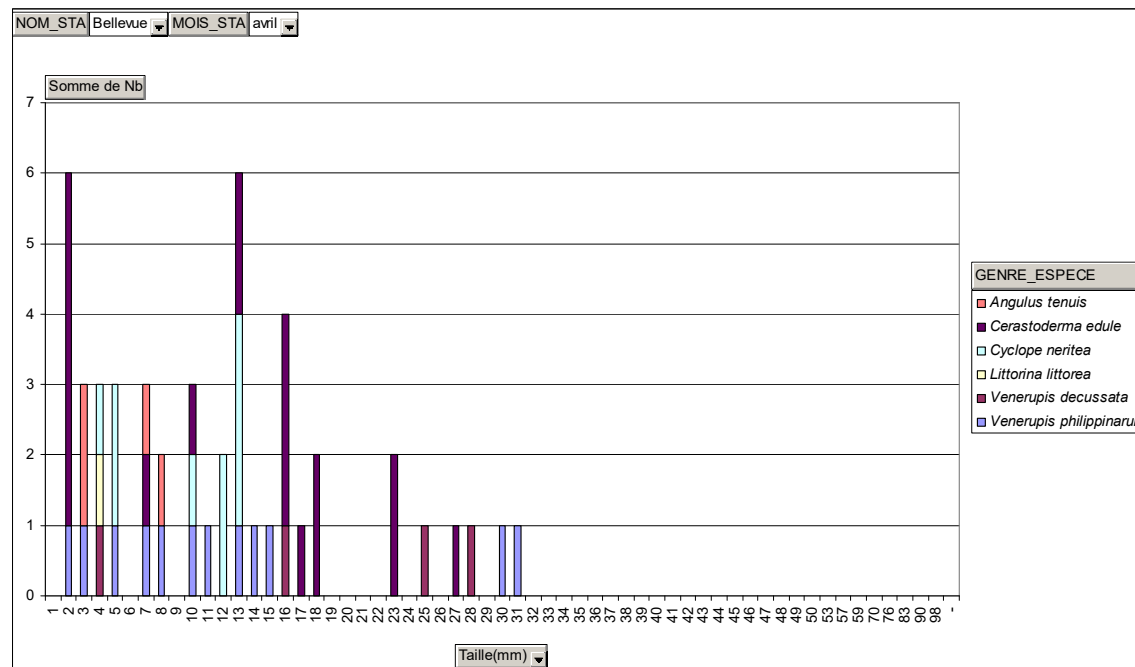
Richesse spécifique		11	10	11	10	12	24		
Abondance totale an m ²		336	22970	21610	5890	3290	11424	±	1995
Embranchement	Espèce	1	2	3	4	5	Total	%	
Annelida	<i>Glycera capitata</i>	1	0	0	0	0	1	0 %	
	<i>Nephtys cirrosa</i>	1	0	0	1	0	2	0 %	
	<i>Nephtys hombergii</i>	1	1	0	0	0	2	0 %	
	OLIGOCHAETA	0	0	0	0	1	1	0 %	
	<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>	0	0	0	0	1	1	0 %	
Arthropoda	<i>Bathyporeia pelagica</i>	0	0	0	0	1	1	0 %	
	<i>Bathyporeia pilosa</i>	2	0	0	3	3	8	0 %	
	<i>Bathyporeia sarsi</i>	0	0	1	4	7	12	0 %	
	<i>Carcinus maenas</i>	0	1	0	0	0	1	0 %	
	<i>Lekanesphaera monodi</i>	2	14	8	1	6	31	1 %	
	<i>Siphonoecetes (Siphonoecetes) sabatieri</i>	34	26	22	54	24	160	3 %	
Cnidaria	<i>Urothoe brevicornis</i>	0	0	1	1	2	4	0 %	
	<i>Aulactinia verrucosa</i>	0	1	0	0	0	1	0 %	
	<i>Cereus pedunculatus</i>	1	0	0	0	2	3	0 %	
Mollusca	<i>Angulus tenuis</i>	0	0	0	4	0	4	0 %	
	<i>Cerastoderma edule</i>	0	10	5	1	2	18	0 %	
	<i>Cyclope neritea</i>	2	3	4	0	0	9	0 %	
	<i>Littorina littorea</i>	0	0	0	1	0	1	0 %	
	<i>Peringia ulvae</i>	289	2233	2113	519	278	5432	95 %	
	<i>Venerupis decussata</i>	0	2	2	0	0	4	0 %	

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

	<i>Venerupis philippinarum</i>	2	6	2	0	2	12	0 %
Phoronida	<i>Phoronis psammophila</i>	1	0	0	0	0	1	0 %
Platyhelminthes	Platyhelminthes	0	0	1	0	0	1	0 %
Sipncula	SIPUNCULIDAE	0	0	2	0	0	2	0 %

4.2.2.2. Histogramme de taille des mollusques

L'histogramme de taille des mollusques hors l'espèce *Peringia ulvae* montre que les individus se répartissent pour moitié dans les petites tailles (moins de 10 mm) et pour une autre moitié dans des tailles jusqu'à 31 mm. Coques *Cerastoderma edule* et les deux espèces de palourdes *Venerupis decussata* et *Venerupis philippinarum* représente les individus les plus grands, bien que aucune palourde ne fasse la taille légale réglementaire de pêche 40 mm (**Figure 23**).



Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

Figure 23 : Histogramme de taille des mollusques pour les 5 réplicats.

4.2.2.3. Analyse statut écologique selon M-AMBI

Parmi les individus recensés, 4 % appartiennent au groupe écologique I des espèces sensibles, moins de 1 % au groupe II, 96 % au groupe III et aucun aux groupe IV et V des espèces opportunistes (**Figure 24**).

L'indice AMBI est de 2,76 avec 24 taxons retenus et une diversité de 0,41 traduisant la surabondance d'une espèce *Peringia ulvae*.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station et avec comme condition de référence une station de sables fins à moyens exposés (1, 3,5, 15) fournit une valeur de 0,65, suggérant un bon état écologique.

