

Ifremer - ODE UL
Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon
Isabelle Auby
Loïc Rigouin
Gilles Trut
Hélène Oger-Jeanneret
Florian Ganthy
Florence Trut
Laure Gouriou

CNRS – Université Bordeaux- UMR EPOC 5805
Stéphane Bujan
Ludovic Devaux
Benoît Guillieux

Réseau National Bernache (Coord.)
Ligue de Protection des Oiseaux Rochefort
Sébastien Dalloyau

Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne
Claude Feigné

Juin 2016 - RST /ODE/UL/LER/AR/16-006

Suivi stationnel (2006-2015) des herbiers de
zostères (*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et
calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2015)
dans la masse d'eau côtière FRFC06
– Arcachon amont -
- Bassin Hydrographique Adour-Garonne -



© Benoit Guillieux – Université Bordeaux

Suivi stationnel (2006-2015) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Z. marina*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2015) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont -

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : <b style="text-align: center;">RST/ODE/UL/LER/AR/16-006. Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>	Date de publication : Juin 2016 Nombre de pages : 50 Bibliographie: oui Illustration(s): oui Langue du rapport : Français
Titre et sous-titre du rapport : Suivi stationnel (2006-2015) des herbiers de zostères (<i>Zostera noltei</i> et <i>Z. marina</i>) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2015) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont -	
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur(s) principal (aux) : Isabelle Auby Loïc Rigouin Gilles Trut Hélène Oger-Jeanneret Florian Ganthy Florence Trut Laure Gouriou Stéphane Bujan Ludovic Devaux Benoît Gouillieux Sébastien Dalloyau Claude Feigné	Organisme / Direction / Service, laboratoire : Ifremer – LER Arcachon CNRS/Université Bordeaux- UMR EPOC 5805 Réseau National Bernache (Coord.) Ligue de Protection des Oiseaux Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne
Cadre de la recherche : PJ0504 Surveillance des peuplements benthiques A050404 REBENT – Bassin Adour-Garonne	

sommaire

INTRODUCTION.....	1
1. PROCOLES	5
1.1. Stations	5
1.2. Dates de prélèvement	6
1.3. Prélèvements et analyses du sédiment	6
1.4. Prélèvements et analyses des macroalgues	7
1.5. Prélèvements et analyses des zostères.....	7
2. RÉSULTATS.....	11
2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères.....	11
2.2. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Estey Tort int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	17
2.2.1. Le sédiment	18
2.2.2. Les macroalgues.....	18
2.2.3. Les zostères.....	19
2.3. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Afrique int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	22
2.3.1. Le sédiment	23
2.3.2. Les macroalgues.....	23
2.3.3. Les zostères.....	25
2.4. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Hautebelle int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	27
2.4.1. Le sédiment	27
2.4.2. Les macroalgues.....	27
2.4.3. Les zostères.....	29
2.5. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de <i>Zostera marina</i>	32
2.5.1. Le sédiment	32
2.5.2. Les macroalgues.....	32
2.5.3. Les épiphytes	32
2.5.4. Les zostères.....	33
2.5.5. Indice de maladie - Wasting Index (WI).....	36
2.6. Calcul de l'indicateur « angiospermes » sur la masse d'eau Arcachon amont	39
2.6.1. Composition taxinomique.....	39
2.6.2. Extension	40
2.6.3. Abondance	40
2.6.4. L'indicateur angiosperme	42
CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE	45
ANNEXE 1 POSITION DES GRILLES DANS LES TROIS STATIONS D'HERBIER DE <i>ZOSTERA NOLTEI</i> EN 2015	49

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 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 morfo-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. Il a ensuite fait l'objet de quelques compléments méthodologiques en 2014 (Auby *et al.*, 2014).

Les résultats acquis depuis le début des suivis stationnels sont consultables sur des rapports téléchargeables sur le site Envlit¹ et/ou sur la base Archimer².

- Masse d'eau « Pertuis charentais » - FRFC02 (Sauriau, 2008 ; Sauriau *et al.*, 2008 ; Sauriau *et al.*, 2009 ; Sauriau *et al.*, 2012 ; Sauriau et Aubert, 2013 ; Sauriau *et al.*, 2014 ; Sauriau et Aubert, 2016);
- Masse d'eau « Arcachon amont » – FRFC06 (Auby *et al.*, 2015);
- Masse d'eau « Lac d'Hossegor »– FRFC09 (Auby *et al.*, 2015).
- Masse d'eau « Estuaire de la Bidassoa » - FRFT8 (Sanchez *et al.*, 2007 ; de Casamajor *et al.*, 2008 ; Sanchez *et al.*, 2010 ; Sanchez *et al.*, 2013 ; Sanchez *et al.*, 2014 ; Sanchez *et al.*, 2013 ; Sanchez *et al.*, 2015).

Des fiches synthétiques sont également disponibles à partir de l'atlas DCE Adour-Garonne

http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas_DCE/scripts/site/carte.php?map=AG

Les herbiers de zostères de ces différents sites ont également fait l'objet de cartographies complètes en 2007-2008 (également téléchargeables depuis le site Envlit ou la base Archimer).

- Masse d'Eau « Pertuis charentais »- FRFC02 (Lafon *et al.*, 2009) ;
- Masses d'Eau « Arcachon amont » – FRFC06 et « Arcachon aval »- FRFC07 (Dalloyau *et al.*, 2009 ; Plus *et al.*, 2010) ;
- Masse d'Eau « Lac d'Hossegor »– FRFC09 (Trut *et al.*, 2009) ;
- Masse d'eau « Estuaire de la Bidassoa »- FRFT8 (Lissardy *et al.*, 2007).

En 2012 et 2013, les herbiers de certaines masses d'eau ont fait l'objet de nouvelles cartographies :

- « Lac d'Hossegor » (Trut *et al.*, 2014)
- « Estuaire de la Bidassoa » (Sanchez *et al.*, 2014)
- « Pertuis charentais » (Lafon *et al.*, 2014) ont été réalisées.

Par ailleurs, une cartographie des herbiers de *Zostera noltei* du Bassin d'Arcachon, réalisée par télédétection spatiale, a été établie sur la base d'une image formosat-2 acquise en août 2012 (Lafon, com. pers.).

¹ <http://envlit.ifremer.fr/documents/publications>

² <http://archimer.ifremer.fr/>

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 » en 2015.

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'Île, 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.

