

Suivi stationnel des herbiers de zostères
(*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de
l'indicateur « angiospermes »
de la Masse d'eau côtière FRFC06
– Arcachon amont -
- Bassin Hydrographique Adour-Garonne -
2006-2013



©Isabelle AUBY – Ifremer - LER/AR



Suivi stationnel des herbiers de zostères
(*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de l'indicateur
« angiospermes » de la Masse d'eau côtière FRFC06
– Arcachon amont -
- Bassin Hydrographique Adour-Garonne -
2006-2013

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST/LER/AR/14-009. Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>	Date de publication : juillet 2014 Nombre de pages : 56 Bibliographie: oui Illustration(s): oui Langue du rapport : Français
Titre et sous-titre du rapport : Suivi stationnel des herbiers de zostères (<i>Zostera noltei</i> et <i>Zostera marina</i>) et calcul de l'indicateur « angiospermes» de la Masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - - Bassin Hydrographique Adour-Garonne - 2006-2013	
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur(s) principal(aux) : Isabelle Auby Gilles Trut Loïc Rigouin Hélène Oger-Jeanneret Florence d'Amico Laure Gouriou Florence Trut Myriam Rumèbe Stéphane Bujan Benoit Gouilleux	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER - LER/Arcachon CNRS - UMR EPOC 5805
	Organisme / Direction / Service, laboratoire Station Ifremer Arcachon
Cadre de la recherche : PJ0504 Surveillance des peuplements benthiques A050404 REBENT Gascogne	

sommaire

INTRODUCTION	1
1. PROCOLES	3
1.1. Stations	3
1.2. Dates de prélèvement	4
1.3. Prélèvements et analyses du sédiment	4
1.4. Prélèvements et analyses des macroalgues	5
1.5. Prélèvements et analyses des zostères	5
2. RESULTATS	9
2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères	9
2.2. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Estey Tort int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	14
2.2.1. Le sédiment	15
2.2.2. Les macroalgues.....	15
2.2.3. Les zostères.....	16
2.3. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Afrique int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	19
2.3.1. Le sédiment	20
2.3.2. Les macroalgues.....	20
2.3.3. Les zostères.....	22
2.4. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Hautebelle int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	24
2.4.1. Le sédiment	24
2.4.2. Les macroalgues.....	24
2.4.3. Les zostères.....	25
2.5. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de <i>Zostera marina</i>	27
2.5.1. Le sédiment	27
2.5.2. Les macroalgues.....	27
2.5.3. Les épiphytes	27
2.5.4. Les zostères.....	28
2.5.5. Indice de maladie - Wasting Index (WI).....	31
2.6. Calcul de l'indicateur « angiospermes » sur la masse d'eau Arcachon amont	35
2.6.1. Composition taxinomique.....	35
2.6.2. Extension	36
2.6.3. Densité.....	37
2.6.4. L'indicateur angiosperme.....	39
CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE	43
ANNEXE 1 POSITION DES GRILLES DANS LES TROIS STATIONS D'HERBIER DE <i>ZOSTERA NOLTEI</i> EN 2013	45
ANNEXE 2 DONNÉES CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES	47

Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE établit un nouveau cadre 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'eau souterraines et de surface, ces dernières incluant les eaux côtières (MEC) et les eaux de transition (MET).

Pour évaluer l'état écologique d'une Masse d'Eau (ME), la DCE utilise la notion d'écart par rapport à une situation de référence. Les valeurs de référence, que l'on peut considérer comme niveau étalon du "très bon état écologique", ont été établies par type de ME et par élément de qualité biologique (phytoplancton, macrophytes (macroalgues et phanérogames marines), faune macro-invertébrée benthique et poissons (exclusivement dans les MET)).

Un réseau de sites de référence, par type de masse d'eau et par élément de qualité a été constitué. Le Bassin d'Arcachon (Masse d'eau "Arcachon amont") a été choisi comme site de référence pour l'herbier de zostère naine (*Zostera noltei*), l'une des phanérogames retenue comme élément de qualité. En effet, dans le Bassin, cette espèce colonise la moitié de la zone intertidale constituant le plus grand herbier d'Europe de zostères naines (Plus *et al.*, 2010). Pour cette raison, le suivi stationnel des zostères naines a débuté en 2006, dans le cadre du réseau de référence (Auby *et al.*, 2008). Il faut toutefois signaler que cette notion de « site de référence » n'a pas été conservée par la suite pour cet élément de qualité, du fait qu'il est apparu que les conditions de référence pour les herbiers sont spécifiques à chaque masse d'eau, en fonction de ses caractéristiques morpho-dynamiques et physico-chimiques.

A partir de 2007, a débuté le suivi stationnel des herbiers de ***Zostera noltei*** des autres sites du bassin Adour-Garonne. Dans ce bassin, qui s'étend des Pertuis charentais à l'estuaire de la Bidassoa, plusieurs sites de surveillance pour les herbiers de zostères naines ont été retenus et échantillonnés au cours des automnes 2007, 2008 et 2009, sur la base d'un premier protocole établi sur les bases de celui du REBENT Bretagne (Hily *et al.*, 2007).

Par ailleurs, les herbiers de ***Zostera marina*** du Bassin d'Arcachon (masse d'Eau « Arcachon amont » également), seul site du bassin sur lequel cette espèce est présente en abondance, ont également été échantillonnés à la fin des étés 2007, 2008 et 2009 (Auby *et al.*, 2011).

En 2010, les experts français ont défini les métriques à prendre en compte et les règles de calcul de l'indicateur de l'élément de qualité « angiospermes » (Auby *et al.*, 2010). Cet indicateur prend en compte trois métriques : évolution du nombre d'espèces de zostères, évolution des densités et évolution des surfaces d'herbiers.

En parallèle, un nouveau protocole de suivi stationnel des herbiers de zostères a été établi au cours de l'année 2011 (Auby *et al.*, 2012). Il visait à prendre en compte les exigences liées à l'acquisition des données correspondant aux métriques de l'indicateur en s'appuyant sur les conclusions des résultats des premières années de suivi. Notamment, parmi les paramètres acquis non inclus dans le calcul de

l'indicateur, seuls ont été conservés ceux qui apportent une information utile à l'interprétation des résultats.

Par exemple, le paramètre « macrofaune herbivore » a été abandonné pour les deux types d'herbiers.

Pour *Zostera noltei*, il est apparu que le protocole auparavant utilisé, quoique assez détaillé, ne permettait pas de caractériser correctement l'état de santé de ces herbiers, notamment du fait de l'hétérogénéité à méso échelle observée à certaines stations. Pour cette raison, la surface des stations a été augmentée et la mesure des densités et des biomasses a été remplacée par un indicateur de densité plus « intégrateur », le taux de recouvrement.

Ce nouveau protocole a été appliqué en 2011 (sur les stations Estey Tort int HZN et Courbey_sub_ZM) et à partir de 2012 sur l'ensemble des stations. Ce protocole a ensuite fait l'objet de quelques compléments méthodologiques en 2014 (Auby *et al.*, 2014)

Ce rapport rend compte des résultats obtenus dans les herbiers de la masse d'eau « Arcachon amont » sur l'ensemble de la période d'étude et indique le classement de la masse d'eau « Arcachon amont » vis à vis de l'indicateur de qualité biologique « angiospermes ».

1. Protocoles

1.1. Stations

Du fait de leur grande étendue dans la masse d'eau « Arcachon amont », et des différences physico chimiques (température, salinité, nutriments) s'appliquant sur les herbiers selon leur localisation, le suivi stationnel des herbiers de *Zostera noltei* a dans un premier temps été réalisé sur deux sites, l'un sous influence océanique (Afrique int HZN), et l'autre, sous influence plus continentale (Estey Tort int HZN) (Figure 1).

Pour les raisons invoquées au début des paragraphes dédiés aux résultats de chaque station, ces deux stations ont été déplacées au cours du temps : entre 2006 et 2007 pour la station Estey Tort int HZN et entre 2011 et 2012 pour la station Afrique int HZN. Par ailleurs, en 2012, il a été décidé de rajouter un site de suivi, également situé dans la zone orientale de la Baie, mais dans sa partie nord (Hautebelle int HZN).

La position des grilles d'observation dans ces trois herbiers est présentée dans l'annexe 1.

Le suivi stationnel de *Zostera marina* a été réalisé en plongée dans le chenal du Courbey (Courbey_sub_ZM), qui reste, avec le chenal de l'Ille, l'un des sites dans lequel les herbiers subtidaux sont les plus développés. La station est constituée de 3 points subtidaux distants d'une centaine de mètres.

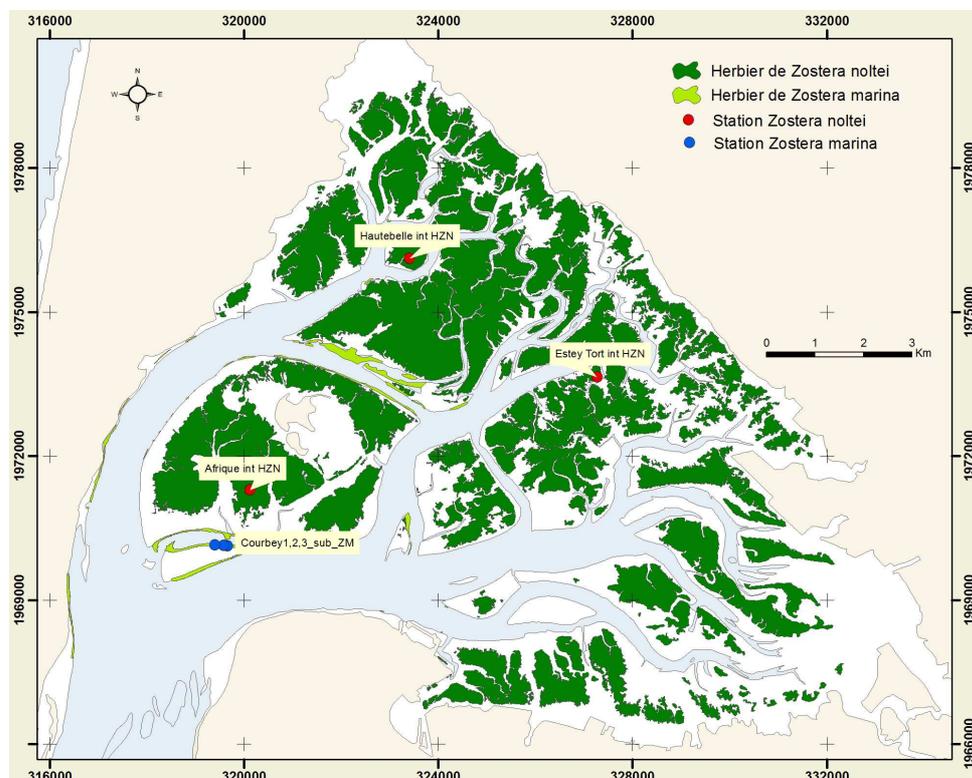


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements des deux espèces de zostères dans le Bassin d'Arcachon (Carte des herbiers d'après Plus *et al*, 2010).

1.2. Dates de prélèvement

Les dates d'échantillonnage des années précédentes (2006 à 2012) sont consignées dans les rapports précédents téléchargeables sur la base bibliographique ARCHIMER.

En 2013, l'ensemble des stations a fait l'objet d'observations et de prélèvements selon le nouveau protocole, aux dates suivantes.

Masse d'eau	Station	Echantillonnage
FRFC06	Estey Tort int HZN	9 août 2013
FRFC06	Afrique int HZN	8 août 2013
FRFC06	Hautebelle int HZN	7 août 2013
FRFC06	Courbey1_sub_ZM Courbey2_sub_ZM Courbey3_sub_ZM	3 septembre 2013

1.3. Prélèvements et analyses du sédiment

NB : Pour ces paramètres, le protocole n'a pas évolué au cours du temps, sauf en ce qui concerne le nombre de tamis utilisés pour les mesures de granulométrie : 5 en 2006, 2007, 2011, 2012 et 2013 ; 17 en 2008 et 2009. D'après P.G. Sauriau (comm. pers.), l'utilisation d'un nombre réduit de tamis biaise quelque peu la médiane, ce biais n'étant pas constant selon les types de sédiments analysés. Pour cette raison, dans l'avenir, les échantillons de sédiment seront systématiquement traités sur les 17 tamis AFNOR, tel que réalisé en 2008 et 2009.

Le sédiment des différentes stations a été échantillonné et a fait l'objet de deux types d'analyses (granulométrie et teneur en matière organique), selon les protocoles rapportés ci-dessous.

Granulométrie : *Zostera noltei* et *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier PVC
Dimensions échantillon	9 cm diamètre - 10 cm de profondeur
Nombre d'échantillons	1 échantillon constitué de 3 échantillons mélangés
Analyse	Passage du sédiment sur une colonne humide de 5 tamis de maille décroissante (1000 µm, 500 µm, 250 µm, 125 µm et 63 µm – Récupération de la fraction <63µm. Séchage – Pesée de chaque fraction – Teneur en pélites ¹ - Paramètres de distribution obtenus par méthode numérique selon procédure GRADISTAT (Blott & Pye, 2001)

¹ Fraction du sédiment inférieure à 63 µm

Matière organique : *Zostera noltei* et *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier PVC
Dimensions échantillon	3 cm diamètre - 5 cm de profondeur
Nombre d'échantillons	9 échantillons
Analyse	Perte au feu (4h – 450°C)

1.4. Prélèvements et analyses des macroalgues

Les macroalgues ont été échantillonnées dans les quatre stations d'herbier de zostères, selon les protocoles suivants.

Macroalgues : *Zostera noltei*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel dans un cadre
Dimensions échantillon	0,50 m x 0,50 m = 0,25 m ²
Nombre d'échantillons	30 au maximum
Analyse	Séparation par phylum : Chlorophyta (algues vertes), Rhodophyta (algues rouges) et Ochrophyta (algues brunes). Biomasse (poids sec : 48 h – 60°C)

Macroalgues : *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier métallique
Dimensions échantillon	2 x (0,20 m x 0,20 m) = 0,08 m ²
Nombre d'échantillons	6 échantillons (2 par point)
Analyse	Séparation par phylum : Chlorophyta (algues vertes), Rhodophyta (algues rouges) et Ochrophyta (algues brunes). Biomasse (poids sec PS : 48 h – 60°C)

1.5. Prélèvements et analyses des zostères

NB : Les protocoles d'acquisition de données pour Zostera noltei s'est modifié à partir de 2011. Le tableau suivant qualifie donc le protocole utilisé en 2011, 2012 et 2013.