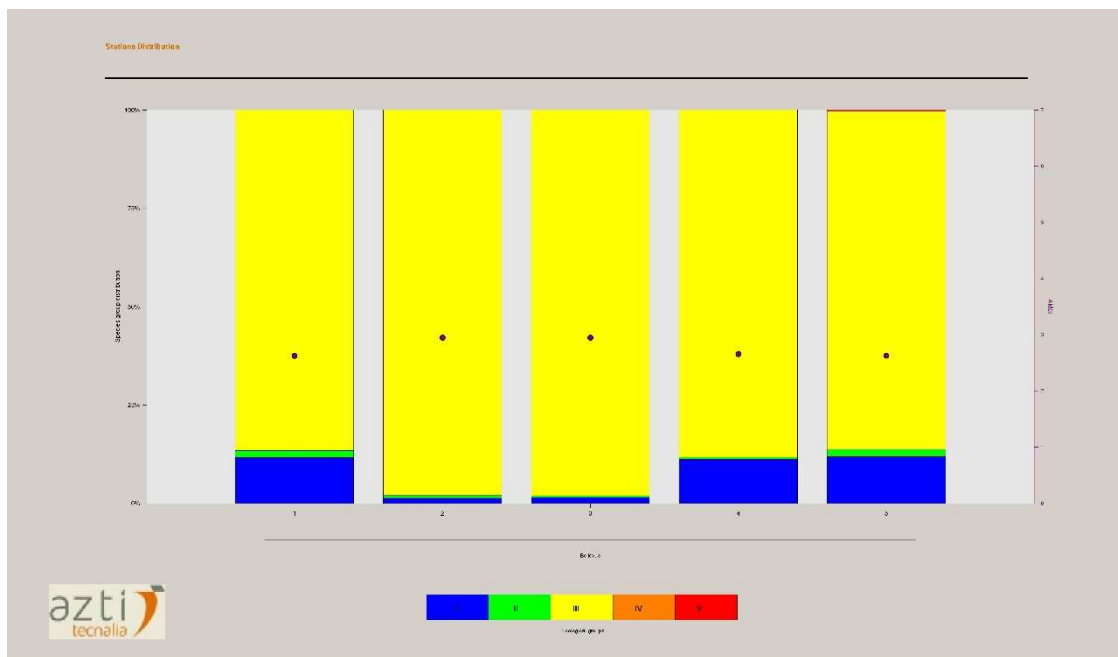


Figure 24 : Proportion des groupes écologiques dans les 5 réplicats.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station fournit une valeur de 0,65 mais il a été reconnu que d'utiliser un jeu de données trop restreint (une seule station) conduit à des surestimations du M-AMBI (Ruellet & Dauvin, 2008). Cette valeur ne devrait donc pas être retenue pour estimer le statut écologique de la station. Ce problème de surestimation est lié à l'utilisation d'une analyse factorielle dans le calcul de l'indice M-AMBI, analyse qui est sensible au nombre d'observations soumises à l'analyse (Muxika *et al.*, 2007, Borja *et al.*, 2008). De fait il est recommandé d'utiliser au moins 50 stations afin d'en stabiliser les résultats individuels (Borja & Mader, 2008).

La procédure générale sera donc d'utiliser le jeu de données 2012 sur l'ensemble du littoral atlantique pour estimer le statut écologique de cette station (Desroy, 2010 com. pers.).

Cependant, une procédure alternative peut être proposée à partir des résultats obtenus sur cette station. Un bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993, Palm, 2002) permet en effet, à partir des 126 combinaisons possibles issues de tous les tirages aléatoires avec remise de 5 réplicats parmi 5, de réaliser :

1) le calcul de l'indice M-AMBI sur ces 126 combinaisons en respectant la contrainte d'utiliser au moins 50 observations ;

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

- 2) d'estimer un intervalle de confiance autour de la valeur moyenne du M-AMBI à partir d'un tirage ultérieur de 1000 combinaisons et
- 3) de présenter un histogramme des valeurs obtenues.

En suivant cette procédure, la valeur moyenne de l'indice M-AMBI pour la station Bellevue en 2012 est de $0,52 \pm 0,01$ avec un intervalle de confiance à 95 % entre 0,51 et 0,53 (**Figure 25**). La dispersion des valeurs se fait sur deux classes de statut écologique, le statut écologique BON et le statut écologique MOYEN.

Un test de χ^2 sur la répartition des 1000 tirages aléatoires ne permet pas d'aller ni en deça ni en delà, sans écart significatif au seuil de 5 %, d'une répartition en 68 % en statut MOYEN et 32 % en statut BON. Il doit être conclu que le statut **MOYEN** est le plus probable.

Le statut écologique de la station Bellevue en 2012 peut être considéré comme **MOYEN** pour l'élément de qualité invertébrés benthiques.

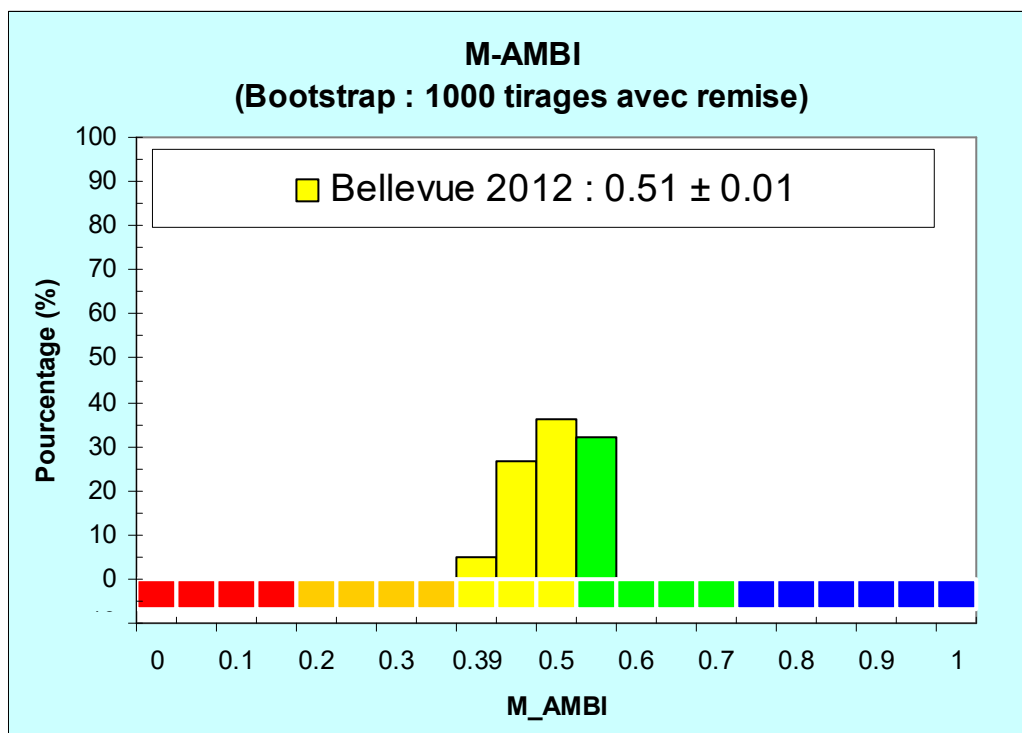


Figure 25 : Histogramme des valeurs du M-AMBI après 1000 tirages aléatoires.

Sur le plan biologique, un effet mécanique des effectifs disproportionnés de l'hydrobie *Peringia ulvae* (95 % des effectifs dans le groupe écologique III) sur le calcul de l'AMBI et du M-AMBI pourrait être suggéré avant d'émettre des hypothèses sur les pressions responsables du classement MOYEN de cette station.