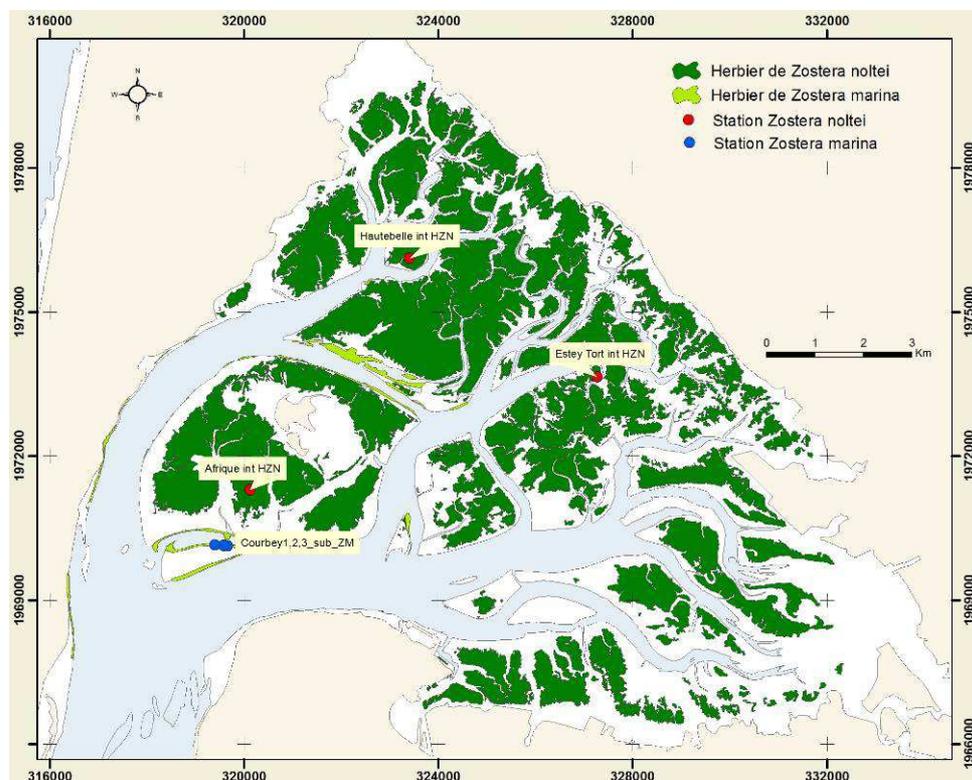


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements des deux espèces de zostères dans le Bassin d'Arcachon (Carte des herbiers d'après Plus *et al.*, 2010).

1.2. Dates de prélèvement

Les dates d'échantillonnage des années précédentes (2006 à 2014) sont consignées dans les rapports précédents téléchargeables sur la base bibliographique Archimer.

En 2015 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	5 août 2015
FRFC06	Afrique int HZN	28 août 2015
FRFC06	Hautebelle int HZN	3 août 2015
FRFC06	Courbey1_sub_ZM Courbey2_sub_ZM Courbey3_sub_ZM	21 septembre 2015

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 et 2012; 17 en 2008, 2009 et à partir de 2013.

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	Séchage 48 h en étuve à 60°C – Pesée de 100 g sédiment sec à 0,01 g – Passage humide sur tamis de maille 63 µm – Séchage 48 h en étude à 60°C – Passage à sec sur série de tamis AFNOR (de 4 mm à 63µm) – Pesée de chaque fraction à 0,01 g – Paramètres de distribution obtenus par méthode numérique selon procédure GRADISTAT (Blott & Pye, 2001)

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 à partir de cette date.*

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*

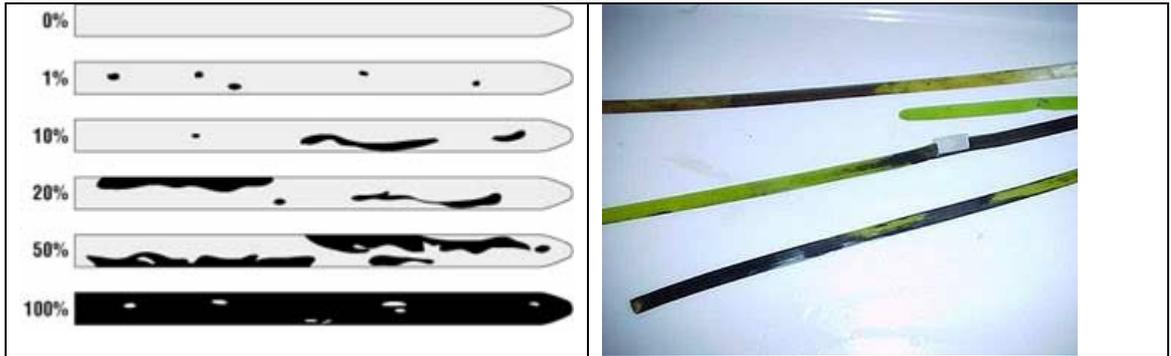
Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier métallique
Dimensions échantillon	2 x (0,20 m x 0,20 m) = 0,08 m ²
Nombre d'échantillons	6 échantillons (2 par point) + 3 échantillons (1 par point) pour dénombrement des pieds in situ
Analyse	Dénombrement des pieds Mesures des feuilles Biomasse des différents 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 cravants 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 nolte*) 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 **dénombrements d'oiseaux d'eau** sont réalisés sous l'égide de l'association *Wetlands International* par un réseau d'observateurs locaux (indépendants, Associations locales ou nationales de protection de la nature, Fédérations de Chasse, ONCFS, Parcs Naturels, ...). Ces observateurs transmettent leurs données à la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) qui assure, sur le plan national, la coordination de ces dénombrements pour *Wetlands International*.

Ces comptages sont notamment réalisés chaque année à l'échelle de tout le paléarctique, à la mi-janvier, dans le cadre *l'International Birds Census* coordonné par *Wetlands International*.

Par ailleurs, également sous l'égide de *Wetlands International*, un certain nombre de groupes spécialisés (anatidae, oies, ...) se sont mis en place, de façon à accentuer le suivi sur certaines espèces ou groupes d'espèces (par exemple les bernaches).

Enfin, dans le cadre d'études particulières, certaines espèces (par exemple les cygnes) sont dénombrées au cours d'autres mois que le mois de janvier dans des sites d'intérêt.

- Les **canards siffleurs** sont dénombrés chaque hiver, à la mi-janvier, dans le cadre de *l'International Birds Census*. Leur abondance est relativement limitée sur

le Bassin d'Arcachon (évoluant entre 220 et 510 individus pendant les derniers hivers) et ne présente pas d'évolution récente particulière³.

- 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) (*International Birds Census*). .

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). Par la suite, les effectifs hivernaux ont toujours été assez faibles : 118 cygnes dénombrés en janvier 2013, 81 en janvier 2014 et 109 en janvier 2015.

Depuis une vingtaine 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.). Depuis **2013**, les dénombrements ne sont 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 (de 630 à 1280).

- Les **bernaches cravants** sont dénombrées dans le cadre du Groupe de travail sur les Oies (*Goose Specialist Group*) à l'échelle européenne. Au niveau national,

³ 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

les dénombrements sont réalisés de septembre à mars, sous la coordination du Réseau National Bernaches pour l'ensemble des sites littoraux où elles hivernent.

Sur le bassin d'Arcachon, les dénombrements sont actuellement coordonnés par la Fédération des Chasseurs de la Gironde qui pilote le suivi hivernal en s'appuyant sur un réseau d'observateurs regroupant divers partenaires associatifs (SEPANSO/RNN banc d'Arguin, ACMBA) ou institutionnels (PNRLG, ONCFS). Les données sont transmises au Réseau au Réseau National Bernache qui en assure la centralisation et communique chaque année les bilans à l'association *Wetlands International*, à des fins d'estimation de taille de population et d'utilisation de l'espace. Les données recueillies au mois de janvier sont versées dans la base *International Birds Census*.