Les zostères naines des stations Estey Tort int HZN, Afrique int HZN et Hautebelle int HZN et les zostères marines des points Courbey (1,2,3)_sub_ZM ont été échantillonnées selon les protocoles suivants.

Estimation du recouvrement : *Zostera noltei*

Méthode	
Mode d'acquisition de données	Observation directe sur le terrain et photographie verticale d'un cadre posé sur l'herbier
Dimensions échantillon	0,50 m x 0,50 m = 0,25 m ²
Nombre d'échantillons	30 échantillons
Analyse	Au laboratoire, calcul du taux de recouvrement sur chaque quadrat avec le logiciel Image J. Affectation d'une valeur médiane de recouvrement à chaque quadrat en fonction des équivalences suivantes.

Classe de taux de recouvrement (%)	0	1-25	26-50	51-75	76-99	100
Valeur	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1

A partir de ces mesures, plusieurs paramètres peuvent être calculés :

- **Pourcentage de surface végétalisée sur la station** = nombre de quadrats avec un recouvrement supérieur à 0 x 100 / 30
- **Recouvrement moyen sur la surface végétalisée** = moyenne des recouvrements sur les quadrats présentant un recouvrement supérieur à 0.
- **Recouvrement moyen sur la station** : moyenne des recouvrements sur tous les quadrats.

Densités, biomasses, biométrie : *Zostera marina*

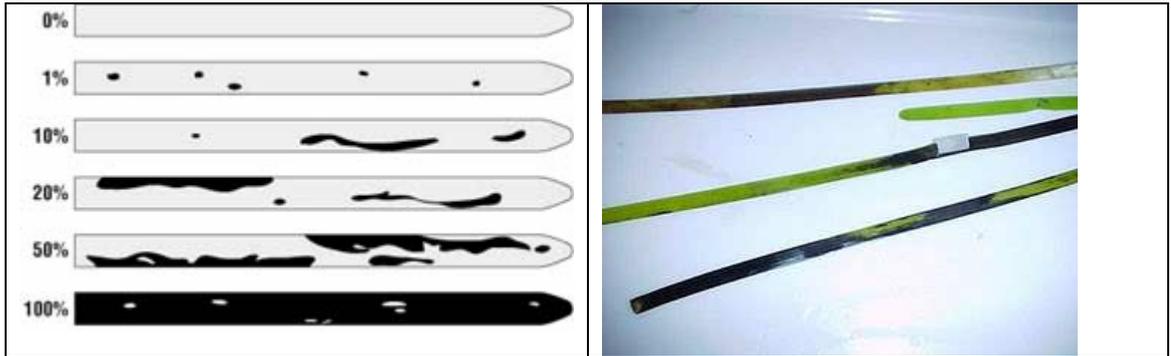
Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier métallique
Dimensions échantillon	2 x (0,20 m x 0,20 m) = 0,08 m ²
Nombre d'échantillons	6 échantillons (2 par point) + 3 échantillons (1 par point) pour dénombrement des pieds in situ
Analyse	Dénombrement des pieds Mesures des feuilles Biomasse des différents organes (poids sec PS: 48 h – 60°C)

Epiphytes sur les feuilles de zostères : *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel
Dimensions échantillon	10 pieds
Nombre d'échantillons	3 échantillons (1 par point pour <i>Zostera marina</i>)
Analyse	Biomasse feuilles zostères et épiphytes (poids sec PS: 48 h – 60°C / poids sec libre de cendres AFDW :2 h – 450°C)

Indice de maladie : *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel
Dimensions échantillon	10 pieds
Nombre d'échantillons	3 échantillons (1 par point)
Analyse	Biométrie et estimation du pourcentage en surface de trace de maladie sur l'ensemble des feuilles de chaque pied.



Mode de calcul de l'indice de maladie sur les 30 pieds

- Wasting Index (**WI %**) : moyenne du pourcentage maximal de trace de maladie par pied (Burdick *et al.*, 1993).
- Wasting Index moyen (**WIM %**): moyenne du pourcentage de trace de maladie sur l'ensemble des feuilles des 30 pieds (Christian Hily, UBO, méthodologie adoptée dans le suivi REBENT Bretagne).
- Wasting Index feuille X : (**WIFx%**): moyenne du pourcentage de trace de maladie sur l'ensemble des feuilles d'un rang donné (x) des 30 pieds (Hily *et al.*, 2002).

2. Résultats

2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères

Plusieurs espèces d'oiseaux herbivores présentes sur le Bassin d'Arcachon toute ou une partie de l'année consomment des zostères.

Les trois espèces pour lesquelles les zostères constituent, dans le bassin, une source importante de nourriture sont les bernaches cravant à ventre sombre (*Branta bernicla bernicla*), les cygnes tuberculés (*Cygnus olor*) et les canards siffleurs (*Anas penelope*).

D'après les calculs réalisés dans le cadre de l'étude récente sur la régression des herbiers de zostères du Bassin (Auby *et al.*, 2011) à partir des données 2000-2010, il apparaît que la consommation de zostères naines (*Zostera noltei*) par les canards siffleurs et les cygnes est très faible par rapport à la biomasse foliaire disponible. Seules les bernaches, parce qu'elles sont présentes en grand nombre à une période de l'année où les zostères sont peu développées, en consomment une part significative.

Ces trois espèces d'oiseaux herbivores fréquentent préférentiellement la partie orientale du Bassin (où se situent les stations Estey Tort int HZN et Hautebelle int HZN) et n'ont, semble-t-il, jamais été observées en quantité significative dans la zone où se trouve l'autre station d'herbier de zostères naines (station Afrique int HZN).

- Les **canards siffleurs** sont dénombrés chaque hiver dans le cadre du Réseau « Oiseaux d'eau – Zones humides ». Leur abondance est relativement limitée sur le Bassin d'Arcachon (environ 500 individus pendant les derniers hivers) et ne présente pas d'évolution récente particulière².

- Les **cygnes tuberculés** sont présents toute l'année sur le Bassin d'Arcachon, en des proportions (et avec des répartitions) très variables selon la période de l'année. On peut discriminer trois périodes distinctes mais qui se chevauchent et correspondent à des phases biologiques de l'espèce : la période de reproduction, la période de mue et l'hivernage.

Jusqu'à une période récente, les seuls résultats disponibles sur l'abondance de cette espèce résultaient des comptages effectués chaque année à la mi-janvier (période d'hivernage) (Réseau LPO - Wetlands international).

Ces résultats mettaient en évidence une forte augmentation des abondances sur le Bassin depuis les années 1980, avec de très fortes populations hivernales en janvier 2006 (2 230), suivies d'un déclin en 2007 (350 individus) et 2008 (62 cygnes dénombrés). En janvier 2013, 118 cygnes étaient présents sur le Bassin².

² Les rapports correspondants à ces dénombrements, rédigés par la LPO Aquitaine, sont téléchargeables à l'adresse suivante :

http://www.faune-aquitaine.org/index.php?m_id=1189&item=18

Depuis une quinzaine d'années, le Bassin d'Arcachon est devenu une zone de mue importante pour le cygne tuberculé. Des oiseaux d'origine inconnue viennent se joindre aux locaux aux alentours du 10 mai. Les observations les plus importantes se font en juillet et début août. À cette époque, les groupes sont très dispersés sur la zone intertidale et non plus sur les seuls domaines endigués (Péré *et al.*, 2010). Depuis l'été 2008, la Fédération des Chasseurs de la Gironde a entrepris un suivi mensuel de ces populations, destiné à estimer l'abondance de cette espèce dans le Bassin pendant la période de mue. Entre juillet et novembre **2008**, les effectifs de cygnes ont varié entre 1200 et 2000 individus, les oiseaux étant assez largement répartis sur les zones intertidales de l'est du Bassin (Péré *et al.*, 2010). En **2009**, à la même époque de l'année, les effectifs étaient à peu près similaires (variant de 1400 à 1800) (Péré *et al.*, 2010). Par ailleurs, ces auteurs indiquent que ces oiseaux se nourrissent non seulement de zostères, mais également d'algues vertes abondantes notamment dans le quart sud est de la Baie. En **2010** et **2011**, les effectifs en période de mue ont varié respectivement entre 1200-1500 et 1100-1700 individus. Entre juin et octobre **2012**, les cygnes ont été un peu moins nombreux sur le Bassin, avec des effectifs variant entre 700 et 1200 individus (Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde, comm. pers.). En **2013**, les dénombrements n'ont été réalisés qu'en juillet-août, les abondances mesurées par la Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde s'avéraient proches de celles de l'été 2012 (840 à 1300 individus).

- Les **bernaches cravant** sont également dénombrées dans le cadre du réseau Wetlands, chaque année à la mi-janvier, sur l'ensemble des sites français où elles hivernent.

Ces comptages révèlent une augmentation des abondances depuis 1976 (Figure 2).

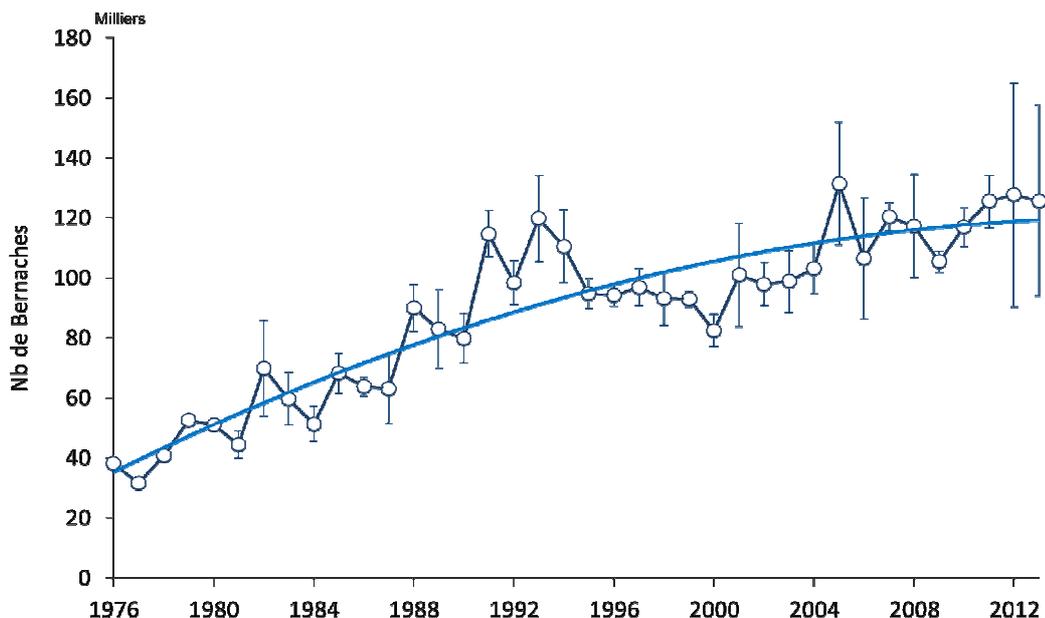


Figure 2 : Tendence nationale du résultat des dénombrements de Bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) au pic d'abondance, 1976-2014 - S.Dalloyau, S.Le Dréan-Quénéec'hdu, R.Mahéo (Réseau Wetlands/Bernache-France).

De plus, les données provenant de ces comptages révèlent que le Bassin d'Arcachon est devenu le site national et européen majeur pour l'hivernage des bernaches au cours des 10 dernières années (Dalloyau, 2008) (Figure 3).

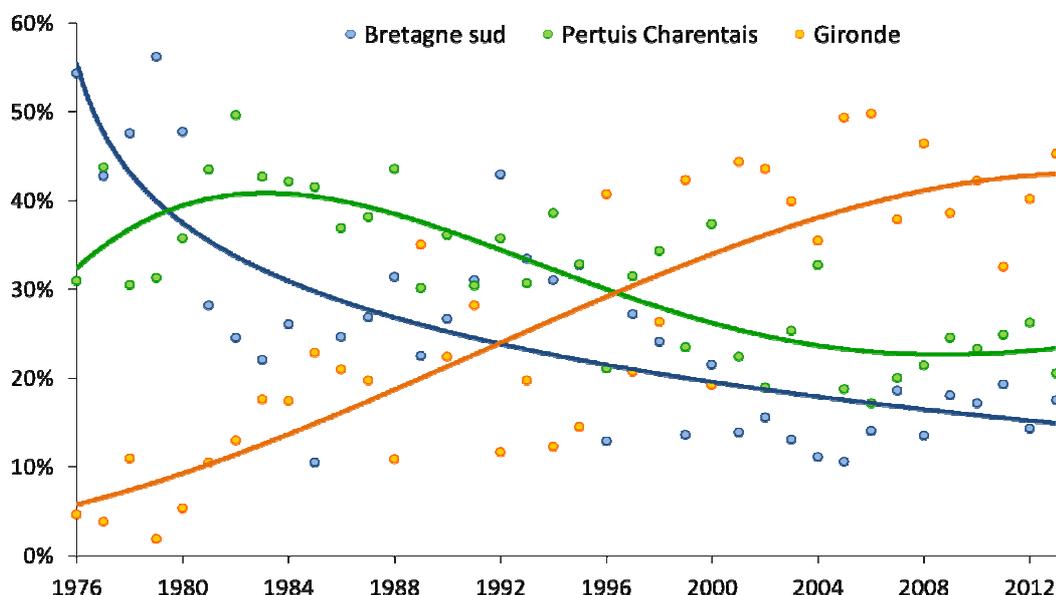


Figure 3 : Tendances sur les trois principaux secteurs d'hivernage pour la Bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) au pic d'abondance, 1976-2014 - S.Dalloyau-S., Le Dréan-Quénéch'hu, R.Mahéo (Réseau Wetlands/Bernache-France).