4.2.3 - Les Doux : station intertidale

4.2.3.1. Richesse spécifique et abondance spécifique

La richesse spécifique totale obtenue en sommant les 5 réplicats est de 43 taxons qui se répartissent en trois embranchements dominants les annélides avec 41 % des espèces, suivis des mollusques avec 30 % et des arthropodes avec 23 % des espèces (**Figure 26**). Les mollusques sont les plus abondants avec en moyenne 79 % des abondances suivis des annélides qui représentent 19 % des abondances (**Figure 27**).

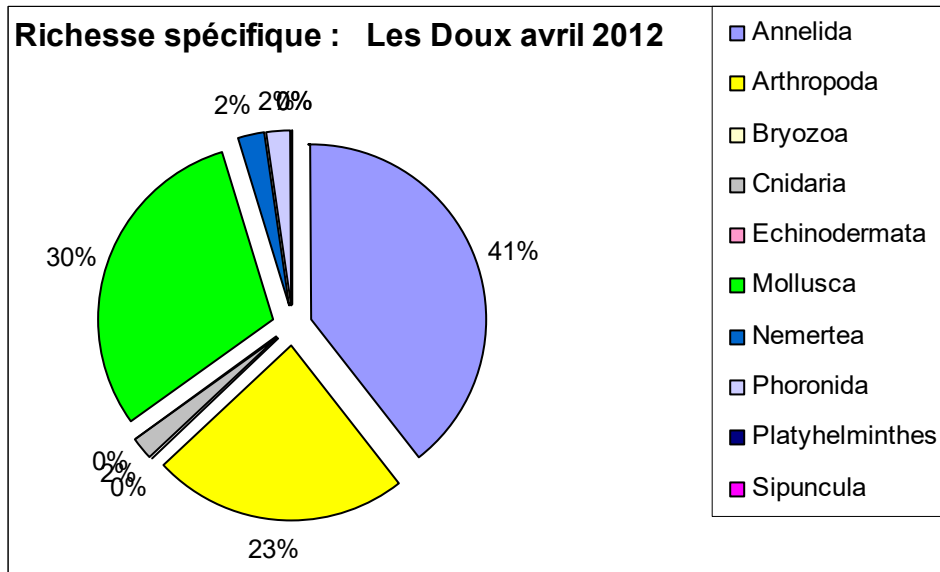


Figure 26 : Répartition des taxons par embranchement selon le nombre d'espèces.

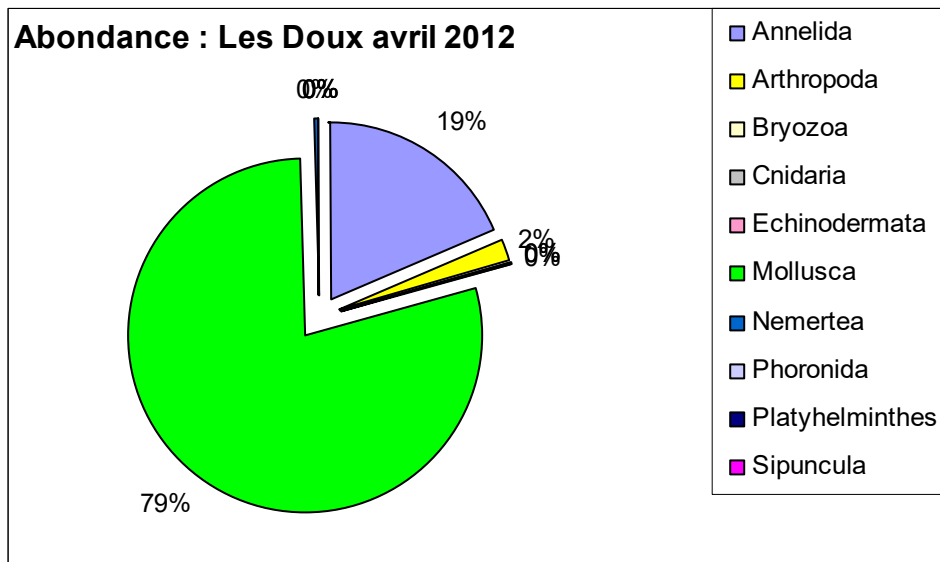


Figure 27 : Répartition des taxons par embranchement selon les abondances.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

L'analyse succincte du

Tableau 14 des richesses et abondances spécifiques par réplicat montre que :

- La richesse spécifique par réplicat varie entre 17 et 25 espèces ;
- Les abondances par réplicat varient d'environ 5900 à 8600 individus par m² pour une valeur moyenne avec son intervalle de confiance à 95 % de 7400 ± 300 individus par m² ;
- Une seule espèce représente 74 % des abondances, il s'agit du mollusque *Peringia ulvae* mais l'annélide du genre *Aphelochaeta* représente cependant 8 % des abondances ;
- Au moins 11 espèces sont rares avec un seul individu collecté sur la station parmi lesquels 5 annélides polychètes, 2 arthropodes, 3 mollusques et 1 Phoronidiens.

Tableau 14 : Richesse et abondances spécifiques de la station Les Doux en avril 2012.

Richesse spécifique		25	25	17	20	22	43		
Abondance totale an m ²		7230	8590	7420	8080	5920	7448	±	259
Embranchement	Espèce	1	2	3	4	5	Total	%	
	<i>Alitta succinea</i>	0	0	0	1	1	2	0 %	
	<i>Ampharete sp.</i>	0	0	0	0	1	1	0 %	
	<i>Aphelochaeta sp.</i>	16	25	113	110	20	284	8 %	
	<i>Boccardiella hamata</i>	1	1	0	2	6	10	0 %	
	<i>Capitella capitata</i>	0	3	3	5	0	11	0 %	
	<i>Chaetozone sp.</i>	54	0	0	0	0	54	1 %	
	<i>Euclymene sp.</i>	1	0	0	0	0	1	0 %	
	<i>Exogone (Exogone) naidina</i>	0	4	2	3	4	13	0 %	
	<i>Glycera tridactyla</i>	1	0	0	0	0	1	0 %	
	<i>Heteromastus filiformis</i>	2	0	0	3	0	5	0 %	
	<i>Malacoceros fuliginosus</i>	25	8	33	22	26	114	3 %	
	<i>Myriochele sp.</i>	2	0	0	0	1	3	0 %	
	<i>Nephtys hombergii</i>	1	1	0	0	0	2	0 %	
	<i>Notomastus latericeus</i>	8	2	1	0	0	11	0 %	
	PHYLLODOCIDAE	0	1	0	0	0	1	0 %	
	<i>Cossura pygodactylata</i>	0	1	0	0	0	1	0 %	
	<i>Streblospio sp.</i>	29	25	31	31	59	175	5 %	
	<i>Corophium arenarium</i>	1	1	2	2	1	7	0 %	
	<i>Corophium multisetosum</i>	0	0	0	0	2	2	0 %	