Ces dénombrements permettent de mettre en évidence une augmentation des populations hivernant en France depuis 1976 (Figure 2) alors que l'ensemble de la population biogéographique enregistre un fort déclin ($\approx -34\%$) depuis le milieu des années 90.

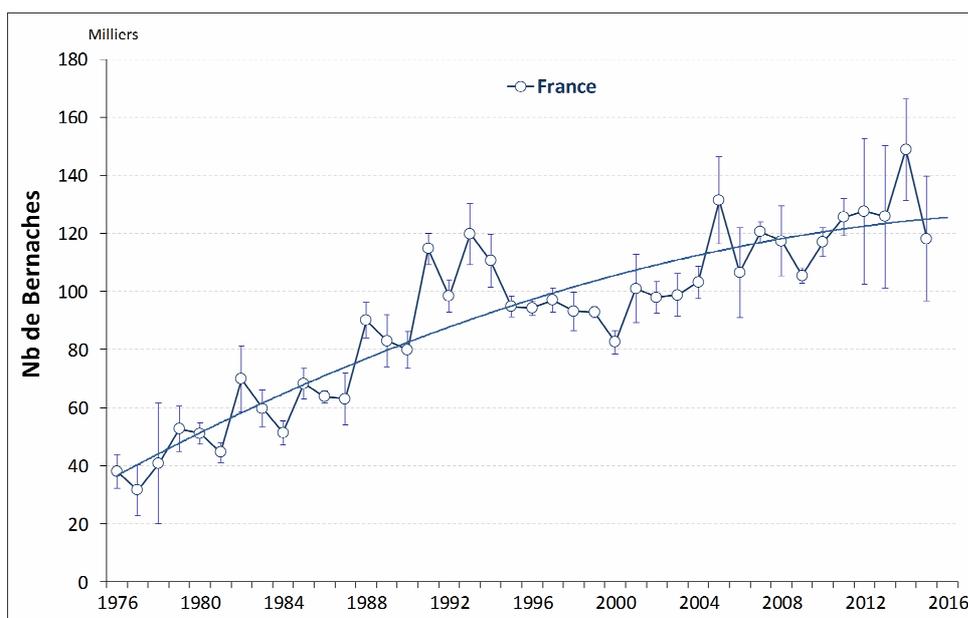


Figure 2 : Évolution des stationnements hivernaux de Bernaches cravants à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) sur le littoral français (moy./SD : nov., déc., janv.) 1976-2016. S. Dalloyau & S. Le Dréan-Quénéec'hdu (coord. national) Réseau National Bernache/Wetlands International

Ainsi, le littoral français accueille actuellement 60 à 70 % de la population biogéographique de Bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*), contre environ 40% dans les années 1980 (S. Dalloyau & S. Le Dréan-Quénéec'hdu, comm. pers.).

En parallèle, le Bassin d'Arcachon est devenu le site national majeur (et européen, dans ce contexte) pour l'hivernage des bernaches depuis la fin des années 1990 (Figure 3).

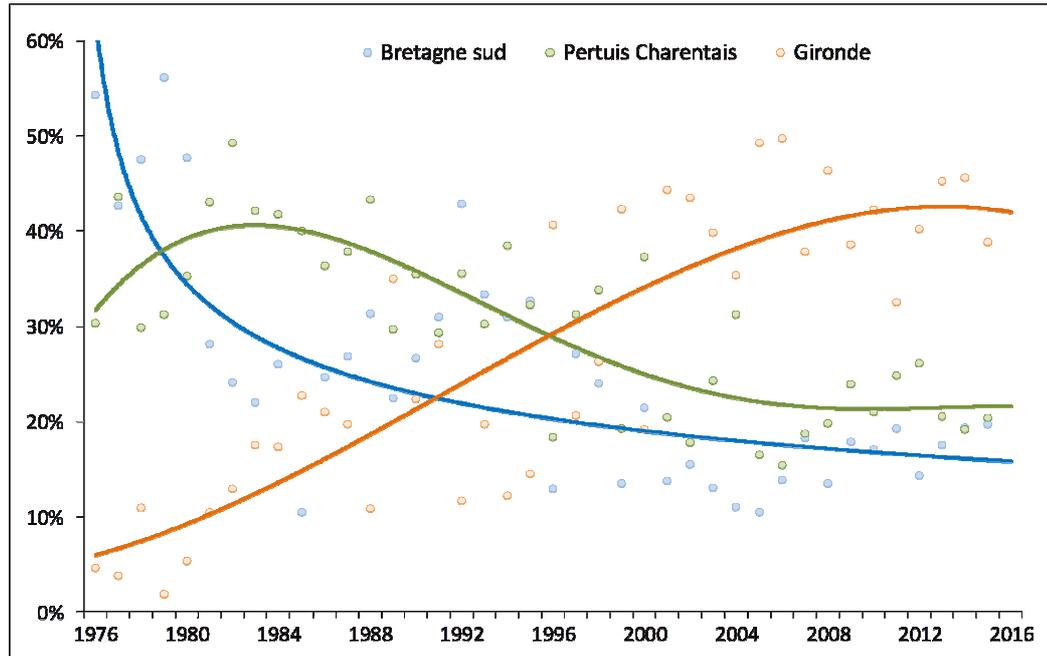


Figure 3 : Tendances sur les trois principaux secteurs d'hivernage pour la Bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) au pic d'abondance, 1976-2016. S. Dalloyau & S. Le Dréan-Quéné'hdu (coord. national) Réseau National Bernache/Wetlands International

Les données acquises par le réseau de comptage au cours des dernières années révèlent que les effectifs de bernaches hivernant sur le Bassin ont augmenté au cours du temps (Figure 4), mais semblent se stabiliser au cours des hivernages récents, laissant apparaître des périodes d'abondance plus réduites que par le passé.

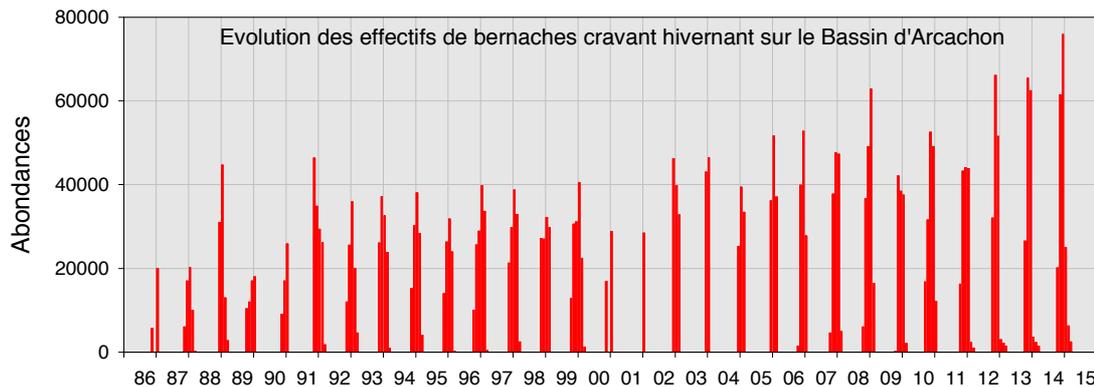


Figure 4 : Abondance des bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2015.