Sur le Bassin d'Arcachon, ces oies font l'objet de dénombrements réguliers (généralement mensuels pendant l'hivernage, d'octobre à mars) sur le bassin d'Arcachon depuis des décennies. Les comptages sont réalisés indépendamment par deux réseaux (« ONCFS / FDC33 / ACMBA » et « Associations de protection de la nature ») qui utilisent des méthodes différentes, notamment concernant le moment du comptage par rapport à la marée (HM ou BM). Ces réseaux communiquent leurs données à l'association Wetlands International, qui coordonne ces dénombrements et en assure la synthèse au niveau international.

Les données acquises par les deux réseaux de comptage au cours des dernières années révèlent notamment que les effectifs de bernaches hivernant sur le Bassin ont augmenté entre les années 1990 et 2000 (Figure 4).

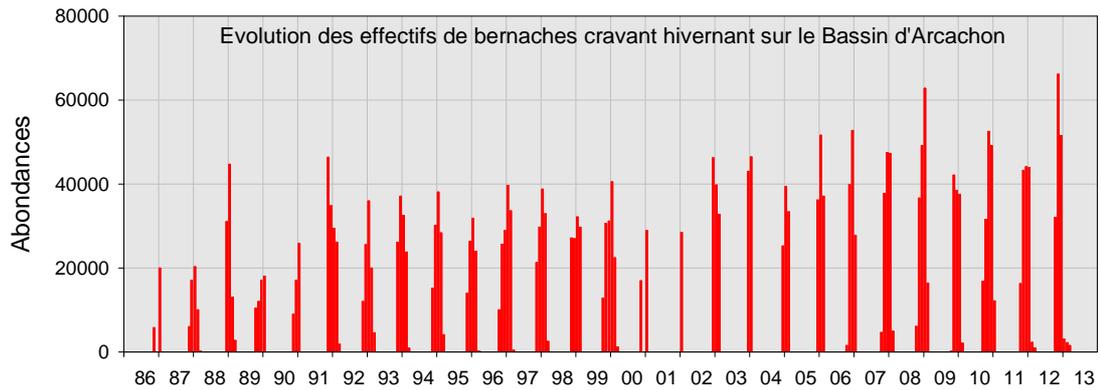


Figure 4 : Abondance des bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2013.

De ce fait, la consommation de feuilles de zostères par les bernaches (consommation journalière de 110 g Poids Sec x nb de jours-oiseaux mensuel, cf. Auby *et al.*, 2011) a également augmenté au cours du temps (Figure 5).

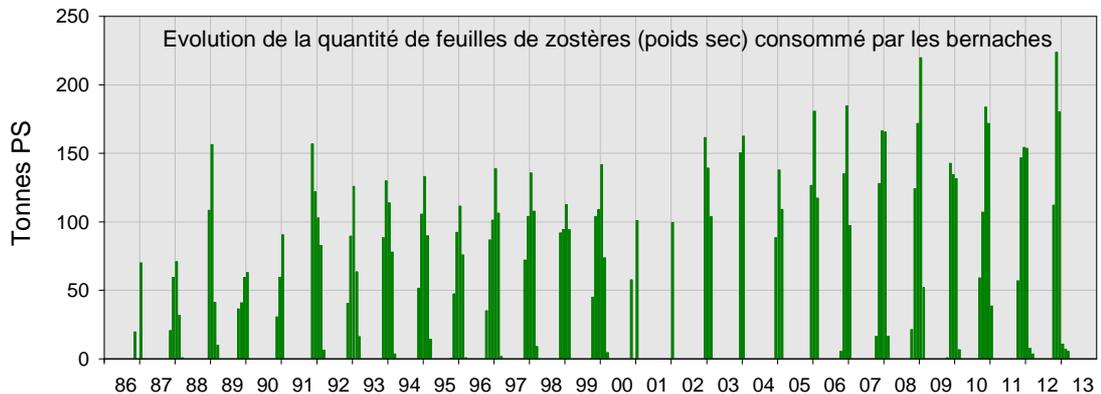


Figure 5 : Consommation mensuelle de feuilles de zostères (poids sec) par les bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2013.

Les quantités totales de feuilles de zostères présentes sur le site pendant les périodes d'hivernages ont été calculées en multipliant les biomasses moyennes sur différents herbiers avec les surfaces de ces herbiers aux différentes périodes (Figure 6).

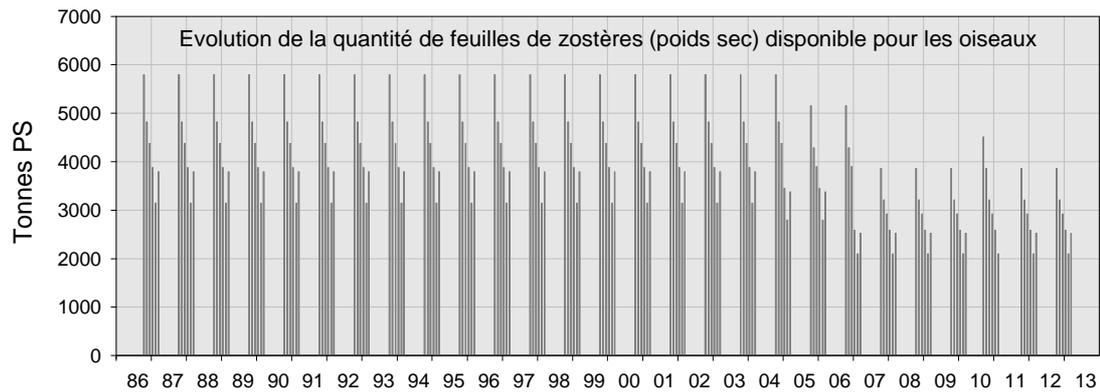


Figure 6 : Biomasses totales de feuilles de zostères (poids sec) dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2013.

On peut alors calculer la proportion de feuilles consommées par rapport au stock total (Figure 7). Ces calculs indiquent que le prélèvement par ces oies s'élève au maximum à 4% (janvier 2008) du stock de feuilles hivernal, ce qui peut être considéré comme relativement négligeable.

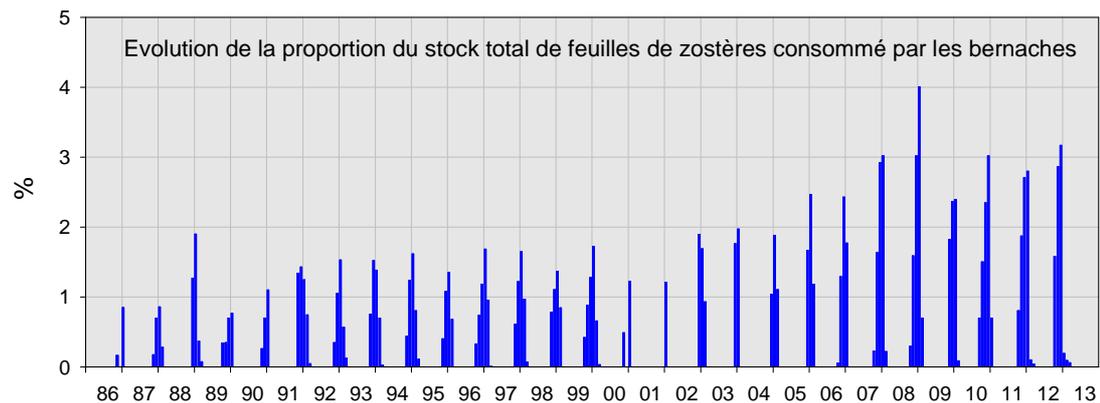


Figure 7 : Proportions du stock total de feuilles de zostères consommé par les bernaches dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2013.

2.2. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Estey Tort int HZN : herbier de *Zostera noltei*

Cette station, initialement située sur la rive Est de l'Estey Tort a été échantillonnée pour la première fois à la fin de l'été 2006. A cette époque, l'herbier y était bien développé. Dès l'année suivante, cet herbier s'était fortement dégradé (photo 1), tandis que la zone située à l'Ouest de l'Estey Tort présentait encore des herbiers en bon état (photo 2).



Photo 1 : L'herbier de la « première » station Estey Tort HZN en septembre 2007.



Photo 2 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en septembre 2007.

Cette dégradation paraissant à l'époque assez localisée, et le suivi ne datant que d'une année, nous avons décidé de déplacer la station de quelques centaines de mètre vers l'ouest, de l'autre côté de l'Estey Tort. Depuis 2007, la station n'a pas été déplacée.

2.2.1. Le sédiment

Globalement, cette station présente le sédiment le plus fin et le plus riche en matière organique des trois stations intertidales échantillonnées dans le cadre de cette étude. Ses caractéristiques sont toutefois assez variables, au moins pendant les premières années du suivi (Tableau 1) Ces fortes variations sont symptomatiques de l'hétérogénéité de la distribution spatiale des sédiments sur ces estrans et/ou de l'instabilité des sédiments dans cette zone du Bassin où l'herbier de zostères, fortement dégradé, ne joue plus son rôle de stabilisateur des sédiments fins.

Tableau 1 : Caractéristique du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Estey Tort int HZN.

	Médiane (μm)	Teneur en pélites (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2006	< 63	54,40	Vase sableuse	7,7 \pm 1,25
2007	125	20,06	Sable fin envasé	8,46 \pm 1,62
2008	93	20,85	Sable fin envasé	4,71 \pm 0,76
2009	< 63	64,15	Vase sableuse	6,67 \pm 0,91
2011	97	41,86	Vase sableuse	6,47 \pm 1,46
2012	104	40,07	Vase sableuse	7,73 \pm 1,62
2013	71	46,84	Vase sableuse	6,32 \pm 2,89

* D'après la classification de Dauvin et al. (1993)

** Moyenne \pm Ecart-type

2.2.2. Les macroalgues

Sur cette station, les macroalgues sont assez rarement observées, et atteignent, lorsqu'elles sont présentes (fins d'été 2006 et 2011), des biomasses très modestes (Tableau 2).

Tableau 2 : Biomasse des macroalgues (en poids sec) dans l'herbier de *Zostera noltei* de la station Estey Tort int HZN.

	Chlorophyta (g PS.m ⁻²)	Ochrophyta (g PS.m ⁻²)	Rhodophyta (g PS.m ⁻²)
2006	1,15 \pm 0,50	0	0
2007	0	0	0
2008	0	0	0
2009	0	0	0
2011	2,08 \pm 7,41	0	0,32 \pm 0,66
2012	0	0	0
2013	0	0	0

2.2.3. Les zostères

A cette station, ainsi que dans les zones environnantes, aucun pied de la forme parvozostéride³ de *Zostera marina* n'a été observé dans les dépressions des herbiers intertidaux au cours de la période d'étude (2006 à 2013).

Tableau 3 : Evolution temporelle des paramètres démographiques de l'herbier de la station Estey Tort int HZN

Année	Surface végétalisée (%) *	Biomasse épigée moyenne dans zones végétalisées (g PS/m ²)	Recouvrement moyen dans zones végétalisées (%)	Recouvrement moyen sur toute la station (%)***
2006	90	153,4	100**	90
2007	60	183,2	100**	60
2008	95	82,3	100**	95
2009	30	67,4	100**	30
2011	50		41	20
2012	10		29	3
2013	7		37,5	3

* Avant 2011, le pourcentage de surface végétalisée sur la station était estimée visuellement sur une surface d'environ 100mx100m autour de la station. A partir de 2011, ce paramètre est calculé de la façon suivante : nb de cadrats présentant un recouvrement >0 x 100 / 30

** Calculé en utilisant la relation « Biomasse épigée » vs « Recouvrement » établie par Auby et al. (2012)

*** Avant 2011, le recouvrement moyen sur toute la station est calculé de la façon suivante : % surface végétalisée x recouvrement moyen dans les zones végétalisées. A partir de 2011, ce recouvrement est calculé directement en moyennant les recouvrements dans les 30 quadrats.

L'herbier de *Zostera noltei* de la « première » station Estey Tort int HZN présentait, en septembre **2006**, un pourcentage de surface végétalisée estimé à 90 % (tableau 3). Les densités de zostères y atteignaient environ 5000 pieds/m², valeurs assez faibles en comparaison avec celles observées dans les zones internes⁴ du bassin, à la même saison, en 1984 (Auby, 1991). Par contre, la biomasse épigée (maximale, à cette saison), était du même ordre que celle mesurée en automne 1984, sans doute en raison d'une plus grande hauteur des pieds en 2006 qu'en 1984.

Entre les mois de septembre 2006 et 2007, cet herbier s'est fortement dégradé le pourcentage de surface végétalisée ne s'élevant plus qu'à 5% à la seconde date. Comme expliqué précédemment, la station a lors été déplacée sur l'autre rive de l'Estey Tort.

En septembre **2007**, l'herbier de cette station présentait un pourcentage de surface végétalisée de 60 %. Les densités de zostères étaient environ 3 fois plus élevées

³ Chez *Zostera marina*, on distingue deux formes : une forme de petites dimensions (longueur et largeur des limbes) dans l'étage intertidal, dite « parvozostéride », et une forme de plus grandes dimensions, dite « magnozostéride » dans l'étage infralittoral.

⁴ Toutefois, aucune des stations échantillonnées en septembre 2004 n'était proche de la station Estey Tort int HZN.

qu'en 2006, mais leur hauteur était sensiblement plus faible. Les biomasses épigées atteignaient des valeurs moyennes un peu plus élevées qu'en 2006.

Fin août **2008**, l'herbier de cette station présentait un plus fort pourcentage de surface végétalisée que l'année précédente (95 %), mais les densités de pieds et les biomasses (épigées et hypogées) étaient environ deux fois moindres qu'en 2007.

A partir de **2009**, les herbiers de cette station ont présenté un fort déclin, aussi bien du point de vue global (réduction du pourcentage de zones végétalisées) que du recouvrement dans les zones végétalisées.

En **2012**, seul un petit triangle d'herbier subsistait (Figure 4b et photo 3). L'estran s'étendant à l'ouest de cette station était également totalement dépourvu de zostères.