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

<i>Crangon crangon</i>	1	1	0	0	0	2	0 %
DOLICHOPODIDAE	1	0	0	0	0	1	0 %
<i>Erichthonius sp.</i>	0	1	0	0	0	1	0 %
<i>Idotea balthica</i>	8	10	14	6	5	43	1 %
<i>Liocarcinus sp.</i>	4	4	0	4	5	17	0 %
<i>Photis longicaudata</i>	0	0	1	0	2	3	0 %
<i>Siphonoecetes (Siphonoecetes) sabatieri</i>	0	0	0	2	0	2	0 %
<i>Sphaeroma serratum</i>	1	0	0	1	0	2	0 %
ANTHOZOA	1	4	0	0	1	6	0 %
<i>Abra alba</i>	0	9	0	0	0	9	0 %
<i>Abra tenuis</i>	6	4	9	10	24	53	1 %
<i>Cerastoderma edule</i>	0	0	0	0	1	1	0 %
<i>Cyclope neritea</i>	0	1	1	0	0	2	0 %
<i>Cylichna cylindracea</i>	0	0	1	0	0	1	0 %
<i>Hyala vitrea</i>	1	0	0	0	0	1	0 %
<i>Littorina littorea</i>	1	2	1	0	0	4	0 %
<i>Macoma balthica</i>	0	1	0	0	2	3	0 %
<i>Peringia ulvae</i>	549	723	517	571	404	2764	74 %
<i>Retusa obtusa</i>	0	0	0	3	3	6	0 %
<i>Scrobicularia plana</i>	1	14	9	23	12	59	2 %
<i>Venerupis decussata</i>	0	0	1	1	0	2	0 %
<i>Venerupis philippinarum</i>	7	11	3	7	10	38	1 %
NEMERTEA	1	2	0	0	2	5	0 %
<i>Phoronis sp.</i>	0	0	0	1	0	1	0 %

4.2.3.2. Histogramme de taille des mollusques

L'histogramme de taille des mollusques hors l'espèce *Peringia ulvae* montre que les individus sont en majorité de petites tailles (moins de 10 mm). Scrobiculaires *Scrobicularia plana* et les deux espèces de palourdes *Venerupis decussata* et *Venerupis philippinarum* représente les individus les plus grands jusqu'à 32 mm, bien qu'aucune palourde ne fasse la taille légale réglementaire de pêche de 40 mm (**Figure 28**).

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

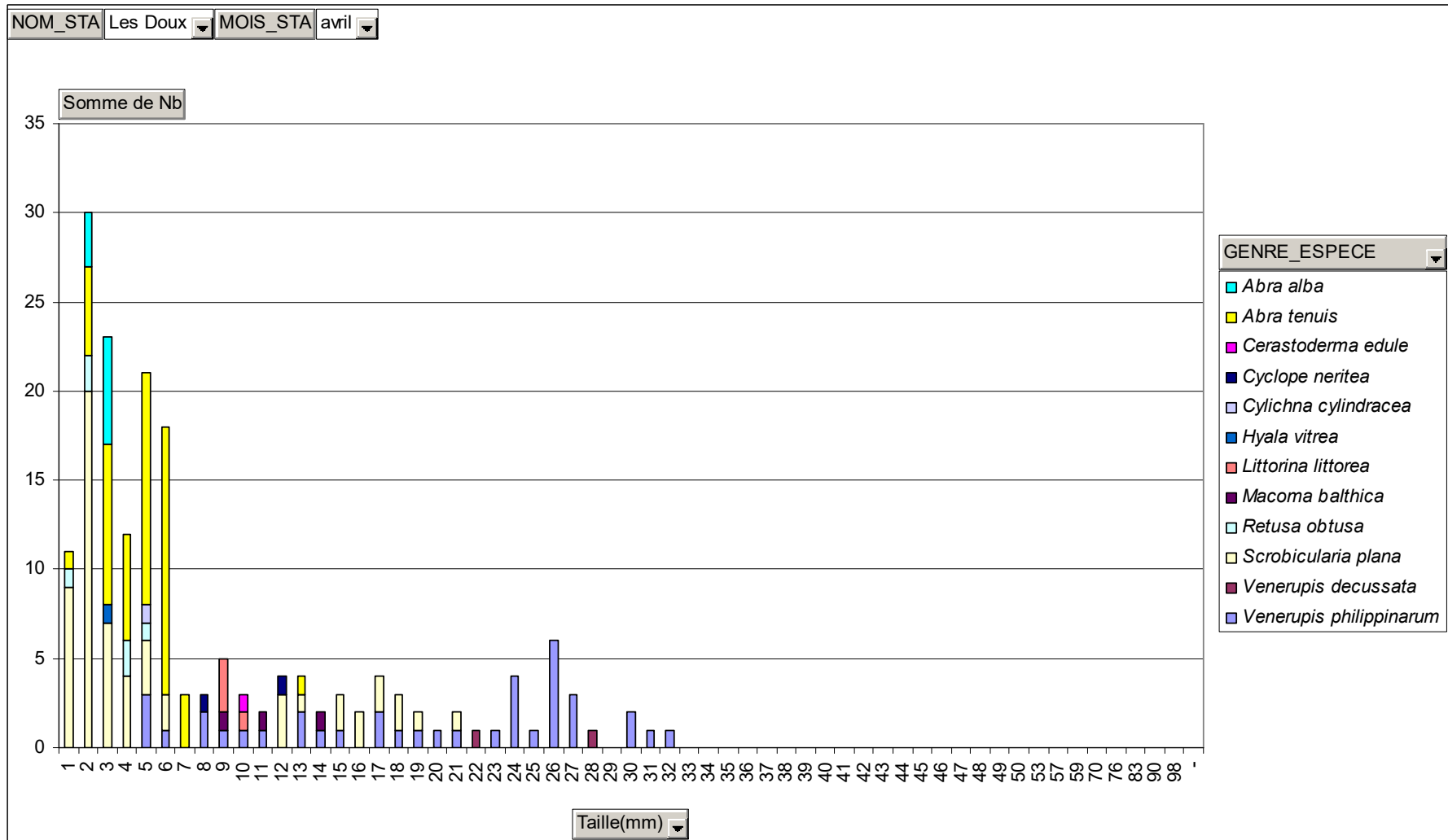


Figure 28 : Histogramme de taille des mollusques pour les 5 réplicats.

4.2.3.3. Analyse statut écologique selon M-AMBI

Parmi les individus recensés, moins de 1 % appartiennent au groupe écologique I des espèces sensibles, 2 % au groupe II, 84 % au groupe III, 9 % au groupe IV et 3 % au groupe V des espèces opportunistes de premier ordre (**Figure 29**).

L'indice AMBI est de 3,18 avec 43 taxons retenus et une diversité de 1,72 traduisant une répartition des effectifs perturbée par la surabondance d'une espèce *Peringia ulvae*.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station et avec comme condition de référence une station de sables fins plus ou moins envasés intertidaux (1, 4, 35) fournit une valeur de 0,68, suggérant un bon état écologique.