De ce fait, la consommation maximale mensuelle 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).

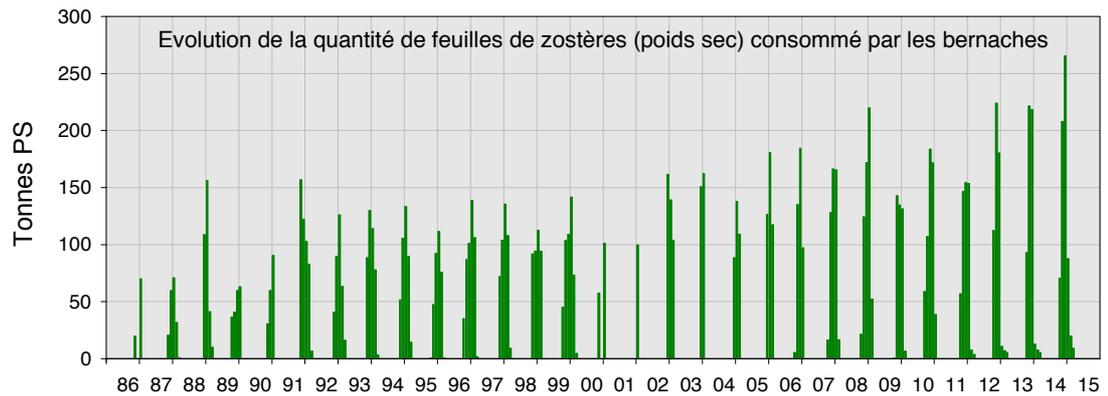


Figure 5 : Consommation mensuelle de feuilles de zostères (poids sec) par les bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2015.

Les quantités totales de feuilles de zostères présentes sur le site pendant les périodes d'hivernage ont été calculées en multipliant les biomasses moyennes sur différents herbiers (Ribaudo *et al.*, 2016) avec les surfaces de ces herbiers aux différentes périodes (Plus *et al.*, 2010) (Figure 6).

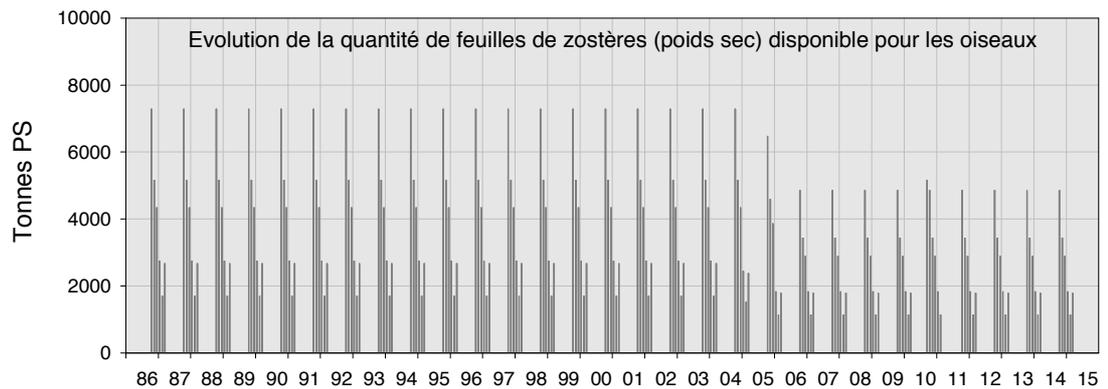


Figure 6 : Biomasses totales de feuilles de zostères (poids sec) dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2013.

On peut alors calculer la proportion de feuilles consommées par rapport au stock total (Figure 7).

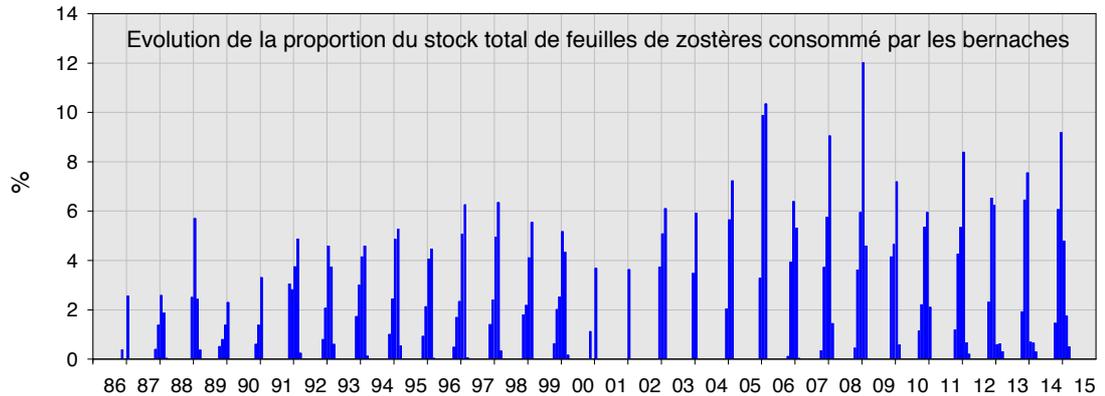


Figure 7 : Proportions mensuelles du stock total de feuilles de zostères consommé par les bernaches dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2015.

Ces calculs indiquent que les prélèvements réalisés par ces oies atteignent un maximum de 12 % (janvier 2008) pour une moyenne s'établissant autour de 5% du stock de feuilles des mois d'hiver, ce qui peut être considéré comme relativement négligeable, et ceci d'autant plus que les bernaches consomment également les feuilles flottantes ou échouées (photo 1a), voire des algues vertes (photo 1b).



Photos 1a et 1b : Bernaches consommant les feuilles de zostères détachées des herbiers (1a - gauche) et des entéromorphes (1b droite)- (photos Gilles Trut, Ifremer, LER/AR)

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 2), tandis que la zone située à l'Ouest de l'Estey Tort présentait encore des herbiers en bon état (photo 3).



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



Photo 3 : 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 ont néanmoins évolué au cours du temps (Tableau 1). Ces variations sont symptomatiques 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
2014	< 63	69,06	Vase sableuse	7,22 \pm 0,96
2015	< 63	62,16	Vase sableuse	7,24 \pm 1,43

* 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 (en poids sec) des macroalgues (\pm ET) 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 1,99	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
2014	0	0	0
2015	0	0	0

2.2.3. Les zostères

A cette station, ainsi que dans les zones environnantes, aucun pied de la forme parvozostéride⁴ de *Zostera marina* n'a été observé dans les dépressions des herbiers intertidaux au cours de la période d'étude (2006 à 2015).

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
2014	7		12,5	1
2015	0		0	0

* Avant 2011, le pourcentage de surface végétalisée sur la station était estimée visuellement sur une surface d'environ 100m x 100m 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.