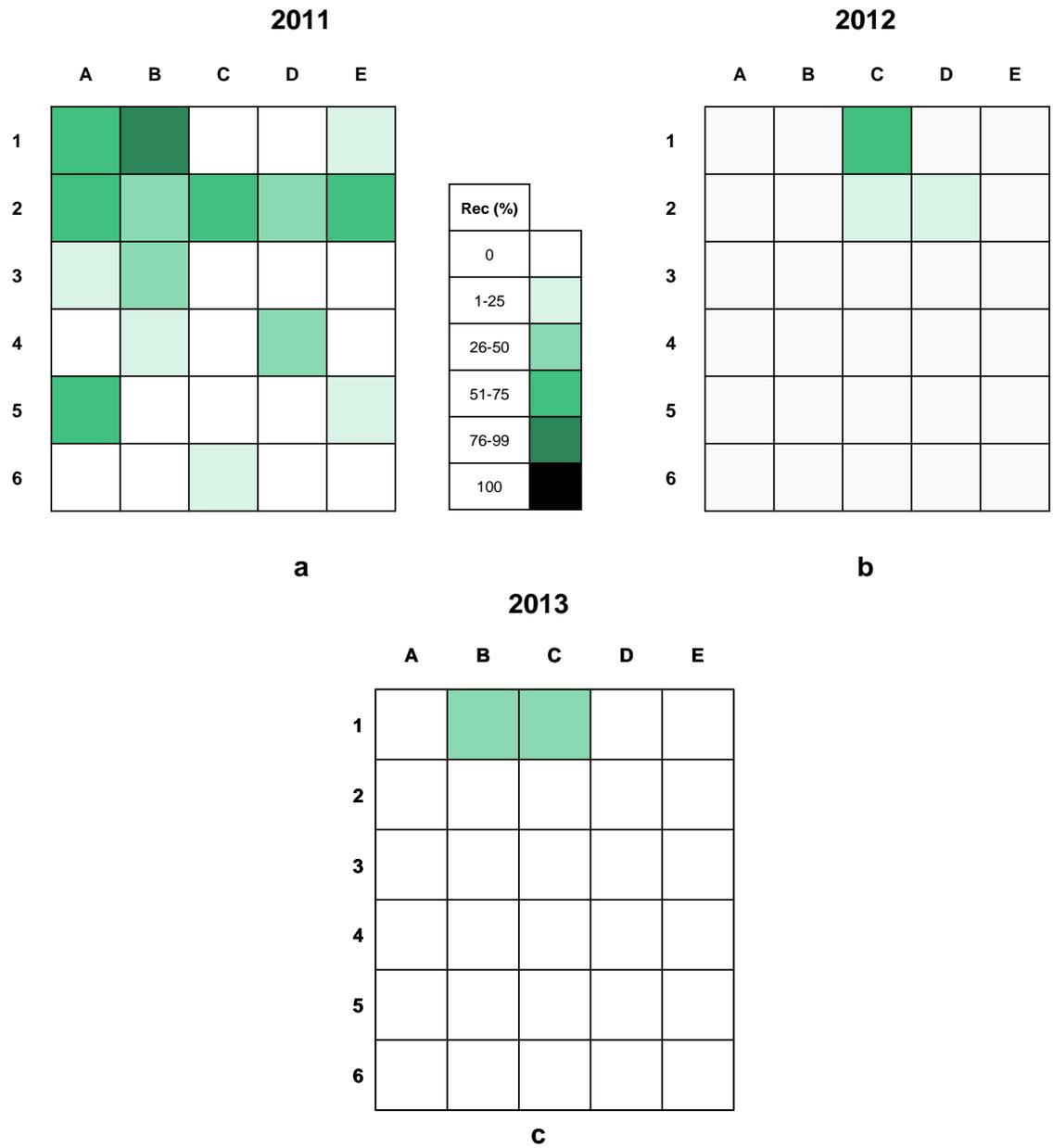


Photo 3 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en septembre 2012.

En **2013**, l'emprise de l'herbier s'est encore réduite sur cette station (photo 4, sur laquelle on distingue la petite tache d'herbier à gauche de la photo, tableau 3 et figure 8c).



Photo 4 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en août 2013.



Figures 8a, 8b, 8c: Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Estey Tort int HZN

2.3. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Afrique int HZN : herbier de *Zostera noltei*

La zone choisie pour positionner initialement la station « Afrique int HZN » s'est avérée située dans une dépression de l'estran, propice au maintien d'une couche d'eau sur les zostères à basse mer, surtout par faible coefficient (Photo 5). Cette situation ne posait pas de problème pour appliquer l'ancien protocole, basé sur des prélèvements, mais s'est avérée inadaptée à la mise en œuvre du nouveau protocole.



Photo 5 : L'herbier de « l'ancienne » station Afrique int HZN en septembre 2008.

Pour cette raison, afin de pouvoir acquérir des clichés interprétables pour les mesures de recouvrement des zostères, nous avons été contraints en 2012 de déplacer cette station d'une centaine de mètres vers le nord, dans une zone asséchant à basse mer (photo 6).



Photo 6 : L'herbier de la « nouvelle » station Afrique int HZN en août 2012.

2.3.1. Le sédiment

Le sédiment de l'herbier de la station Afrique (sable fin envasé à vase sableuse, d'après la classification de Dauvin *et al.*, 1993) montre peu de variation entre les cinq années (tableau 4). Ce sédiment contient moins de pélites et de matière organique que celui de l'herbier de l'Estey Tort.

Tableau 4 : Caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Afrique int HZN.

	Médiane (µm)	Teneur en pélites (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2006	170	16,6	Sable fin envasé	3,4 ± 0,8
2007	153	17,7	Sable fin envasé	2,43 ± 0,7
2008	151	11,7	Sable fin envasé	2,0 ± 0,4
2009	163	18,8	Sable fin envasé	2,1 ± 0,3
2012	213	28,5	Vase sableuse	3,0 ± 0,7
2013	146	19,2	Sable fin envasé	1,8 ± 0,6

* D'après la classification de Dauvin *et al.* (1993)

** Moyenne ± Ecart-type

2.3.2. Les macroalgues

Dans cet herbier, aucune macroalgue n'a été observée ni en **2006**, ni en **2007**, comme l'indiquent les résultats du tableau 5. Par contre, à partir de **2008**, des entéromorphes (chlorophyta) (photo 7) et des gracilaires (rhodophyta) en **2008**, **2012** et **2013** (figure 9) colonisent cette station, ces macroalgues présentant néanmoins des biomasses assez faibles.

Tableau 5: Biomasse (± Erreur Standard) des macroalgues dans l'herbier de *Zostera noltei* de la station Afrique int HZN.

	Chlorophyta (g PS.m ⁻²)	Ochrophyta (g PS.m ⁻²)	Rhodophyta (g PS.m ⁻²)
2006	0	0	0
2007	0	0	0
2008	16,7 ± 5,8	0	3,3 ± 1,4
2009	7,4 ± 0,6	0	0
2012	0,8 ± 1,5	0	1,1 ± 1,0
2013	8,8 ± 2,3	0	0,8 ± 0,6



Photo 7 : Entéromorphes sur l'herbier de la « nouvelle » station « Afrique int HZN » en août 2013.

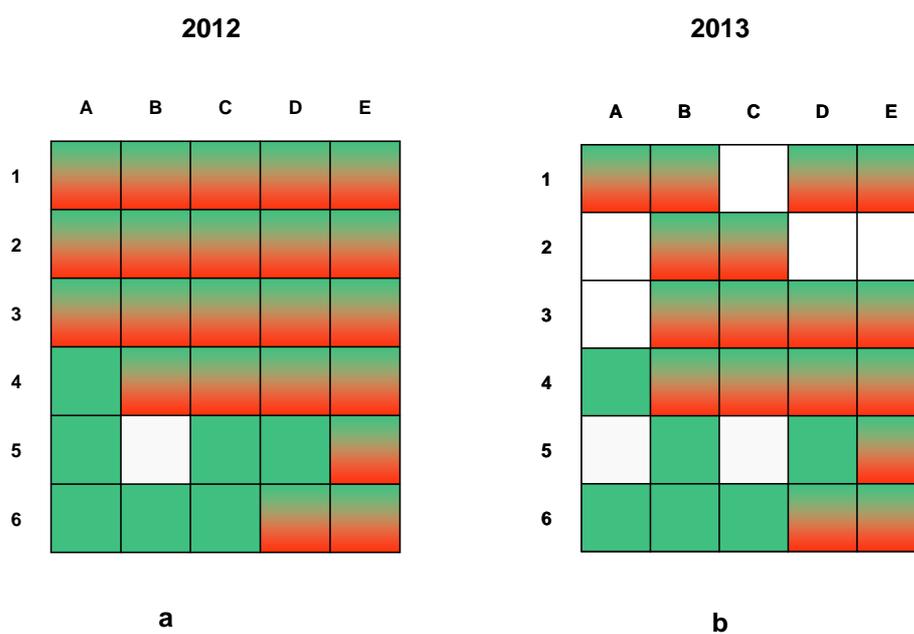


Figure 9 : Répartition des *chlorophyta* et *rhodophyta* dans les cadrats de la station Afrique int HZN

2.3.3. Les zostères

A cette station, la plupart des cuvettes intertidales sont colonisées par un mélange de *Zostera noltei* et de la forme parvozostéride de *Zostera marina* (photo 8).



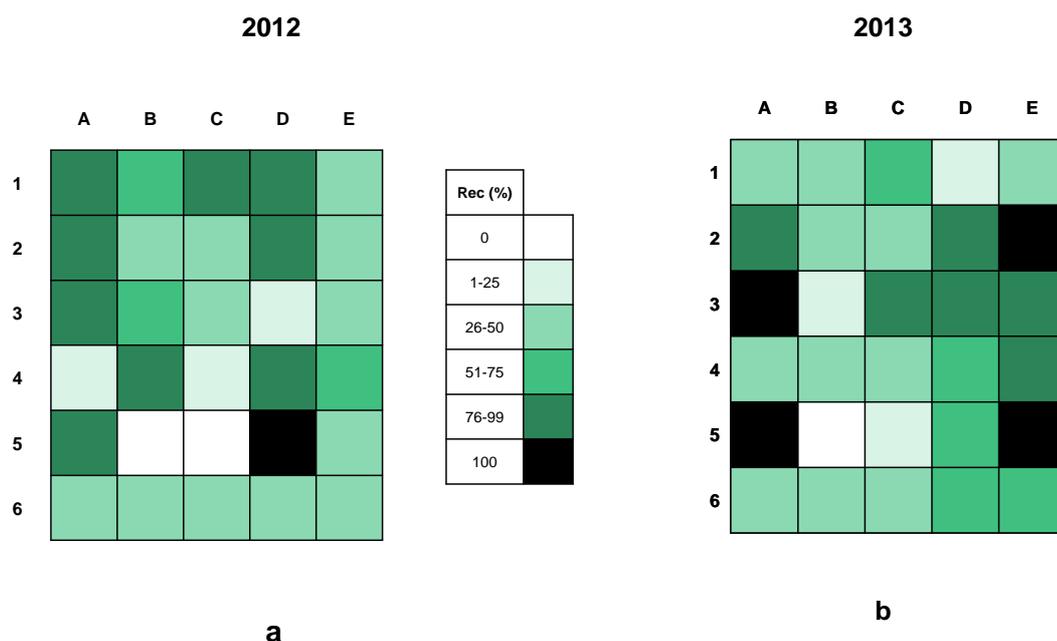
Photo 8 : *Zostera marina* dans l'herbier de la station « Afrique int HZN ».

Dans cet herbier, le recouvrement était moins important en **2012** et **2013** qu'entre **2006** et **2009** (tableau 6, figure 10 et photo 9). Toutefois, la surface végétalisée est demeurée à peu près constante et maximale au cours du temps.

Tableau 6 : Caractéristiques des zostères de l'herbier de la station Afrique int HZN

Année	Surface végétalisée (%)	Biomasse épigée moyenne dans zones végétalisées (g PS/m ²)	Recouvrement moyen dans zones végétalisées (%)	Recouvrement moyen sur toute la station (%)
2006	100	71,6	100*	100
2007	100	104,4	100*	100
2008	100	104,5	100*	100
2009	100	79,4	100*	100
2012	93,3		56	52
2013	96,7		58	56

* calculé en utilisant la relation Biomasse épigée vs Recouvrement établie par Auby et al. (2012)



Figures 10a et 10b : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Afrique int HZN



Photo 6 : L'herbier de la « nouvelle » station Afrique int HZN en août 2013.

On pourrait suspecter que le déplacement de la station vers une zone asséchante (moins favorable au développement des zostères) participe à l'explication de cette apparente régression du recouvrement. Néanmoins, nous avons constaté sur le terrain que tous les herbiers de cette zone étaient moins développés en 2012 et 2013 que lors des années précédentes. Cette diminution du recouvrement peut donc être considérée comme effective.

2.4. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Hautebelle int HZN : herbier de *Zostera noltei*

Comme évoqué dans le chapitre 1.1., cette station n'est échantillonnée que depuis 2012.

2.4.1. Le sédiment

Le sédiment de l'herbier de la station Hautebelle int HZN présente des caractéristiques proches de celui de la station Afrique int HZN (tableau 7).

Tableau 7 : Caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hautebelle int HZN.