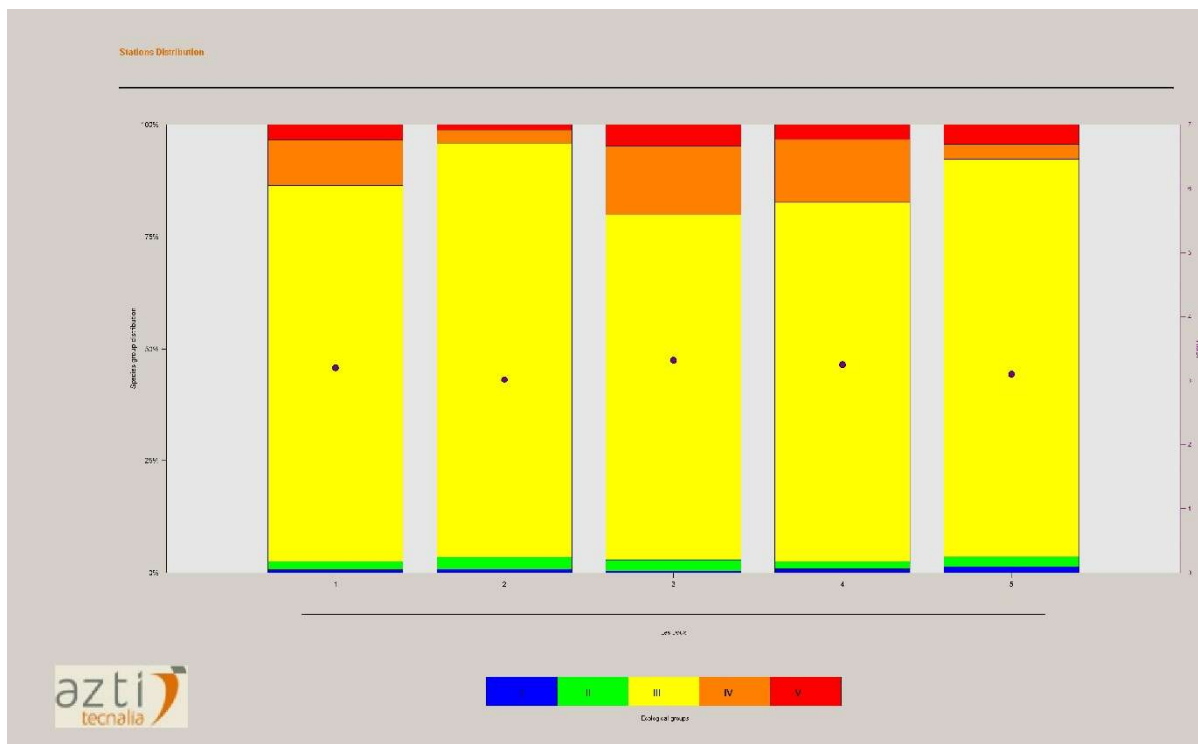


Figure 29 : Proportion des groupes écologiques dans les 5 réplicats.

Le calcul de l'indice M-AMBI réalisé sur le regroupement des 5 réplicats par station fournit une valeur de 0,68 mais il a été reconnu que d'utiliser un jeu de données trop restreint (une seule station) conduit à des surestimations du M-AMBI (Ruellet & Dauvin, 2008). Cette valeur ne devrait donc pas être retenue pour estimer le statut écologique de la station. Ce problème de surestimation est lié à l'utilisation d'une analyse factorielle dans le calcul de l'indice M-AMBI, analyse qui est sensible au nombre d'observations soumises à l'analyse (Muxika *et al.*, 2007, Borja *et al.*, 2008). De fait il est recommandé d'utiliser au moins 50 stations afin d'en stabiliser les résultats individuels (Borja & Mader, 2008).

La procédure générale sera donc d'utiliser le jeu de données 2012 sur l'ensemble du littoral atlantique pour estimer le statut écologique de cette station (Desroy, 2010 com. pers.).

Cependant, une procédure alternative peut être proposée à partir des résultats obtenus sur cette station. Un bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993, Palm, 2002) permet en effet, à partir des 126 combinaisons possibles issues de tous les tirages aléatoires avec remise de 5 réplicats parmi 5, de réaliser :

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

- 1) le calcul de l'indice M-AMBI sur ces 126 combinaisons en respectant la contrainte d'utiliser au moins 50 observations ;
- 2) d'estimer un intervalle de confiance autour de la valeur moyenne du M-AMBI à partir d'un tirage ultérieur de 1000 combinaisons et
- 3) de présenter un histogramme des valeurs obtenues.

En suivant cette procédure, la valeur moyenne de l'indice M-AMBI pour la station Les Doux en 2012 est de $0,55 \pm 0,01$ avec un intervalle de confiance à 95 % entre 0,54 et 0,56 (**Figure 30**). La dispersion des valeurs se fait sur deux classes de statut écologique, le statut écologique BON et le statut écologique MOYEN.

Un test de χ^2 sur la répartition des 1000 tirages aléatoires ne permet pas d'aller au delà, sans écart significatif à 5 %, d'une répartition en 17 % en statut MOYEN et 83 % en statut BON. Il doit être conclu que le statut **BON** est le plus probable.

Le statut écologique de la station Les Doux en 2012 peut être considéré comme **BON** pour l'élément de qualité « invertébrés benthiques ».

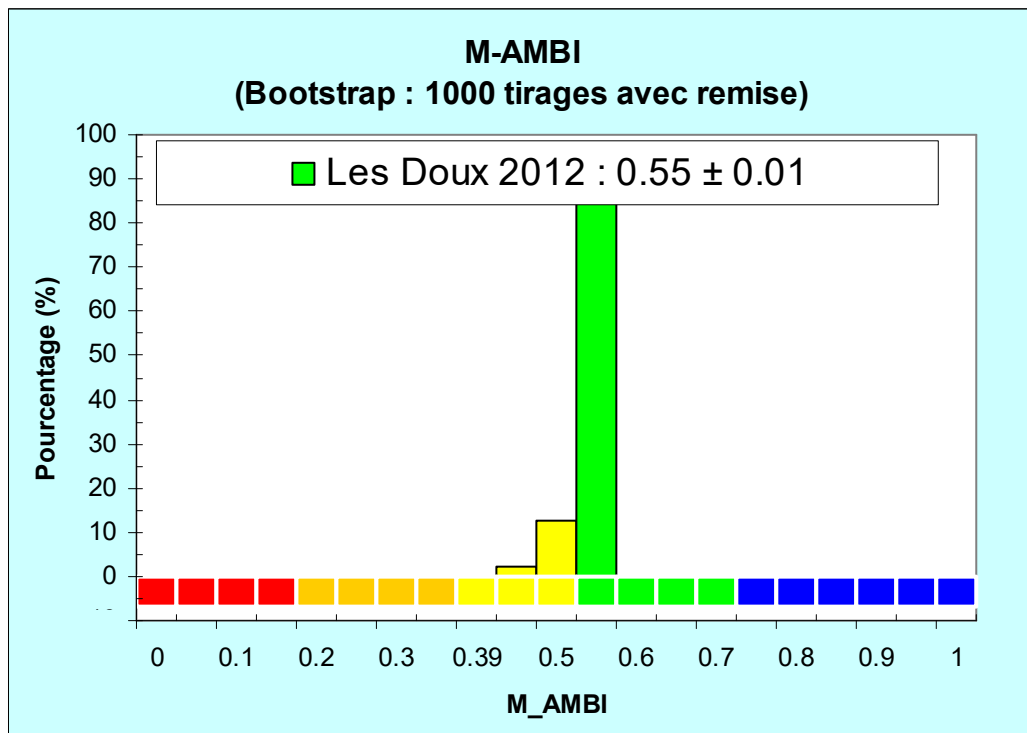


Figure 30 : Histogramme des valeurs du M-AMBI après 1000 tirages aléatoires.