Les résultats présentés dans le tableau 3 indiquent une forte dégradation des herbiers de cette station entre 2008 et 2009. Ce déclin s'observe aussi bien du point de vue global (réduction du pourcentage de zones végétalisées) que du recouvrement dans les zones végétalisées. La situation s'est encore aggravée en **2012** (tableau 3, figure 8 et photo 4), seul un petit triangle d'herbier subsistant cette année là.

⁴ 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.



Photo 4 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en septembre 2012.

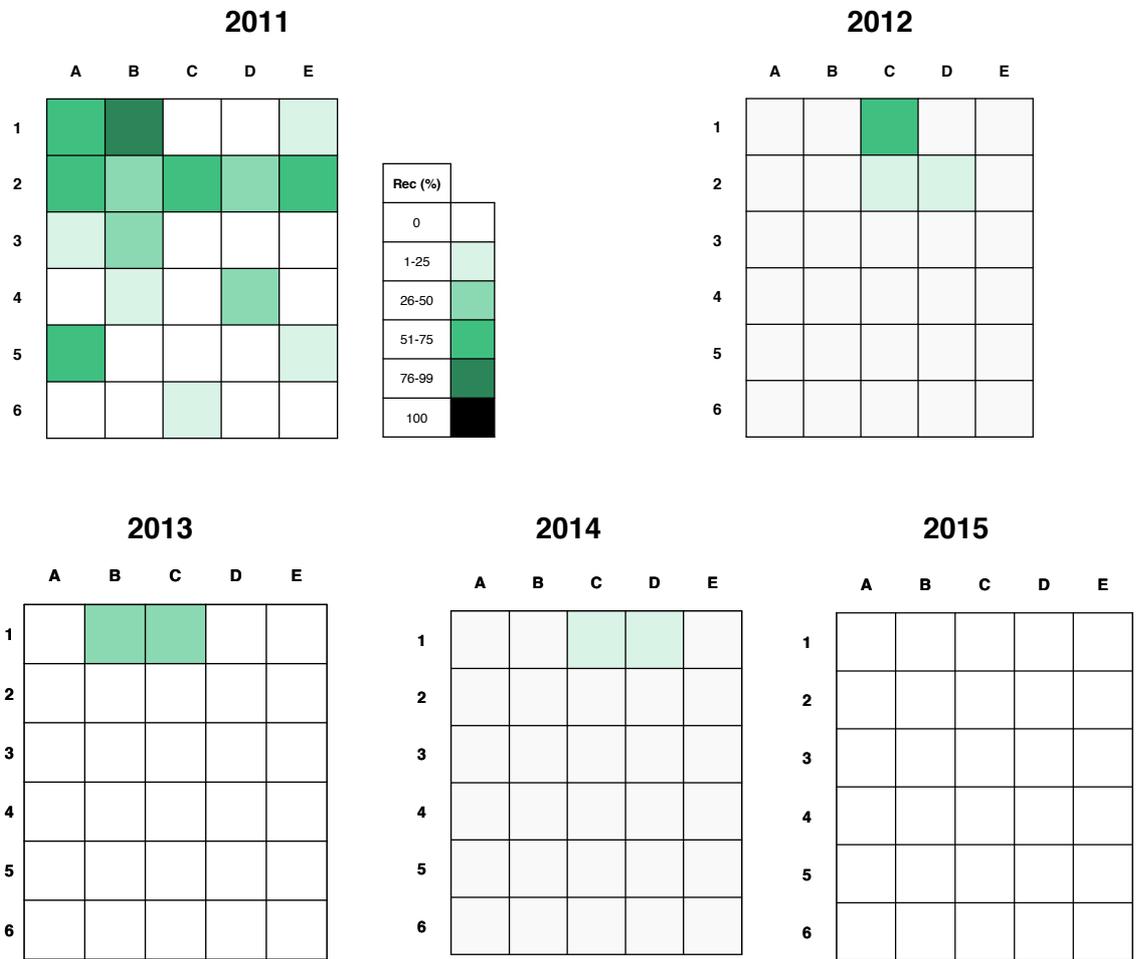


Figure 8 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Estey Tort int HZN.

En **2013 et 2014**, l'emprise de l'herbier s'est encore réduite sur cette station, pour en disparaître complètement en 2015 (photo 5)



Photo 5 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en août 2015.

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 6). 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 6 : 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 7).



Photo 7 : 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 \pm 0,8
2007	153	17,7	Sable fin envasé	2,43 \pm 0,7
2008	151	11,7	Sable fin envasé	2,0 \pm 0,4
2009	163	18,8	Sable fin envasé	2,1 \pm 0,3
2012	213	28,5	Vase sableuse	3,0 \pm 0,7
2013	146	19,2	Sable fin envasé	1,8 \pm 0,6
2014	134	23,5	Sable fin envasé	2,9 \pm 0,7
2015	148	14,9	Sable fin envasé	1,8 \pm 0,5

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

** Moyenne \pm 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 8) et des gracilaires (Rhodophyta) (figure 9) colonisent cette station, ces macroalgues présentant néanmoins des biomasses assez faibles, notamment en 2015.



Photo 8 : Entéromorphes sur l'herbier de la « nouvelle » station « Afrique int HZN » en août 2014.

Tableau 5: Biomasse (en poids sec) des macroalgues (\pm ET) 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 \pm 5,8	0	3,3 \pm 1,4
2009	7,4 \pm 0,6	0	0
2012	0,8 \pm 1,5	0	1,1 \pm 1,0
2013	8,8 \pm 2,3	0	0,8 \pm 0,6
2014	4,4 \pm 2,0	0	1,0 \pm 0,6
2015	0,5 \pm 1,9	0	0,3 \pm 0,6