	Médiane (µm)	Teneur en pélites (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2012	165	17	Sable fin envasé	3,4 ± 1,1
2013	102	26	Vase sableuse	3,3 ± 1,3

* D'après la classification de Dauvin et al. (1993)

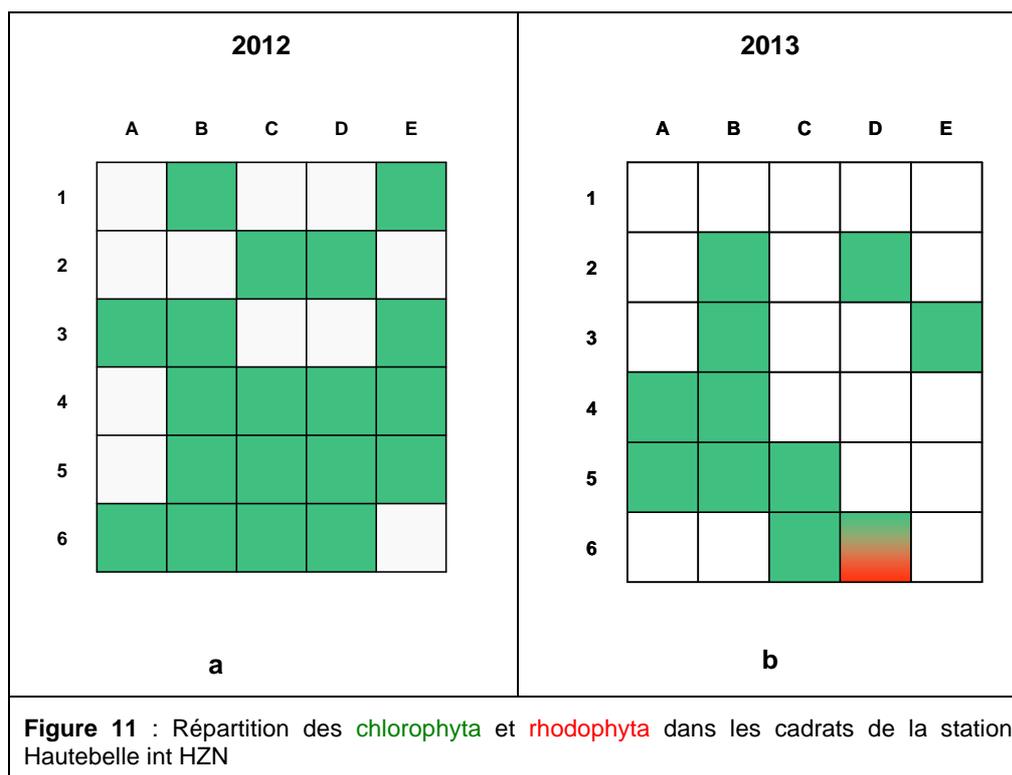
** Moyenne ± écart-type

2.4.2. Les macroalgues

Dans cet herbier, en 2013, seules des algues vertes filamenteuses de faible diamètre et quelques gracilaires ont été observées. Ces algues ne sont pas réparties de façon homogène sur l'herbier (Figure 11) et les biomasses sont faibles (tableau 8).

Tableau 8 : Biomasse (± Erreur Standard) des macroalgues dans l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hautebelle int HZN.

	Chlorophyta (g PS.m ⁻²)	Ochrophyta (g PS.m ⁻²)	Rhodophyta (g PS.m ⁻²)
2012	0,5 ± 1,2	0	0
2013	0,6 ± 0,5	0	0,1 ± 0,2



2.4.3. Les zostères

A cette station, on n'observe pas la forme parvozostéride de *Zostera marina*.

Comme on peut en juger sur la photo 10, l'herbier de cette station est, comme en 2012, homogène avec un fort taux de recouvrement, les zostères étant absentes seulement dans les petits esteyes qui sillonnent la zone intertidale.



Photo 10 : l'herbier de la station Hautebelle HZN en août 2013.

En **2013** comme en **2012**, on y a mesuré le plus fort taux de recouvrement moyen des trois stations de zostères naines suivis sur le Bassin (Tableau 9 et figure 12).

Tableau 9 : Caractéristiques des zostères de l'herbier de la station Hautebelle int HZN

Année	Surface végétalisée (%)	Recouvrement moyen dans zones végétalisées (%)	Recouvrement moyen sur toute la station (%)
2012	100	62	62
2013	100	89	89

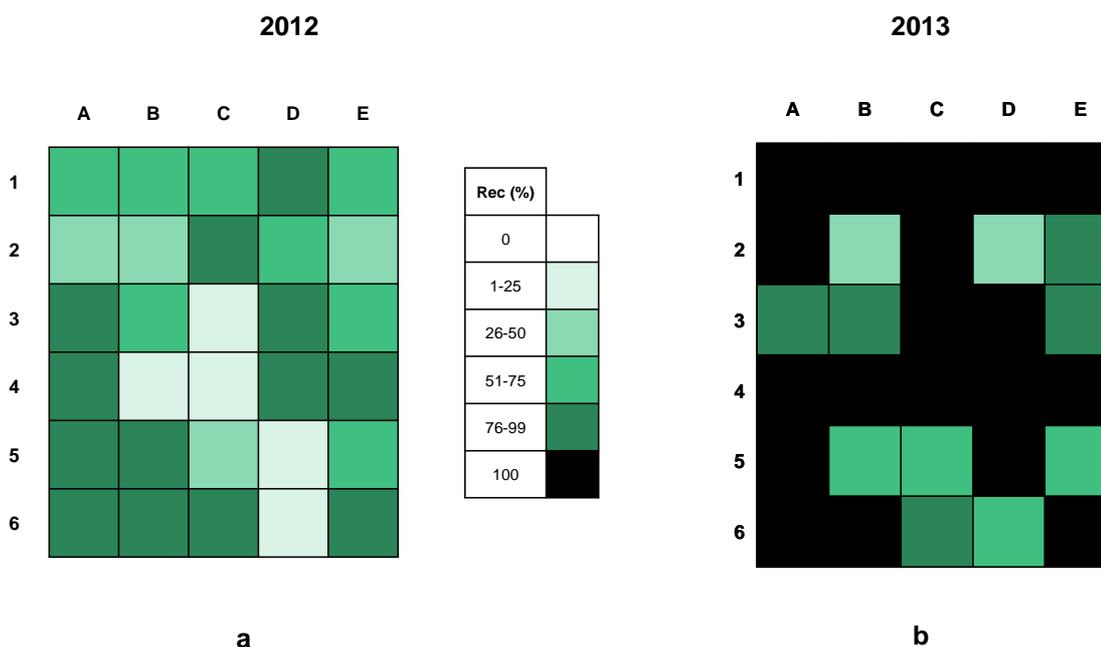


Figure 12 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Hautebelle int HZN

2.5. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de *Zostera marina*

2.5.1. Le sédiment

Le chenal dans lequel se développent ces herbiers est relativement envasé et cet envasement est particulièrement marqué depuis 2009, avec des teneurs en pélites environ deux fois plus importantes depuis cette année (Tableau 10).

Tableau 10 : Caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Médiane (µm)	Teneur en pélites (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2007	133	18	Sable fin envasé	3,0 ± 1,8
2008	86	18	Sable fin envasé	6,1 ± 2,1
2009	95	41	Vase sableuse	3,7 ± 1,4
2011	86	43	Vase sableuse	7,2 ± 2,13
2012	72	48	Vase sableuse	5,7 ± 3,7
2013	86	37	Vase sableuse	4,8 ± 2,0

2.5.2. Les macroalgues

Aucune macroalgue n'a été observée dans ces herbiers aux mois de septembre des années 2007 à 2011. En **2012**, de très petits thalles d'ulves ont été observés dans certains échantillons. Leur biomasse n'a pas été mesurée.

2.5.3. Les épiphytes

Les feuilles de zostères des herbiers de Zostères marines de cette partie du chenal du Courbey sont relativement peu colonisées par les épiphytes en **2007-2008 et 2011-2013**, et un peu plus en **2009** comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 11.

Ces épiphytes sont minoritairement composés de matière organique (22 à 37 %), en raison de leur colonisation importante par de nombreux tubes d'annélides à tube calcaire de la famille des spirorbes (Serpulidae).

Tableau 11 : Biomasses des épiphytes (en poids sec, Moyenne \pm écart-type) sur les feuilles de zostères de l'herbier de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Epiphytes (PS)/zost(PS) (%)	Epi (PS mg)/zost(surf cm ²)	Epi PSSC/PS (%)
2007	16,29 \pm 10,63	0,49 \pm 0,32	22,00 \pm 0,52
2008	13,43 \pm 10,83	0,38 \pm 0,31	27,68 \pm 4,16
2009	32,28 \pm 25,17	1,06 \pm 0,82	22,29 \pm 5,66
2011	10,90 \pm 5,49	0,33 \pm 0,17	23,46 \pm 11,22
2012	15,71 \pm 22,17	0,46 \pm 0,65	37,25 \pm 21,20
2013	15,29 \pm 15,99	0,49 \pm 0,51	26,52 \pm 7,92

2.5.4. Les zostères

Les caractéristiques des zostères du chenal du Courbey à la fin des étés **2007** à **2009** et **2011** à **2013** sont présentées dans le tableau 12.

Tableau 12 : Caractéristiques des zostères (moyenne \pm écart-type) de l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Densité pieds zostères (n.m ⁻²)	Biomasse épigée (g PS.m ⁻²)	Biomasse hypogée (g PS.m ⁻²)	Nb feuilles/pied	Largeur feuilles (mm)
2007	108 \pm 53	54,6 \pm 10,6	34,1 \pm 17,9	3,5 \pm 1,1	7,2 \pm 2,3
2008	103 \pm 41	93,4 \pm 45	37,5 \pm 20,7	3,9 \pm 1,1	8,7 \pm 2,0
2009	152 \pm 62	114,9 \pm 23,7	89,3 \pm 28,5	4,0 \pm 1,0	8,2 \pm 2,0
2011	125 \pm 42	137,1 \pm 51,2	77,9 \pm 38,2	4,5 \pm 1,0	8,6 \pm 1,7
2012	131 \pm 59	53,7 \pm 36,5	47,4 \pm 31,6	3,7 \pm 1,0	6,9 \pm 1,7
2013	120 \pm 53	45,3 \pm 4,6	51,4 \pm 24,6	3,8 \pm 1,1	7,6 \pm 1,6

	Hauteur pieds (cm)	Biomasse épi/hypo (PS)	Rapport surface feuilles/poids sec (cm ² /g)	Surface utile : Surf feuilles (m ²)/m ² sédiment
2007	58,4 \pm 28,6	2,2 \pm 1,7	333,7 \pm 21,1	1,06 \pm 0,24
2008	85,2 \pm 24,1	2,8 \pm 0,9	354,0 \pm 44,6	1,71 \pm 0,75
2009	60,6 \pm 20,3	1,5 \pm 1,0	305,4 \pm 30,1	1,91 \pm 0,42
2011	93,9 \pm 24,0	2,1 \pm 1,2	329,6 \pm 17,7	2,66 \pm 1,00
2012	50,6 \pm 21,8	1,4 \pm 0,7	343,5 \pm 27,1	1,01 \pm 0,62
2013	50,7 \pm 19,0	1,1 \pm 0,6	312,7 \pm 28,2	0,79 \pm 0,11

Alors que les densités de pousses évoluent assez peu au cours des années dans ces herbiers, la biomasse des organes épigés et la surface utile présentent d'assez fortes variations, avec des valeurs trois fois plus élevées en **2011** qu'en **2007**, **2012** et **2013**. Cette variabilité repose sur celle de la largeur des feuilles et de la hauteur des pieds.

Ces variations peuvent s'expliquer par les différences climatiques et hydrologiques entre ces années (Annexe 2, figures D et E).

En effet, les années de faibles biomasses (2007, 2012 et 2013) sont caractérisées par une faible température par rapport à la normale. De plus, les années 2007 et 2013 ont présenté un faible rayonnement solaire. Enfin, l'année 2013 est celle pendant laquelle les teneurs en matières en suspension ont été les plus élevées. Au contraire, l'année 2011 a présenté de fortes températures et un éclaircissement printanier important par rapport aux normales établies sur la période.

On peut remarquer que l'année pendant laquelle les plus fortes densités ont été mesurées (2009) présentait à la fois de fortes températures, un fort rayonnement solaire et des teneurs en matières en suspension plus faibles que la normale.

Les densités et biomasses épigées observées à Arcachon sont assez proches des valeurs estivales observées dans le bassin de Thau par Laugier *et al.* (1999). Ces auteurs rapportent pour ces populations des biomasses épigées et des densités maximales s'élevant respectivement à 93 ± 76 g PS/m² et 140 ± 127 pousses/m².

Par rapport aux populations de zostères marines plus septentrionales, ces densités et biomasses épigées des zostères marines de Thau et du Courbey sont faibles.

En effet, d'après la revue proposée par Olesen et Sand-Jensen (1994), concernant 29 herbiers de *Zostera marina* distribués entre 30 et 56°N en Europe, ainsi qu'aux USA et au Japon, les densités estivales moyennes s'élèvent à 905 pieds/m² (min : 257 – max : 2193). Dans ces mêmes populations, les biomasses épigées estivales s'élèvent en moyenne à 245 g PS/m² (min : 111 – max : 391).

De même, les herbiers bretons de zostères marines échantillonnés dans le cadre de REBENT (Marion Maguer - UBO, com. pers.) présentent des densités et des surfaces utiles (surface des limbes de zostères/surface de sédiment sur laquelle se développent les pieds) globalement plus élevées que la population du Courbey (Figures 12 et 13).