5 - Bilan du temps passé aux prélèvements et analyses

La réalisation des analyses biologiques et sédimentaires sur les trois stations de Boyardville, Bellevue et Les Doux échantillonnées en avril 2012 a mobilisé (**Tableau 15**) :

- 9 personnes-jour pour les prélèvements en mer, soit respectivement 5, 2 et 2 personnes jour pour chacune des stations ;
- 3 personne-jour pour les analyses granulométriques et teneur en matière organique ;
- 20 personnes jour pour le lavage et tri faunistique ; celui-ci ayant demandé 6 personnes jour pour Bellevue et 7 personnes jour pour chacune des deux autres stations ;
- 31 personnes-jour pour les déterminations faunistiques avec globalement 10 personnes jour pour chaque station ;
- 3 personnes jour pour la saisie des données et leur vérification
- 3 personnes jour pour la rédaction.

Tableau 15 : Effort en personne-jour pour chacune des opérations afférentes à l'analyse sédimentaire et biologique de la station échantillonnée

Opération	Nombre (personne-jour)
Opération à la mer	9
Granulométrie + matière organique	3
Lavage + tri faunistique	20
Déterminations taxinomiques, validation & qualification taxinomique	31
Saisie données, validation fichier	3
Rédaction	3
Total	70

Au total la réalisation des prélèvements, leur analyse sédimentaire et faunistique et leur saisie avec validation a mobilisé un effort de 70 personnes jour. Cela correspond en équivalent temps plein de 20 jours ouvrés par mois à un total de 3,5 mois de travail à temps plein pour une seule personne.

6 - Bibliographie

- Anonymes, 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE : Invertébrés de substrats meubles Fiche 10. In *Contrôle de Surveillance Eaux Côtières*, (ed. Ifremer), pp. 6. Plouzané: Ifremer.
- Auby, I., Dalloyau, S., Hily, C., Oger-Jeanerret, 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). In *REBENT réseau benthique*, (ed. Ifremer), pp. 20. Arcachon: Ifremer.
- 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.
- Barillé-Boyer, A.-L., Barillé, L., Massé, H., Razet, D. & Héral, M., 2003. Correction for particulate organic matter as estimated by loss on ignition in estuarine ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **58**, 147-153.
- Bellan-Santini, D. & Dauvin, J.-C., 1988. Actualisation des données sur l'écologie, la biogéographie et la phylogénie des Ampeliscidae (crustacés - amphipodes) atlantiques après la révision des collections d'E. Chevreux. In *Aspects Récents de la Biologie des Crustacés*, vol. 8 (eds. Y. Le Gal and A. Van Wormhoudt), pp. 207-216. Concarneau: Ifremer.
- 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., Franco, J. & Muxika, I., 2004. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools. *Marine Pollution Bulletin*, **48**, 405-408.
- 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**(12), 1100-1114.
- Borja, A. & Mader, J., 2008. Instructions for the use of the AMBI index software (version 4.1). pp. 13. AZTI-Tecnalia (www.azti.es).
- Borja, A., Mader, J., Muxika, I., Rodríguez, J.G. & Bald, J., 2008. Using M-AMBI in assessing benthic quality within the Water Framework Directive: some remarks and recommendations. *Marine Pollution Bulletin*, **56**(7), 1377-1379.
- 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., Muxika, I. & Franco, J., 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, **46**, 835-845.
- Chambers, S.J. & Muir, A.I., 1997. *Polychaetes: British Chrysopetaloidea, Pisionoidea and Aphroditoidea*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Chassé, C. & Glémarec, M., 1976. *Atlas du littoral français. Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne. Cartes biosédimentaires*. Brest: C.N.E.X.O., I.C.A.
- Cojan, I. & Renard, M., 1999. *Sédimentologie*. Paris: Dunod.
- Dauvin, J.-C., Bachelet, G. & Bellan, G., 2006. Biodiversity and biogeographic relationships of the polychaete fauna in French Atlantic and Mediterranean waters. *Scientia Marina (Barcelona)*, **70S3**, 259-267.

- Dauvin, J.-C. & Bellan-Santini, D., 1988. Illustrated key to *Ampelisca* species from the North-Eastern Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **68**, 659-676.
- Dauvin, J.-C. & Bellan-Santini, D., 1996. *Ampeliscidae* (Amphipoda) from the Bay of Biscay. *Journal of Crustacean Biology*, **16**(1), 149-168.
- Dauvin, J.-C. & Bellan-Santini, D., 2002. Les crustacés Amphipodes Gammaridea benthiques des côtes françaises métropolitaines: bilan des connaissances. *Crustaceana*, **73**(3-4), 299-340.
- de Montaudouin, X. & Sauriau, P.-G., 2000. Contribution to a synopsis of marine species richness in the Pertuis Charentais Sea with new insights in soft-bottom macrofauna of the Marennes-Oléron Bay. *Cahiers de Biologie Marine*, **41**(2), 181-222.
- Degraer, S., Wittoeck, J., Appeltans, W., Cooreman, K., Deprez, T., Hillewaert, H., Hostens, K., Mees, J., Vanden Berghe, E. & Vincx, M., 2006. *L'atlas du macrobenthos de la partie belge de la mer du Nord*. Bruxelles: Politique scientifique fédérale.
- Efron, B. & Tibshirani, R.J., 1993. *An introduction to the bootstrap*. New York: Chapman and Hall.
- Emig, C.C., 1979. *British and other Phoronids*. London: Academic Press, The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-Water Sciences Association.
- Fauvel, P., 1923. *Faune de France. Polychètes errantes*. Paris: Librairie de la Faculté des Sciences.
- Fauvel, P., 1927. *Faune de France. Polychètes sédentaires*. Paris: Lechevalier, P.
- Frontier, S. & Pichod-Viale, D., 1991. *Ecosystèmes : structure, fonctionnement et évolution*. Paris: Masson.
- George, J.D. & Hartmann-Schröder, 1985. *Polychaetes: British Amphinomida, Spintherida & Eunicida*. London: The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-Water Sciences Association. Brill E.J. / Dr. Backhuys W.
- Gibbs, P.E., 2001. *Sipunculans*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Gibson, R., 1994. *Nemerteans*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Glémarec, M., 1968. Pélécytopodes marins de la côte atlantique française. pp. 21. Brest: Laboratoire de Zoologie.
- Graham, A., 1988. *Molluscs: Prosobranch and Pyramidellid Gastropods*. Leiden: The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-Water Sciences Association. Brill E.J. / Dr. Backhuys W.
- Grall, J. & Glémarec, M., 2003. L'indice d'évaluation de l'endofaune côtière I2EC. In *Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion*, (ed. C. Alzieu), pp. 51-86. Plouzané: Editions Ifremer.
- Hartmann-Schröder, G., 1971. *Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta*. Jena: Veb Gustav Fischer Verlag.
- Hayward, P.J. & Ryland, J.S., 1990a. *The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Volume 1. Introduction and Protozoans to Arthropods*. Oxford: Oxford University Press.
- Hayward, P.J. & Ryland, J.S., 1990b. *The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Volume 2. Molluscs to Chordates*. Oxford: Oxford University Press.
- Hily, C., 1976. Ecologie benthique des pertuis Charentais. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Bretagne Occidentale, Brest: pp. 236.
- Hily, C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la rade de Brest. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Université de Bretagne Occidentale, Brest: pp. Vol. 1 : 359 & Vol. 352 : 337.
- Houart, R., 2001. *A review of the recent Mediterranean and Northeastern Atlantic species of Muricidae*. Milan: 227.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