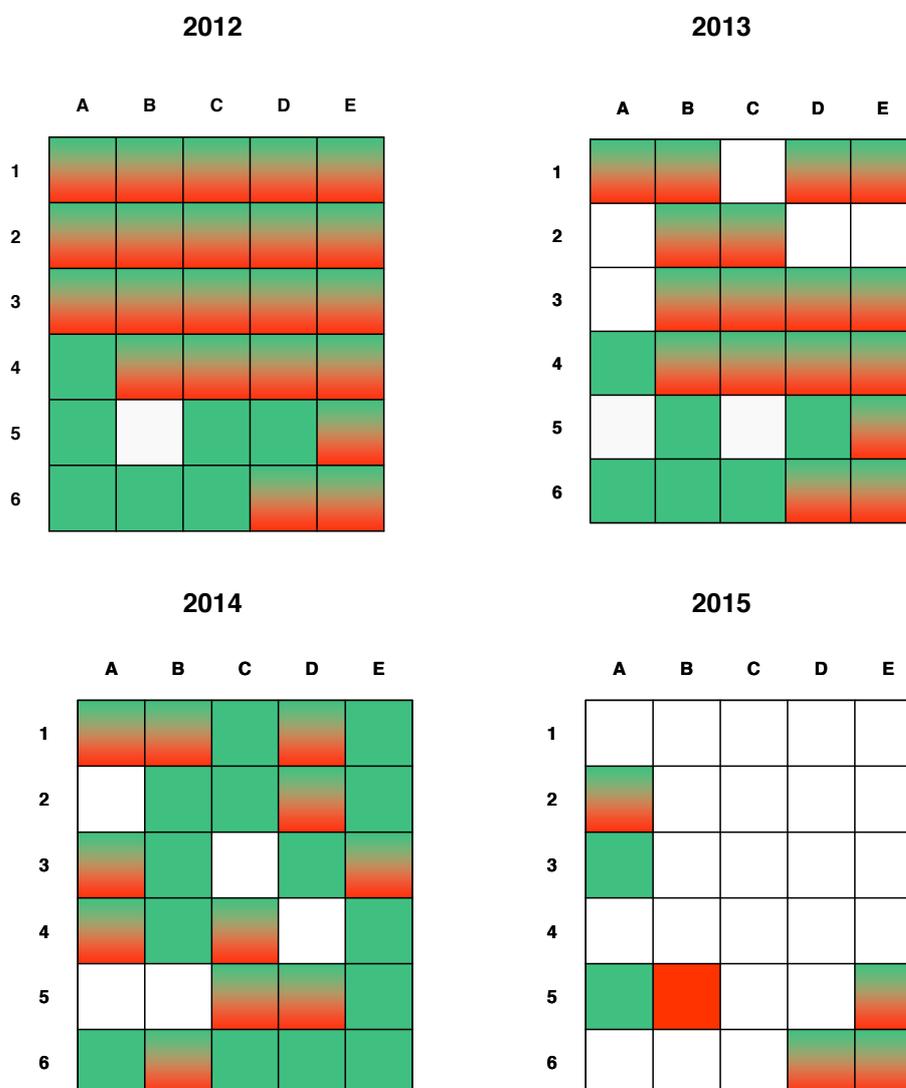


Figure 9 : Répartition des macroalgues (Chlorophyta et Rhodophyta) dans les cadrats de la station Afrique int HZN.

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 9).



Photo 9 : *Zostera marina* dans l'herbier de la station « Afrique int HZN ».

Dans cet herbier, le recouvrement était moins important entre **2012** et **2015** qu'entre **2006** et **2009** (tableau 6 et figure 10). Toutefois, la surface végétalisée est demeurée à peu près constante et maximale au cours du temps (photo 10).

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
2014	93,3		63	58
2015	100		55	55

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

Comme cela apparaît sur la figure 10 et la photo 10, cet herbier est très hétérogène du point de vue des densités de zostères.

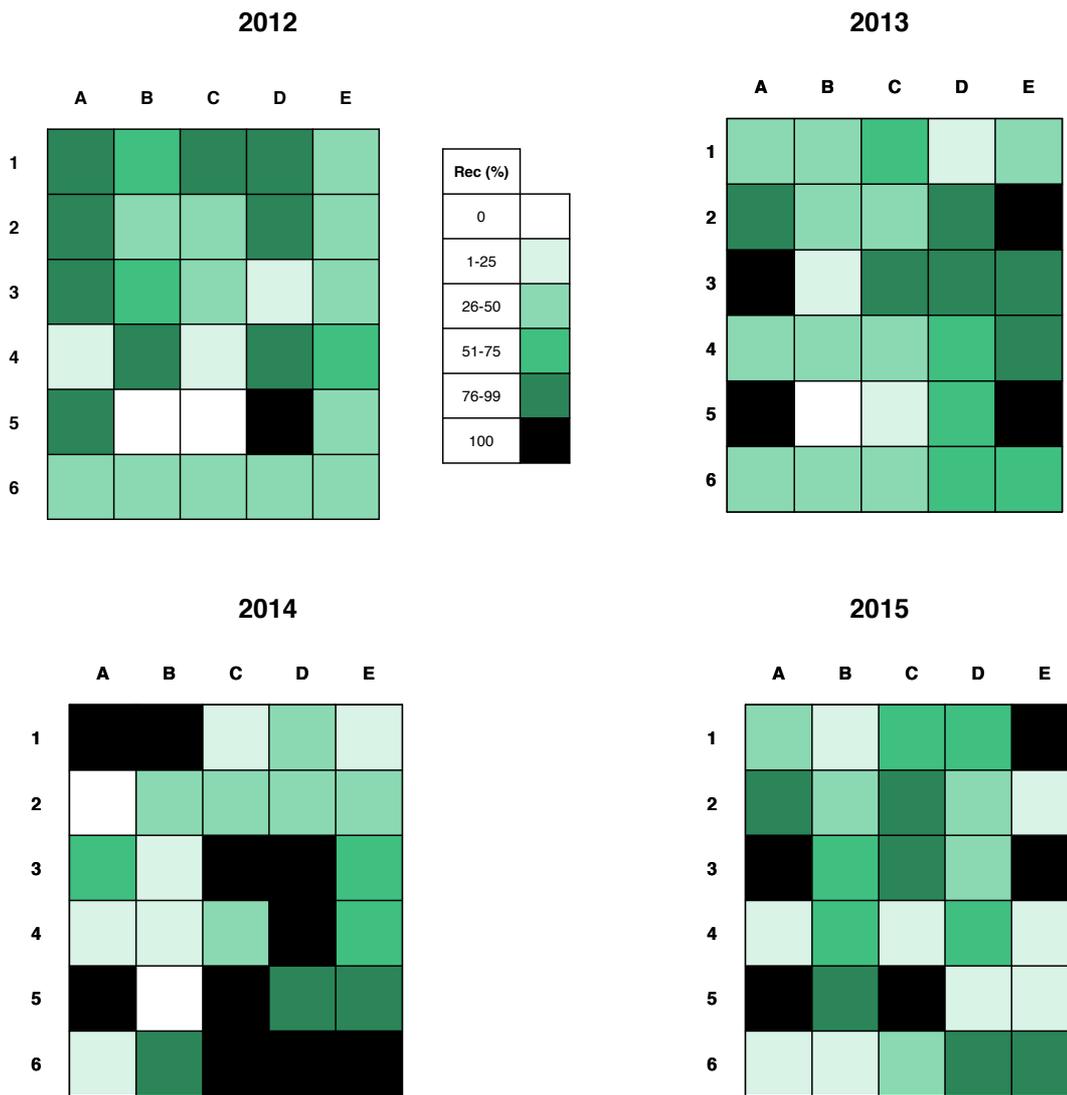


Figure 10 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Afrique int HZN



Photo 10 : L'herbier de la « nouvelle » station Afrique int HZN en août 2015.

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 \pm 1,1
2013	102	26	Vase sableuse	3,3 \pm 1,3
2014	127	20	Sable fin envasé	2,9 \pm 1,0
2015	119	20,5	Sable fin envasé	2,7 \pm 1,0

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

** Moyenne \pm écart-type

2.4.2. Les macroalgues

Dans cet herbier, des algues vertes filamenteuses de faible diamètre et quelques gracilaires ont été observées (Figure 11). Ces algues présentent ici une faible biomasse (tableau 8).