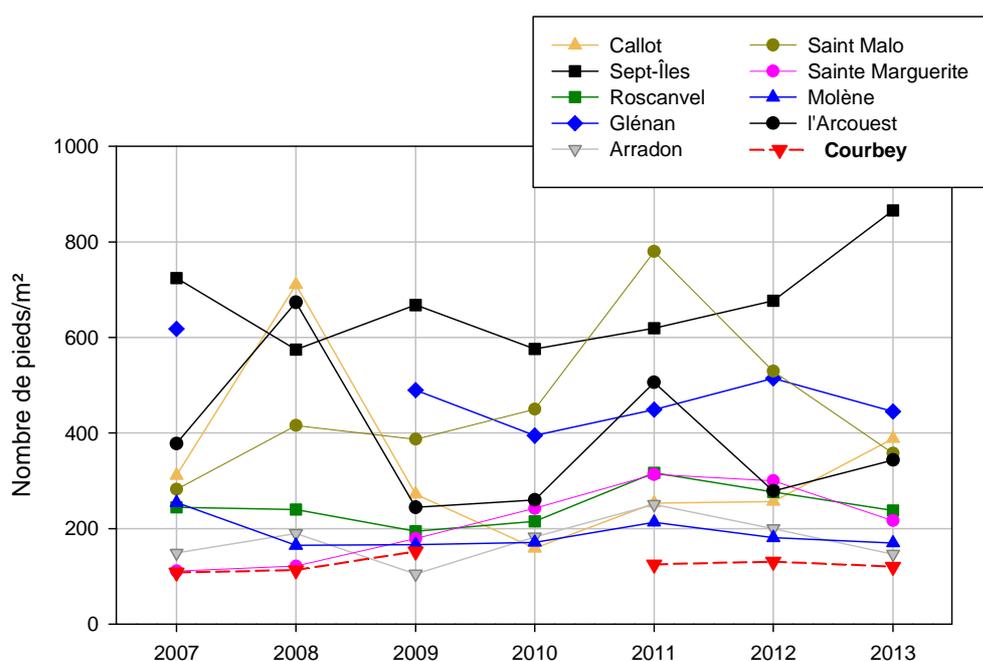


Figure 12 : Valeurs de densités de pousses dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2013

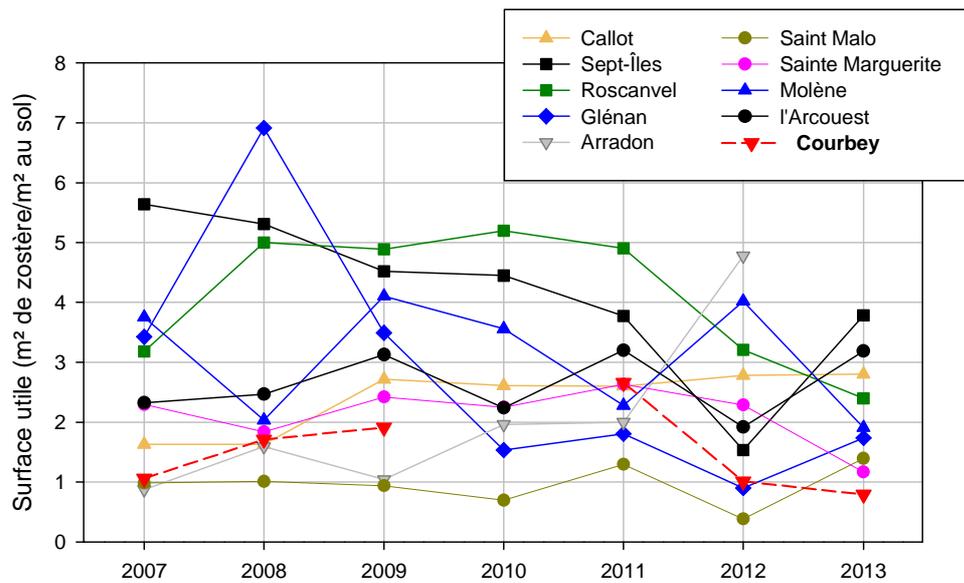


Figure 13 : Valeurs de la surface utile dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2013

Les biomasses épigées des herbiers du Courbey sont du même ordre que celles des herbiers bretons, voire plus élevées en 2011, ce qui semble indiquer que les feuilles sont plus épaisses (Figure 14).

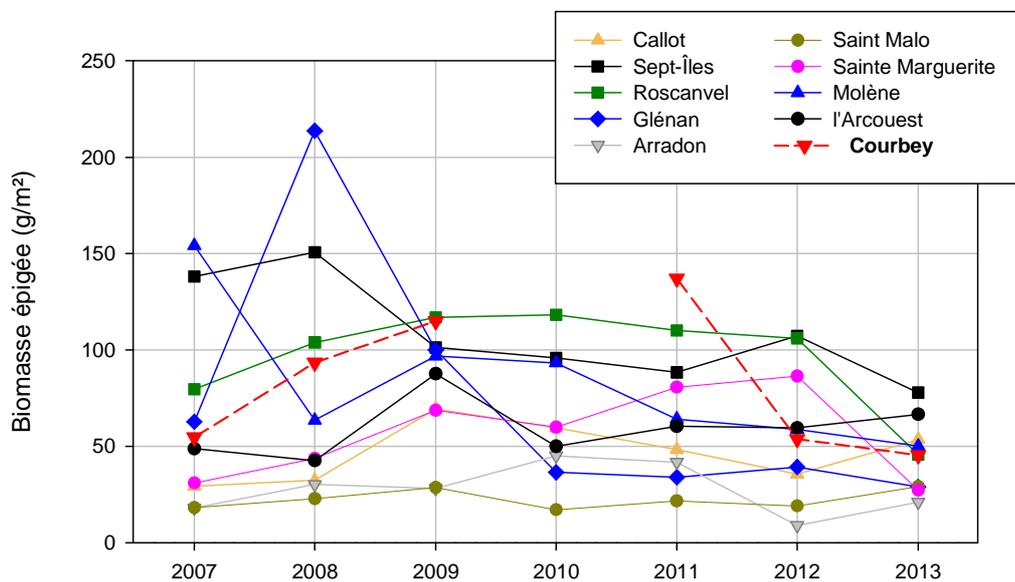


Figure 14 : Valeurs de biomasse épigée dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2013

2.5.5. Indice de maladie - Wasting Index (WI)

Le protozoaire pathogène *Labyrinthula zosterae* se développe à l'intérieur des feuilles de zostères marines et peut induire une dégradation des feuilles. Cette maladie se manifeste d'abord par de petites tâches noires, qui s'étendent et fusionnent entre elles et peuvent finalement, d'après Burdick *et al.* (1993), provoquer la mort du pied de zostère.

Il n'est pas clairement établi que cet organisme ait été directement responsable du fort déclin des populations de zostères marines dans les années 1930 (d'abord en Amérique du nord, puis en Europe) (Den Hartog, 1987) et des réductions de surface observées dans certains herbiers de la côte est des Etats-Unis au début des années 1980 (Short *et al.*, 1986, 1987). D'autres facteurs ont en effet été évoqués pour expliquer l'affaiblissement des populations de zostères (turbidité accrue, faibles niveaux d'insolation, compétition pour la lumière en raison du développement des macroalgues opportunistes), phénomène les rendant secondairement plus sensibles aux pathogènes.

Quoiqu'il en soit, d'après Hily *et al.* (2002), le niveau d'atteinte par cette maladie (pourcentage de signes de lésions des feuilles par le parasite) peut être considéré comme un bon indicateur du stress induit par les conditions environnementales.

Pour cette raison, cet indice de maladie fait partie des paramètres supplémentaires retenus dans le suivi stationnel des zostères marines dans le cadre de la DCE et, à ce titre, a été calculé dans la population de la station Courbey.

Comme présenté dans le chapitre 1.5., plusieurs modes de calcul de cet indice de maladie (wasting index) peuvent être adoptés :

- **indice "historique" (WI)** correspondant à la moyenne du maximum d'infestation par pied (Burdick *et al.*, 1993),
- **indice "REBENT" (WIM)** résultant de la moyenne de l'infestation de l'ensemble des feuilles des 30 pieds,
- **indice par feuille (Wlx)**, proposé par Hily *et al.* (2002), correspondant à la moyenne du taux d'infestation sur les feuilles d'un rang donné sur les 30 pieds.

Il est en effet facile, sur les zostères, de repérer l'ordre des feuilles sur un pied, de la plus jeune (la plus courte, la plus claire, la moins épiphytée et la plus interne) à la plus vieille (la plus longue, la plus foncée, la plus épiphytée et la plus externe).

Ces auteurs ont mis en évidence que le niveau d'infestation est fortement lié au rang de la feuille, c'est-à-dire que les symptômes de la maladie se développent progressivement au cours du vieillissement de la plante. Les différentes populations ne présentant pas obligatoirement le même nombre de feuilles et ce nombre pouvant varier au cours de l'année, la prise en compte de ces indices feuille par feuille peut être intéressante en terme de comparaison avec l'infestation d'autres populations.

Ces différents indices ont été calculés pour la population de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM échantillonnée à la fin des étés 2007 à 2013 (2010 exclus) (Tableau 13)

Tableau 13 : Valeur du Wasting Index (moyenne \pm écart-type) pour *Zostera marina* à la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	WI (%)	WIM (%)	WI feuille 1 (la plus jeune)	WI feuille 2	WI feuille 3	WI feuille 4
2007	27,2 \pm 24,6	9,3 \pm 8,4	0,2 \pm 0,9	1,5 \pm 2,6	12,3 \pm 18,3	27,1 \pm 25,1
2008	24,7 \pm 16,0	9,8 \pm 6,2	0,1 \pm 0,3	5,1 \pm 5,4	10,7 \pm 10,6	17,5 \pm 11,7
2009	14,5 \pm 10,8	4,3 \pm 7,6	0,1 \pm 0,2	1,2 \pm 3,0	1,5 \pm 2,9	4,9 \pm 7,8
2011	39,0 \pm 22,9	14,5 \pm 18,7	0,6 \pm 2,0	4,0 \pm 4,5	9,6 \pm 6,2	18,3 \pm 10,0
2012	18,9 \pm 17,5	6,5 \pm 12,6	0,4 \pm 1,9	2,1 \pm 3,8	7,4 \pm 11,7	16,2 \pm 18,0
2013	27,0 \pm 18,4	11,1 \pm 16,2	0,2 \pm 0,4	5,0 \pm 10,2	11,9 \pm 12,0	26,5 \pm 19,1

Les deux indices généraux (WI et WIM) présentent des valeurs maximales en **2011**, année où les biomasses épigées sont les plus élevées et minimales en **2009**, année de plus forte densité des pieds. Lors de cette dernière année, on observe notamment une très faible atteinte des feuilles 3 et 4 (Figure 12), ce qui peut indiquer que les conditions estivales ont été moins stressantes pour les zostères ou que la production de nouveaux pieds a été plus rapide, ne permettant pas à l'infection d'atteindre les nouveaux limbes aussi rapidement que lors d'années de faible production estivale.

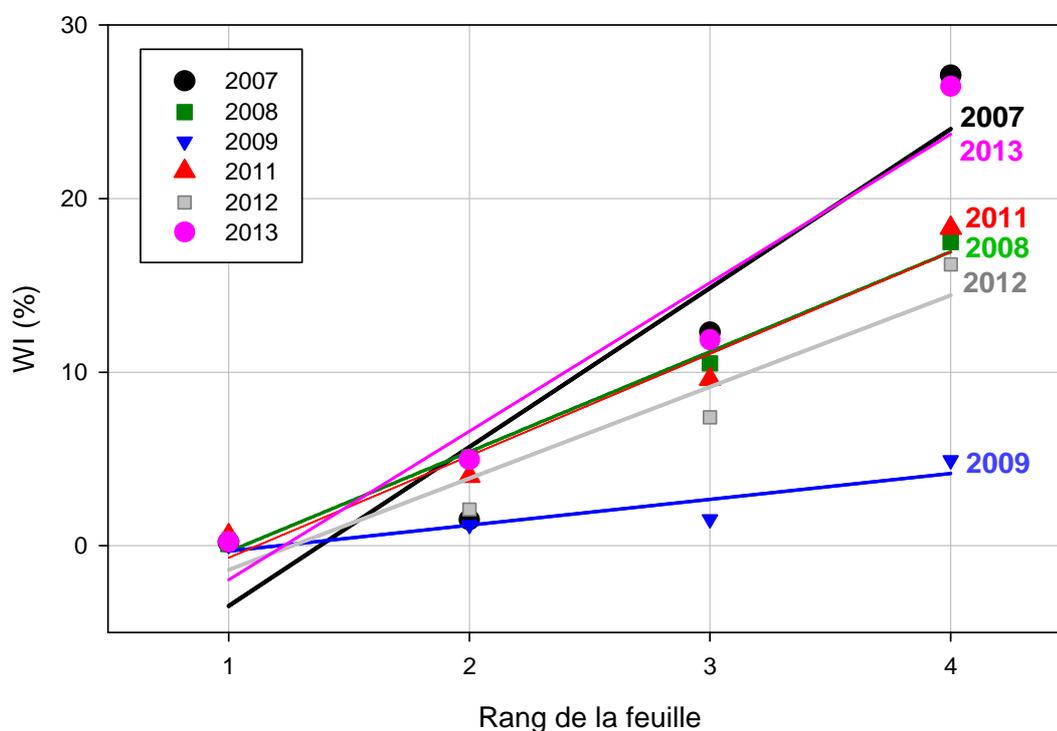


Figure 12 : Régression linéaire de WI (%) en fonction de l'âge de la feuille au cours des différentes années dans l'herbier de zostères marines du Courbey.

La comparaison des valeurs atteintes par ces différents indices avec les observations réalisées dans d'autres sites doit être réalisée avec prudence. En effet, le suivi

mensuel des herbiers bretons réalisé par Hily *et al.* (2002) et les observations bi annuelles (printemps et automne) réalisées dans le cadre du REBENT Bretagne (Hily, com. pers.) ont montré une forte variabilité temporelle de cet index, y compris au cours d'un cycle annuel.

Les valeurs du **WIM** (4,3 à 14,5 % en moyenne) de l'herbier arcachonnais au cours des 5 années se situent dans la gamme de valeurs des observations réalisées dans les six herbiers bretons échantillonnés au cours des printemps 2007 à 2013 dans le cadre du REBENT Bretagne (Maguer, com. pers.) (Figure 13).

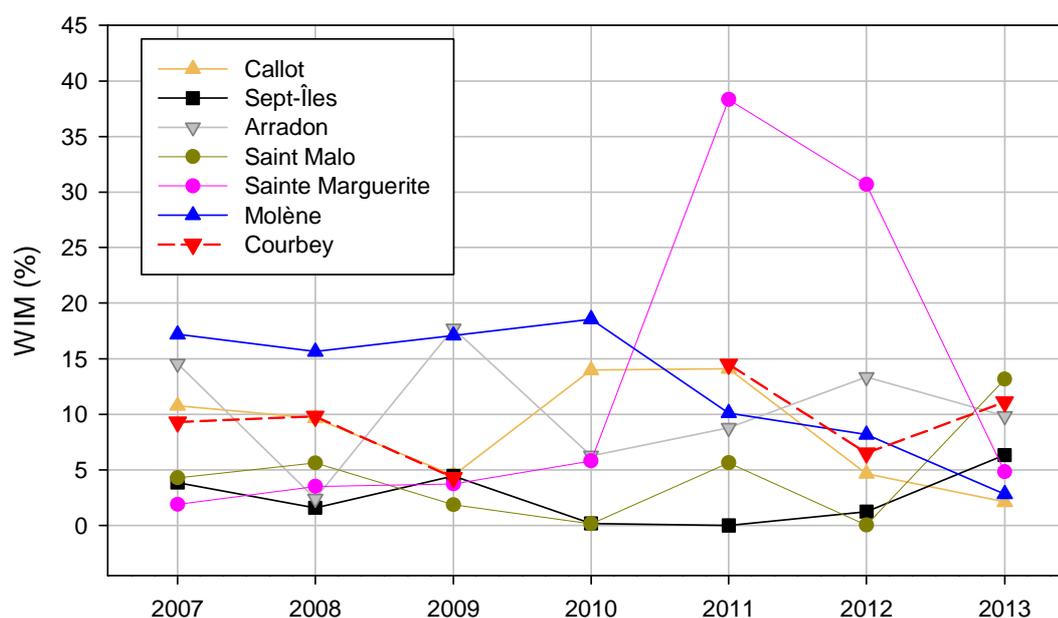


Figure 13 : Valeurs de WIM dans six herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2013.