- Ingle, R.W., 1996. *Shallow-water crabs*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Ingle, R.W. & Christiansen, M.E., 2004. *Lobsters, mud shrimps and anomuran crabs*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Jones, A.M. & Baxter, J.M., 1987. *Molluscs: Caudofoveata, Solenogastres, Polyplacophora and Scaphopoda*. London: The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-water Sciences Association. Brill E.J. / Dr. Backhuys W.
- Manuel, R.L., 1988. *British Anthozoa (Coelenterata: Octocorallia & Hexacorallia)*. Leiden: The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-Water Sciences Association.
- Martin, J., 2011. *Les invertébrés marins du golfe de Gascogne à la Manche orientale*. Versailles: Éditions Quae.
- Mauchline, J., 1984. *Euphausiid, Stomatopod and Leptostracan Crustaceans*. London: The Linnean Society of London & The Estuarine and Brackish-Water Sciences Association. Brill E.J. / Dr. Backhuys W.
- Millar, R.H., 1969. *Catalogue of main marine fouling organisms (found on ships coming into European waters). Ascidians of European waters*. Paris: Organisation de Coopération et de Développement Economiques.
- Millar, R.H., 1970. *British Ascidians*. London and New York: Academic Press.
- Muxika, I., Borja, A. & Bald, J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, **55**, 16-29.
- Naylor, E., 1972. *British Marine Isopods*. London & New York: Linnean Society of London & Academic Press.
- Palm, R., 2002. Utilisation du bootstrap pour les problèmes statistiques liés à l'estimation des paramètres. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **6**(3), 143-153.
- Pleijel, F., 1988. Phyllodoce (Polychaeta, Phyllocidae) from Northern Europe. *Zoologica Scripta*, **17**(2), 141-153.
- Pleijel, F. & Dales, R.P., 1991. *Polychaetes: British Phyllocoideans, Typhloscolecoideans and Tomopteroideans*. Oegstgeest, The Netherlands: Universal Book Services / Dr. Backhuys, W.
- Poppe, G.T. & Goto, Y., 1991. *European seashells. Vol. I. (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda)*. Wiesbaden: Verlag Christa Hemmen.
- Poppe, G.T. & Goto, Y., 1993. *European seashells. Vol. II (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda)*. Wiesbaden: Christa Hemmen Verlag.
- Rouse, G.W. & Pleijel, F., 2001. *Polychaetes*. Oxford University Press.
- Ruellet, T. & Dauvin, J.-C., 2008. Comments on Muxika et al. "Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive" [*Marine Pollution Bulletin* 55 (2007) 16-29]. *Marine Pollution Bulletin*, **56**(6), 1234-1235.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423.
- Smaldon, G., Holthuis, L.B. & Fransen, C.H.J.M., 1993. *Coastal shrimps and prawns*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Southward, E.C. & Campbell, A.C., 2006. *Echinoderms*. Shrewsbury: Field Studies Council.
- Tebble, N., 1966. *British bivalve seashells. A handbook for identification*. London: Trustees of the British Museum (Natural History).
- Thompson, T.E., 1988. *Molluscs: benthic opisthobranchs (Mollusca: Gastropoda)*. Leiden: Linnean Society of London & Estuarine & Brackish-water Sciences Association. Brill E.J. / Dr. Backhuys W.

Contrat d'étude Ifremer 2012 5210890 : macrofaune invertébrée benthique

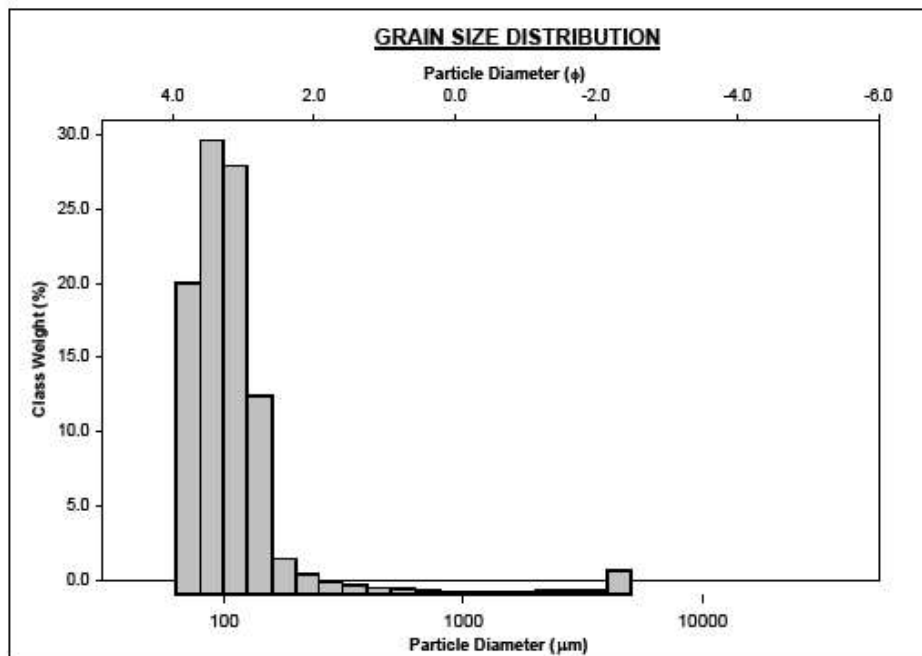
- Westheide, W., 1990. *Polychaetes: interstitial families*. Oegstgeest, The Netherlands: Universal Book Services / Dr. Backhuys, W.
- Wood, C., 2005. *Seasearch guide to sea anemones and corals of Britain and Ireland*. Ross-on-Wye: Marine Conservation Society.