Tableau 8 : Biomasse (en poids sec) des macroalgues (\pm ET) 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 \pm 1,2	0	0
2013	0,6 \pm 0,5	0	0,1 \pm 0,2
2014	1,6 \pm 2,2	0	0,1 \pm 0,3
2015	2,2 \pm 3,6	0	0,3 \pm 0,6

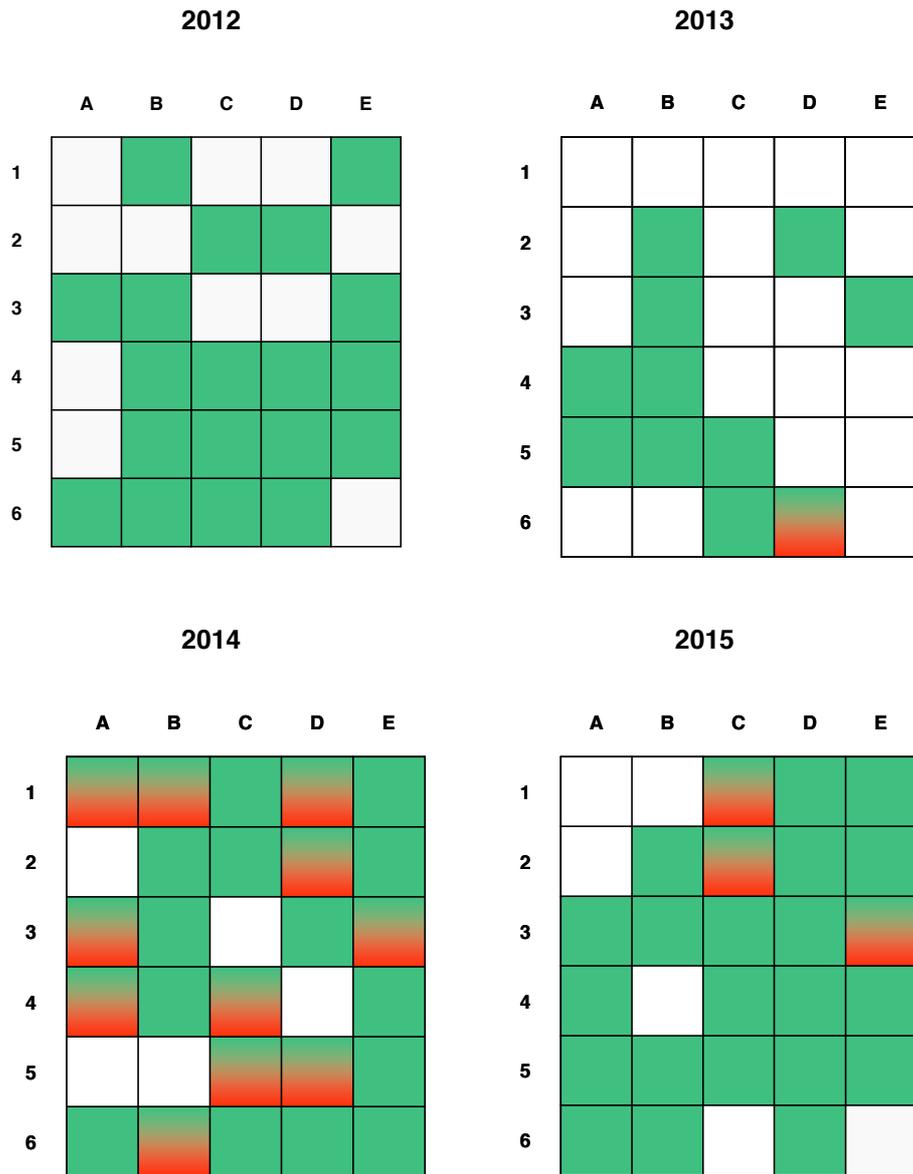


Figure 11 : Répartition des macroalgues (*Chlorophyta* et *Rhodophyta*) dans les cadrats de la station Hautebelle int HZN

2.4.3. Les zostères

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

Comme on peut en juger sur les photos 11 et 12, l'herbier de cette station est moins homogène et moins dense en **2015** qu'en **2014** et **2013**.



Photo 11 : l'herbier de la station Hautebelle HZN en août 2014.



Photo 12 : l'herbier de la station Hautebelle HZN en août 2015.

Par ailleurs, la prospection réalisée dans cet herbier au début du mois d'août 2015 a révélé la présence de feuilles brunes ou noires sur de nombreuses pousses (photo 13), sans que la distribution de ce phénomène présente un rapport évident avec le niveau hypsométrique ou la nature du sédiment.



Photo 13 : Feuilles brunes à Hautebelle en août 2015.

Ce type d'observation n'est pas nouveau pour le Bassin, Florian Ganthy (com. pers.) ayant déjà rapporté ce type de phénomène à la fin des années 2000. A l'époque, une petite enquête réalisée dans la communauté scientifique, *via* la « seagrass list » n'avait donné aucune indication sur une éventuelle maladie, la plupart des chercheurs consultés suspectant plutôt un effet de la dessiccation. Les herbiers intertidaux sont en effet susceptibles d'être soumis à des phénomènes de dessiccation lors des basses mers de forts coefficients, qui se produisent aux

alentours de la mi-journée, quand les températures journalières sont les plus élevées.

L'examen de la figure 12 montre effectivement une fréquence un peu plus forte des pics de chaleur estivaux (au moins en juin-juillet) lors des forts coefficients en 2015.