2.6. Calcul de l'indicateur « angiospermes » sur la masse d'eau Arcachon amont

L'indicateur français « angiospermes » (Auby *et al.*, 2010) repose sur trois métriques :

- Composition taxinomique.
- Extension.
- Densité.

Les règles de calcul et les résultats du classement sont énoncés dans les paragraphes suivants. Les résultats présentés concernent le classement obtenu en 2013 pour ces métriques et cet indicateur.

2.6.1. Composition taxinomique

Dans la masse d'eau « Arcachon amont », *Zostera noltei* et *Zostera marina* sont observées depuis 1855 au moins. En 2012, les deux espèces sont toujours présentes, même si *Zostera marina* s'est fortement raréfiée dans les zones les plus orientales de la masse d'eau.

Le calcul de RQE pour la métrique « taxinomie » a été réalisé sur la base de la grille présentée dans le tableau 14, dans lequel figure également la valeur du RQE pour cette métrique en 2013.

Tableau 14 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « composition taxinomique». Valeur du RQE en 2012

Changement de la composition taxinomique par rapport aux conditions de référence et RQE	RQE 2012
Espèces apparues ou aucune espèce disparue (1)	1
Disparition de <i>Zostera marina</i> (0,7)	
Disparition de <i>Zostera noltei</i> (0,5)	
Perte des deux espèces (0)	

2.6.2. Extension

Les données relatives à l'extension des herbiers à plusieurs périodes de l'histoire sont présentées sur le tableau 15. Les résultats montrent une régression des surfaces pour les deux espèces.

Tableau 15 : Evolution de l'extension des herbiers de zostères de la masse d'eau « Arcachon amont » au cours du temps.

Année	<i>Z. marina</i>	<i>Z. noltei</i>	Source
1989	381 ha	6 846 ha	Auby (1991)
2008	104 ha	4 569 ha	Plus et al. (2010)
2012	(104 ha)*	4 259 ha	Lafon (com. pers.)
2013	(104 ha)*	(4 259 ha)*	
Evolution par rapport à la plus grande extension connue	- 73%	-38 %	

* En l'absence de données pour l'année en cours, on retient la dernière extension connue pour cette espèce.

Remarque : Lors de la construction de l'indicateur DCE « angiospermes » français, il avait été proposé que « dans le cas où les deux espèces de zostères sont présentes dans la masse d'eau (et que la surface occupée par les deux espèces a été mesurée), il semble plus cohérent de prendre en compte l'évolution de l'extension globale des deux espèces pour calculer l'EQR ». Des réflexions ultérieures issues du groupe de travail « Zostères » ont conduit à modifier cette stratégie. En effet, les pressions ne s'exercent pas de manière absolument identique sur les deux espèces, principalement en raison de leur position différente dans les étagestidaux.

Le groupe d'experts a ainsi proposé de distinguer les deux espèces dans le calcul des EQR et de moyenner les EQR obtenus par espèce pour obtenir l'EQR correspondant à la métrique « extension ». Le même mode de calcul est proposé pour la métrique « densité ». Ces modifications seront notifiées et des exemples de calcul rapportés dans la version 2 du rapport « indicateur DCE « angiospermes » français » qui sera prochainement mis en ligne sur la base ARCHIMER.

Les calculs de RQE pour la métrique « extension » ont été réalisés sur la base de la grille présentée dans le tableau 3.

Tableau 16: Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « extension ». Valeur du RQE en 2013.

Modification de l'extension (toutes espèces confondues) par rapport aux conditions de référence et RQE	<i>Zostera noltei</i> RQE 2013	<i>Zostera marina</i> RQE 2013	<i>Zostera spp</i> * RQE 2013
0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96... 10% perte = 0,80			
11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74... 20% perte = 0,60			
21% perte = 0,59, 22% perte = 0,58, ... 30% perte = 0,50			
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30	0,42		0,30
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ... 100% perte = 0,00		0,185	

* Le RQE pour l'ensemble des herbiers de zostères (*Zostera spp*) est calculé en moyennant les RQE calculés pour les deux espèces.

2.6.3. Densité

Les données relatives à la densité des herbiers au cours des dernières années sont présentées dans le tableau 17. Les résultats montrent une relative stabilité des densités pour deux stations d'herbier de *Zostera noltei*, et la station de *Zostera marina*, avec des valeurs inférieures aux densités de référence et une amélioration pour la troisième station de *Zostera noltei*.

Tableau 17 : Evolution des densités des herbiers de zostères de la masse d'eau « Arcachon amont » au cours du temps. Valeur du RQE en 2012 (en gras, valeurs maximales observées depuis le début du suivi et qui servent de valeurs de référence pour le calcul du RQE)

Année	Recouvrement moyen sur la station <u>Estey Tort</u> int HZN (%)	Recouvrement moyen sur la station <u>Afrique</u> int HZN (%)	Recouvrement moyen sur la station <u>Hautebelle</u> int HZN (%)	Densité moyenne sur la station <u>Courbey sub ZM</u> (n/m ²)
2006	90	100		
2007	60	100		108
2008	95	100		113
2009	30	100		152
2010				
2011	20			125
2012	3	52	62	131
2013	3	56	89	120
Evolution par rapport à la densité maximale	-97%	-44%	Valeur de référence	-21%

Le calcul de RQE pour la métrique « densité » a été réalisé sur la base de la grille présentée dans le tableau 18 dans lequel figurent également les valeurs du RQE pour cette métrique en 2013.

Tableau 18 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur de RQE pour la métrique « densité ». Valeurs des RQE en 2013.

Changement de la densité par rapport aux conditions de référence et RQE	<i>Zostera noltei</i>				<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera spp*</i>
	Estey tort RQE 2013	Afrique RQE 2013	Hautebelle RQE 2013	<i>Z. noltei</i> RQE 2013	Courbey RQE 2013	RQE 2013 (moyenne Zm et Zn)
0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96... 10% perte = 0,80			1			
11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74... 20% perte = 0,60						
21% perte = 0,59, 22% perte = 0,58, ... 30% perte = 0,50					0,59	0,53
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30		0,36		0,475		
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ...100% perte = 0,00	0,065					

* Le RQE pour l'ensemble des herbiers de zostères (*Zostera spp*) est calculé en moyennant les RQE calculés pour les deux espèces.

2.6.4. L'indicateur angiosperme

L'EQR de l'indicateur « angiosperme » est calculé en moyennant les EQR des trois métriques retenues.

A partir de cet EQR, le classement de la masse d'eau pour cet indicateur est calculé selon les équivalences définies dans le tableau 19.

Tableau 19 : Grille de classement pour l'élément de qualité « angiospermes »

Statut écologique	EQR « angiospermes »
Très bon état	0,8–1,0
Bon état	0,6–0,79
Etat moyen	0,4–0,59
Etat médiocre	0,2–0,39
Mauvais état	0,0–0,19

Pour la masse d'eau « Arcachon amont », en 2012, l'indicateur « angiosperme » indique un « bon état », avec un RQE de 0,61 proche de la valeur seuil entre le bon et le moyen état (tableau 20). Ce classement s'explique principalement par la faible valeur de la métrique « extension », due notamment à la forte régression des herbiers de zostères marines dans les zones orientales du Bassin.

Tableau 20 : Résultats pour l'élément de qualité « angiospermes » en 2013 dans la masse d'eau « Arcachon amont »

Arcachon amont	Indices			Indicateur
	Composition	Extension	Densité	Angiosperme
EQR	1	<i>Zostera noltei</i> : 0,42 <i>Zostera marina</i> : 0,185 Zostères : 0,30	<i>Zostera noltei</i> : 0,475 <i>Zostera marina</i> : 0,59 Zostères : 0,53	0,61
Etat	Très bon état	Etat médiocre	Etat moyen	Bon état

Conclusion

Zostera marina

Les observations réalisées entre 2007 et 2012 font état d'une certaine stabilité des densités de pieds pour les herbiers du chenal du Courbey. Les variations inter annuelles des caractéristiques des plantes (hauteur et largeur des feuilles, déterminant la biomasse épigée et la surface utile) sont par contre assez importantes mais semblent pouvoir s'expliquer par celles des paramètres météorologiques s'appliquant sur ces herbiers.

En ce qui concerne l'extension de cette espèce dans le Bassin, on ne dispose pas d'observations récentes. Cependant, les résultats partiels acquis en 2010 (Auby *et al.*, 2011) ne montraient aucune recolonisation des bordures de chenaux dans les zones orientales d'où cette espèce avait disparu entre les années 1980 et 2000. Dans le sud-est du Bassin, cette non recolonisation semble pouvoir s'expliquer par une augmentation de la turbidité de l'eau, les zostères marines se trouvant alors limitées par l'éclairement (Paolin, 2012)⁵.

Zostera noltei

Les résultats acquis au cours de ces dernières campagnes sur les deux stations suivies depuis 2006 indiquent une forte régression des densités dans le centre de la partie orientale du Bassin (Estey Tort), phénomène constant depuis ces dernières années. De plus, en 2012 et 2013, l'herbier situé dans la partie ouest de la Baie (Afrique) semble présenter un déclin par rapport aux années précédentes.

Par contre, l'herbier échantillonné pour la première fois en 2012 (Hautebelle) présente un très fort taux de recouvrement, qui s'avère d'ailleurs plus élevé en 2013 qu'en 2012.

Cette disparité des trois stations reflète assez justement celle constatée sur l'ensemble du Bassin, où l'état des différentes zones d'herbier est très variable, sans doute en raison de la gradation des pressions (éclairage, température, contaminants,...) qui s'y appliquent.

Globalement, du point de vue de l'extension de cette espèce, l'étude réalisée par Lafon en 2012 (com. pers.) fait néanmoins état d'une régression qui s'est poursuivie depuis 2007.

Les causes de la régression des deux espèces de zostères ont été étudiées dans le cadre d'une étude réalisée en 2010-2011 (Auby *et al.*, 2011). Les conclusions de ce travail ont permis d'innocenter les oiseaux herbivores (canards siffleurs, cygnes et bernaches) comme cause de ce déclin. Parmi les facteurs suspectés, la température peut être mise en cause. Il est en effet probable que les canicules de 2003 et 2006 aient eu un impact négatif sur ces herbiers, notamment sur *Zostera marina*, comme cela a été évoqué sur des populations plus méridionales de zostères et de posidonies. Par ailleurs, il semble que les contaminants présents dans les eaux jouent un rôle non

⁵ Rapport de stage téléchargeable à l'adresse suivante : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00101/21209/18824.pdf>

négligeable sur la survie et la production des zostères. Cette piste a suscité l'implication de la communauté scientifique, notamment chimistes, généticiens et écotoxicologues de l'UMR EPOC. Les premiers résultats obtenus à ce sujet seront prochainement publiés. Enfin, on peut suspecter que la régression des herbiers, dont l'une des fonctions est de fixer les sédiments fins, a provoqué l'augmentation de la turbidité des eaux, ce qui rend problématique la réinstallation des zostères dans les zones les basses de l'estran et dans les chenaux orientaux. Cette hypothèse sera prochainement étudiée plus précisément grâce aux outils de modélisation.

L'indicateur angiospermes

Alors qu'en 2012 l'indicateur « angiospermes » montrait un « état moyen » de cette masse d'eau, le classement obtenu en 2013 indique un « bon état ». Cette évolution apparente repose sur une très légère augmentation du RQE (0,2 points) et n'est due qu'à la prise en compte d'un nouveau point de suivi stationnel (Hautebelle), dans laquelle le recouvrement s'est amélioré entre 2012 et 2013.

Cette classification en « bon état » est donc très fragile et une attention particulière doit toujours être apportée à cet élément de qualité dans les prochaines années.

Bibliographie

- Auby I.** (1991). Contribution à l'étude des herbiers de *Zostera noltii* du Bassin d'Arcachon : Dynamique, production et dégradation; macrofaune associée. *Thèse de l'Université de Bordeaux I*, 234 p.
- 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*, *Zostera noltei*. Rapport RST/LER/MPL/12.03, 24 p.
- Auby I., Sauriau P.-G., Oger-Jeanneret H., Hily C., Dalloyau S., Rollet C., Trut G., Fortune M., Plus M., Rigouin L.** (2014). Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) *Zostera marina* - *Zostera noltei*. Version 2. RST/LER/AR/14.01, 50p.
- Auby I., Bost C.A., Budzinski H., Dalloyau S., Desternes A., Belles A., Trut G., Plus M., Pere C., Couzi L., Feigne C., Steinmetz J.** (2011). Régression des herbiers de zostères dans le Bassin d'Arcachon : état des lieux et recherche des causes. Rapport Ifremer, RST/ODE/LER/AR/11.007, 195 p.
- Auby I., Oger-Jeanneret H., Sauriau P.-G., Hily C., Barillé L.** (2010). Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité, 72 p + annexes.
- Auby I., Trut G., Blanchet H., Gouilleux B., Lavesque N., Pothier A.** (2008). Echantillonnage des sites de référence DCE pour les paramètres "faune invertébrée benthique" et "végétation" – District hydrographique Adour-Garonne. Rapport Ifremer, RST/LER/AR/08-001, 33 p.
- Auby I., Trut G., Barbier C., Cordier M.A., Bujan S.** (2011). Suivi stationnel de l'herbier de zostères naines (*Zostera noltii*) de la Masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - District Hydrographique Adour-Garonne - 2007-2008-2009. Rapport Ifremer, RST /LER/AR/11-002, 27 p.
- 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.
- Burdick D.M., Short F.T., Wolf J.** (1993). An index to assess and monitor the progression of wasting disease in eelgrass *Zostera marina*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **94**, 83-90.
- Dauvin J.C., Bellan G., Bellan-Santini D., Castric A., Comolet-Tirman J., Francour F., Gentil F., Girard A., Gofas S., Mahé C., Noël P., de Reviers B.** (1993). Typologie des Znieff-Mer. Liste des paramètres et des biocénoses de côtes françaises métropolitaines. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris : 44p
- Dalloyau S.** (2008). Réponse fonctionnelle et stratégies d'hivernage chez un anséridé en lien avec la disponibilité de la ressource alimentaire. Cas de la Bernache cravant à ventre sombre (*Branta bernicla bernicla*) en hivernage sur le littoral atlantique (île d'Oléron, Charente-Maritime 17). Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Science de la Vie et de la Terre, Université de Montpellier II.
- Dalloyau S., Trut G., Plus M., Auby I., Emery E.** (2009). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers de *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Bassin d'Arcachon. Rapport Ifremer RST /LER/AR/09-003, 52 p.