7 - Annexes

7.1 - Analyses granulométriques 2012

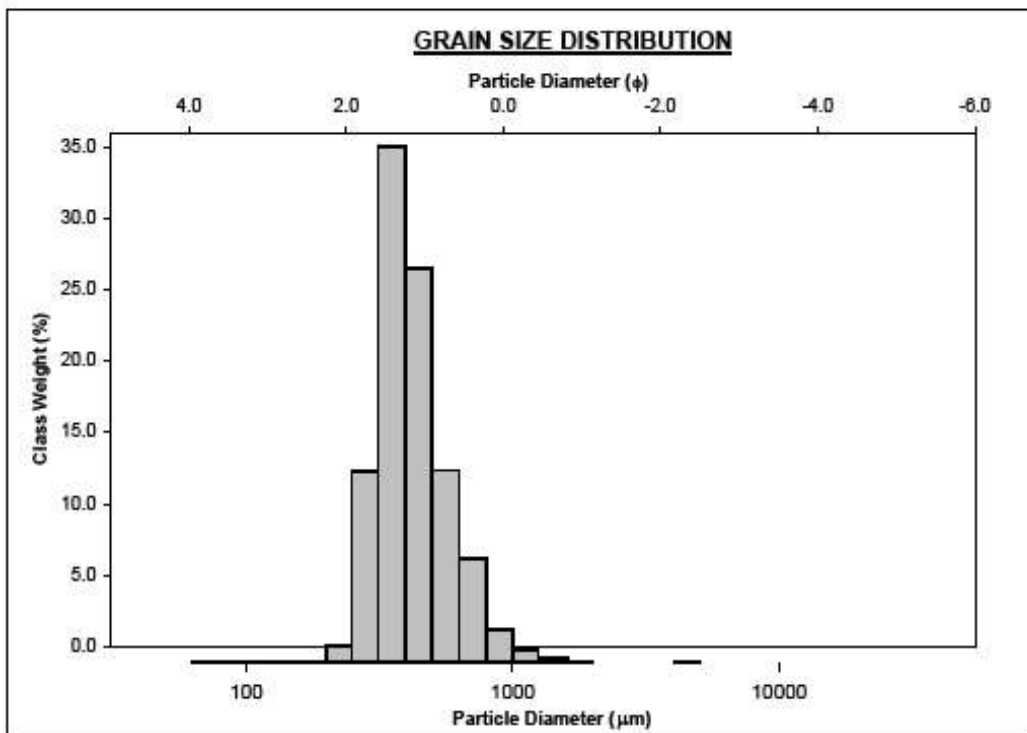
7.1.1 - Boyardville : station subtidale

SAMPLE STATISTICS						
SAMPLE IDENTITY: Boyardville avril 2012			ANALYST & DATE: L_de_AlmeidaFerrera_&_L_Lat			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sandy Mud			
SEDIMENT NAME: Slightly Fine Gravelly Very Fine Sandy Medium Silt						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	90.00	3.483	GRAVEL: 1.0%	COARSE SAND: 0.4%		
MODE 2:			SAND: 42.7%	MEDIUM SAND: 0.8%		
MODE 3:			MUD: 56.3%	FINE SAND: 7.6%		
D ₁₀ :	6.395	2.999		V FINE SAND: 33.7%		
MEDIAN or D ₅₀ :	45.93	4.444	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 9.4%		
D ₉₀ :	125.1	7.289	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 9.4%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	19.55	2.430	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 9.4%		
(D ₅₀ - D ₁₀):	118.7	4.289	FINE GRAVEL: 0.7%	FINE SILT: 9.4%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	7.058	1.828	V FINE GRAVEL: 0.3%	V FINE SILT: 9.4%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	81.14	2.819	V COARSE SAND: 0.2%	CLAY: 9.4%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	108.8	25.19	5.311	35.32	4.823	Very Coarse Silt
SORTING (σ):	405.4	4.047	2.017	3.189	1.673	Poorly Sorted
SKEWNESS ($S\bar{k}$):	9.701	0.720	-0.720	-0.302	0.302	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	99.95	2.774	2.774	0.718	0.718	Platykurtic



7.1.2 - Bellevue : station intertidale

SAMPLE STATISTICS						
SAMPLE IDENTITY: Bellevue avril 2012			ANALYST & DATE: L_de_AlmeidaFerrera_ & L_Lat			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand			
SEDIMENT NAME: Slightly Fine Gravelly Medium Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	357.5	1.494	GRAVEL: 0.0%		COARSE SAND: 22.3%	
MODE 2:			SAND: 98.7%		MEDIUM SAND: 74.1%	
MODE 3:			MUD: 1.2%		FINE SAND: 1.1%	
D ₁₀ :	286.6	0.640	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V FINE SAND: 0.0%	
MEDIAN or D ₅₀ :	397.3	1.332	COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.2%	
D ₉₀ :	641.6	1.803	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.2%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.239	2.816	FINE GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.2%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	355.0	1.163	V FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.2%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.487	1.543	V COARSE SAND: 1.1%		V FINE SILT: 0.2%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	157.1	0.553			CLAY: 0.2%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	440.7	399.8	1.323	415.8	1.266	Medium Sand
SORTING (σ):	173.8	1.714	0.777	1.361	0.445	Well Sorted
SKEWNESS (S_k):	3.541	-4.615	4.615	0.223	-0.223	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	53.24	36.06	36.06	1.133	1.133	Leptokurtic



7.1.3 - Les Doux : station intertidale

SAMPLE STATISTICS						
SAMPLE IDENTITY: Les Doux avril 2012 IMF			ANALYST & DATE: M_Sauriau_F_Sauriau, 6/18/20			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sandy Mud			
SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Very Fine Sandy Coarse Silt						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	90.00	3.483	GRAVEL: 1.5%	COARSE SAND: 1.8%		
MODE 2:			SAND: 48.7%	MEDIUM SAND: 5.5%		
MODE 3:			MUD: 49.7%	FINE SAND: 4.5%		
D ₁₀ :	6.826	2.112		V FINE SAND: 38.2%		
MEDIAN or D ₅₀ :	63.25	3.983	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 8.3%		
D ₉₀ :	231.3	7.195	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 8.3%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	33.88	3.406	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 8.3%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	224.4	5.082	FINE GRAVEL: 0.6%	FINE SILT: 8.3%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	5.990	1.759	V FINE GRAVEL: 1.0%	V FINE SILT: 8.3%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	78.70	2.583	V COARSE SAND: 0.8%	CLAY: 8.3%		
	METHOD OF MOMENTS		FOLK & WARD METHOD			
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	153.5	32.62	4.938	41.30	4.598	Very Coarse Silt
SORTING (σ):	485.5	4.710	2.236	3.669	1.876	Poorly Sorted
SKEWNESS (S_k):	7.044	0.626	-0.626	-0.319	0.319	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	57.07	2.583	2.583	1.018	1.018	Mesokurtic