- Den Hartog C.** (1987). "Wasting disease" and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. *Aquat. Bot.*, **27**, 3-14.
- Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde** (2010). Espèces protégées. Le cygne tuberculé : Encore bien présent en été. Tableau de bord 2010, 32-33.
- Hily C., Raffin C., Brun A., Den Hartog C.** (2002). Spatio-temporal variability of wasting disease symptoms in eelgrass meadows of Brittany (France). *Aquat. Bot.*, **72**, 37-53.
- Hily C., Sauriau P.G., Auby I.** (2007). Protocoles suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) - *Zostera marina* – *Zostera noltei*. Rapport LEMAR, CNRS, IFREMER, 10 p.
- Laugier T., Rigollet V., de Casabianca M.L.** (1999). Seasonal dynamics in mixed eelgrass beds, *Zostera marina* L. and *Zostera noltei* Hornem., in a Mediterranean coastal lagoon (Thau lagoon, France). *Aquat. Bot.*, **63**, 51-69.
- Olesen B., Sand-Jensen K.** (1994). Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations—shoot dynamics and biomass development. *J. Ecol.* **82**, 379–390.
- Péré C., Haas J., Veiga J.** (2010). Nouvelles données sur le statut du cygne tuberculé (*Cygnus olor*) sur le Bassin d'Arcachon (Gironde). Faune sauvage, bulletin technique et juridique de l'ONCFS, 287, 8-15.
- Plus M., Dalloyau S., Trut G., Auby I., Montaudouin de X., Emery C., Noël C., Viala C.** (2010). Long-term evolution (1988–2008) of *Zostera* spp. meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **87** (2010) 357–366.
- Short F.T., Mathieson A.C., Nelson J.I.** (1986). Recurrence of an eelgrass wasting disease on the border of New Hampshire and Maine. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **29**, 89-92.
- Short F.T., Muehlstein L.K., Porter D.** (1987). Eelgrass wasting disease : cause and recurrence of a marine epidemic. *Biol. Bull.*, **173**, 557-552.

Annexe 1

Position des grilles dans les trois stations d'herbier de *Zostera noltei* en 2013



Figure A : Position de la grille dans l'herbier de la station Estey Tort int HZN

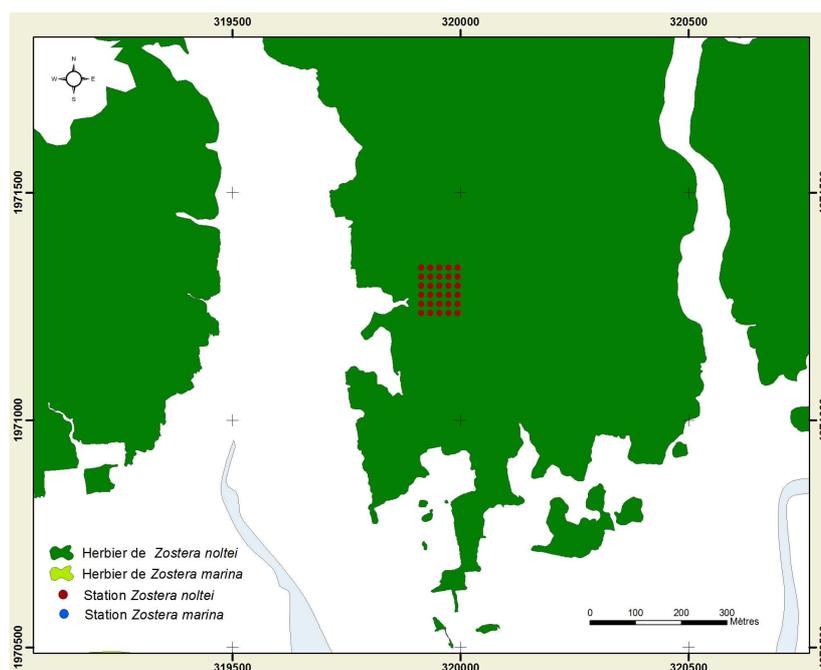


Figure B : Position de la grille dans l'herbier de la station Afrique int HZN

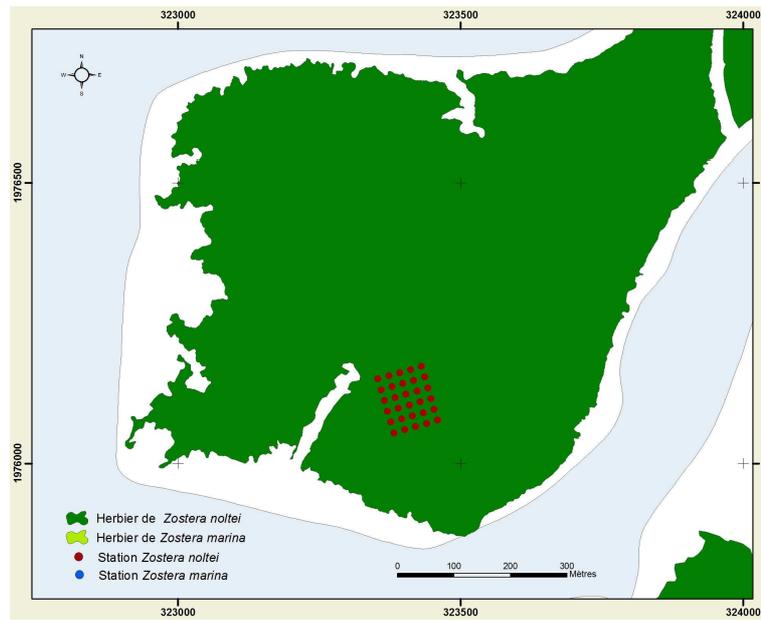


Figure C : Position de la grille dans l'herbier de la station Hautebelle int HZN

Annexe 2

Données climatiques et hydrologiques

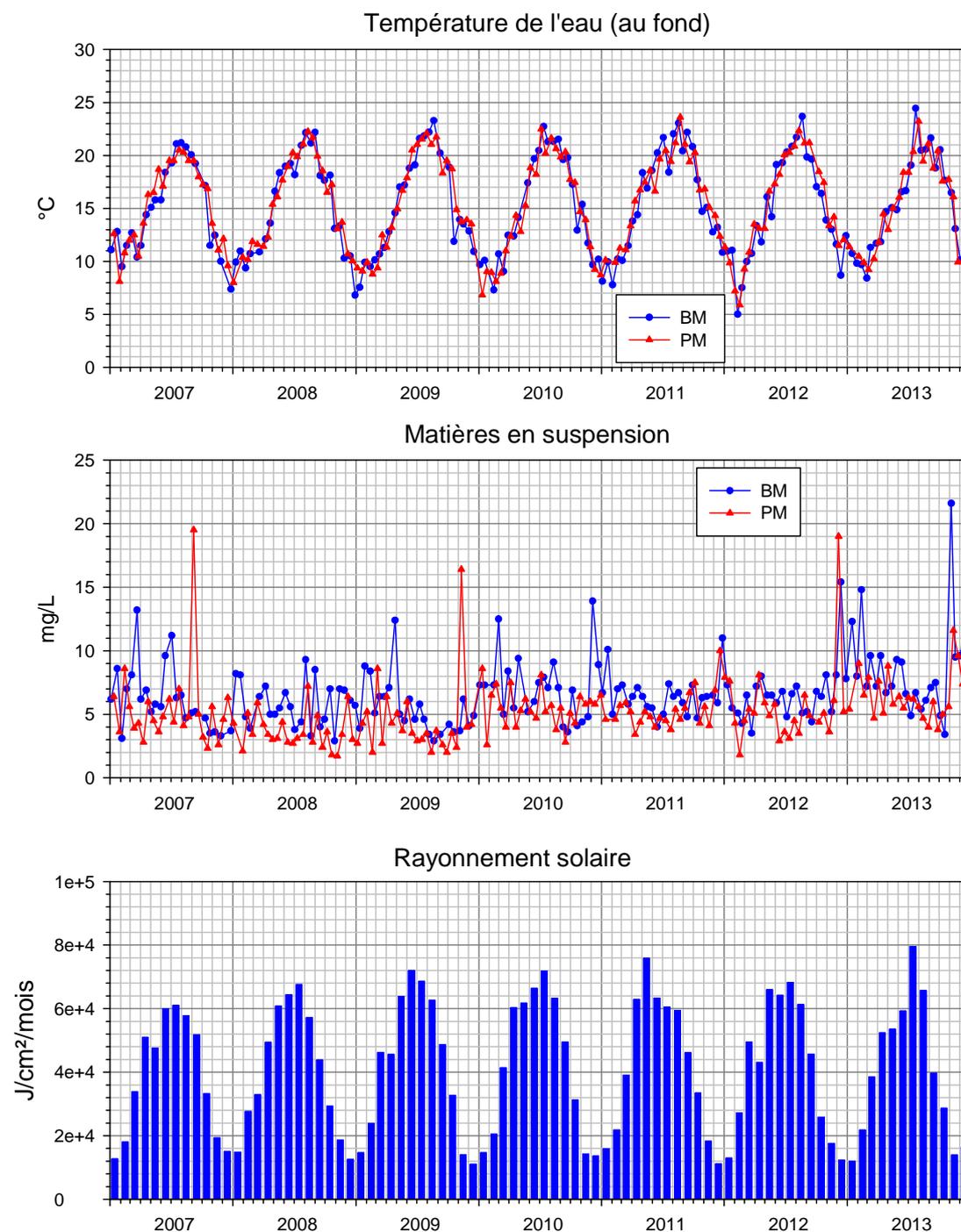


Figure D : Evolution temporelle de la température de l'eau (au fond) et des teneurs en matières en suspension à la station Courbey du réseau ARCHYD, et du rayonnement solaire à la station météorologique du Cap Ferret entre 2007 et 2013.

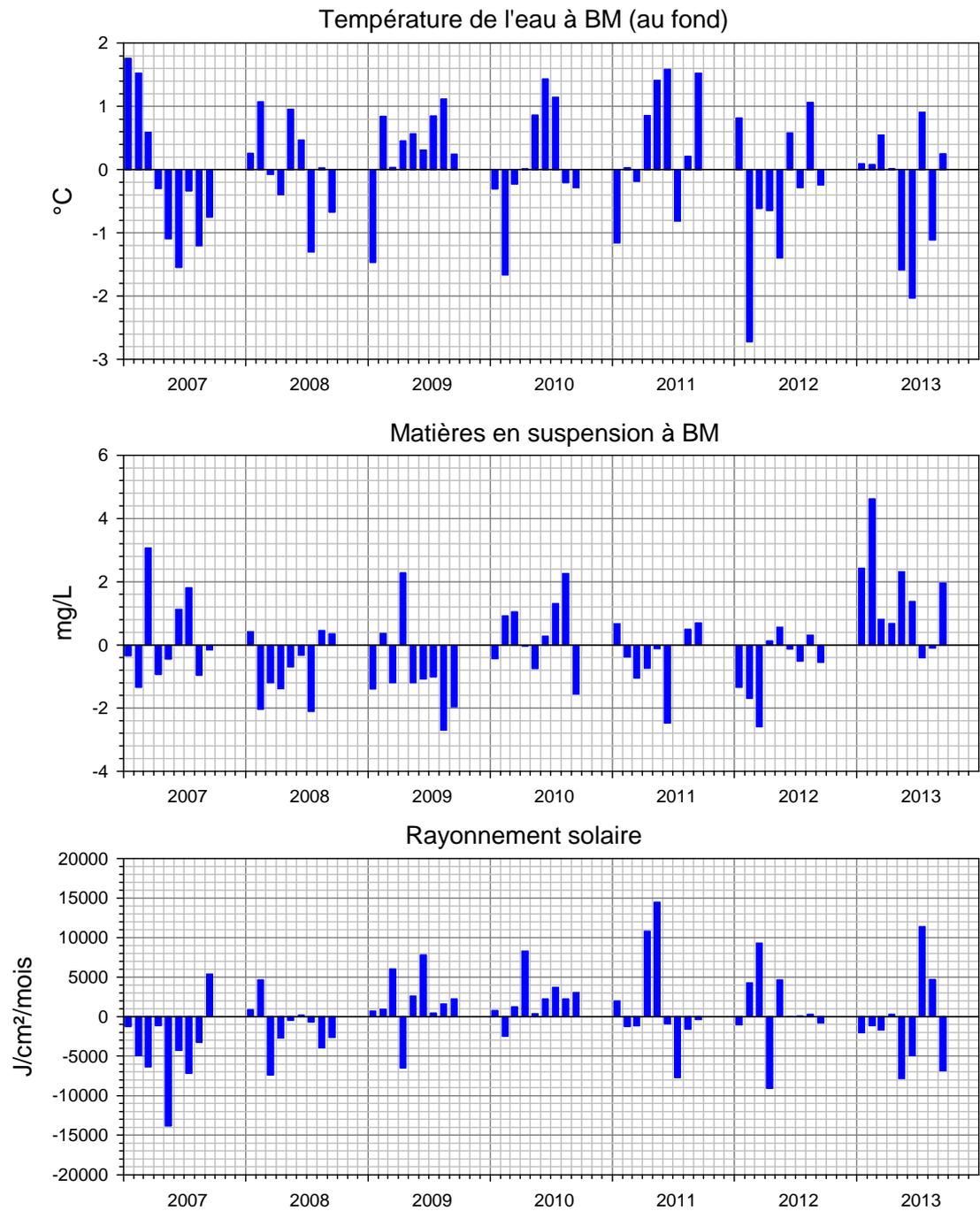


Figure E : Ecarts à la moyenne (2007-2013), de janvier à septembre, des paramètres présentés dans la figure D, entre les mois de janvier et septembre des sept années.