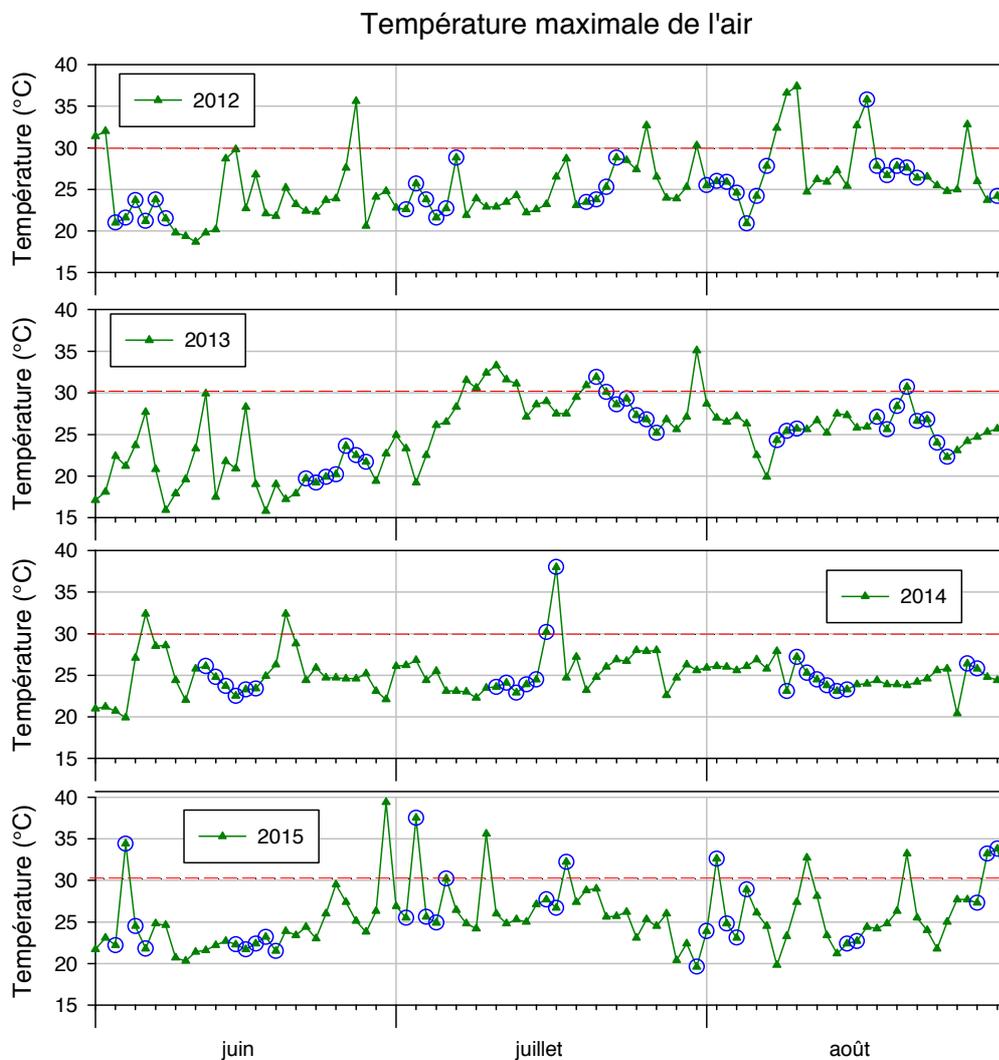


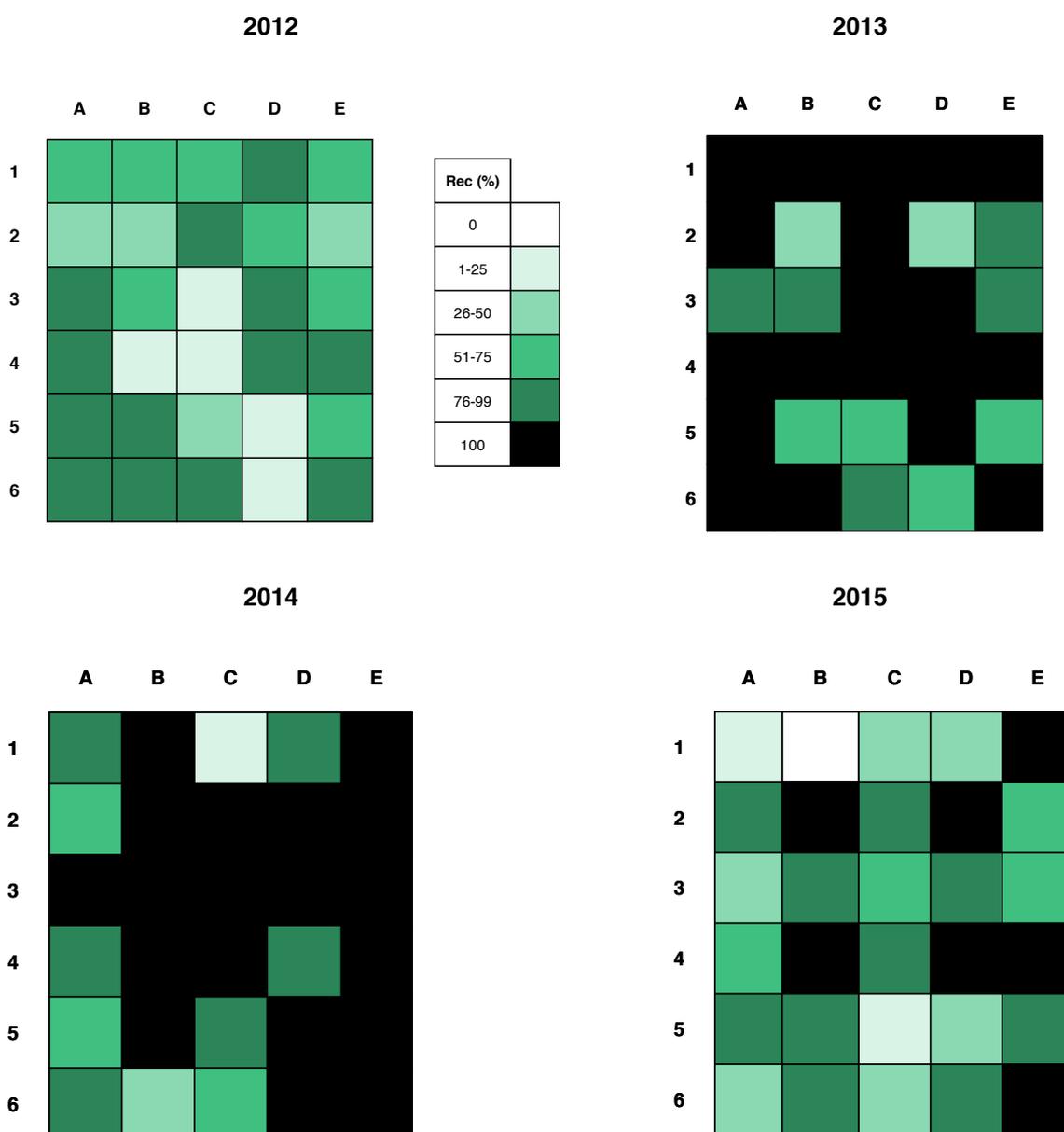
Figure 12 : Evolution de la température maximale journalière au cours des étés 2012 à 2015 (Données Météo France, Station Cap Ferret). Les symboles encadrés correspondent aux dates pour lesquelles le coefficient est supérieur à 85.

L'hypothèse de l'effet de la dessiccation sur le brunissement des feuilles de zostères n'est donc pas à rejeter *a priori*. Toutefois, cette station étant située à un niveau hypsométrique similaire à celui situé à l'ouest de l'île aux Oiseaux (station Afrique HZN), les mêmes observations auraient dû être réalisées sur ce second site, ce qui n'a pas été le cas.

En **2015** comme lors des observations précédentes, on a néanmoins mesuré à cette station le plus fort taux de recouvrement moyen des trois stations de zostères naines suivies sur le Bassin (Tableau 9 et figure 13).

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
2014	100	89	89
2015	96,7	72	69

**Figure 13** : 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 semble augmenter entre le début et la fin du suivi (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 \pm 1,8
2008	86	18	Sable fin envasé	6,1 \pm 2,1
2009	95	41	Vase sableuse	3,7 \pm 1,4
2011	86	43	Vase sableuse	7,2 \pm 2,13
2012	72	48	Vase sableuse	5,7 \pm 3,7
2013	86	37	Vase sableuse	4,8 \pm 2,0
2014	<63	67	Vase sableuse	7,7 \pm 2,0
2015	77	39	Vase sableuse	5,7 \pm 2,6

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

** Moyenne \pm écart-type

2.5.2. Les macroalgues

Aucune macroalgue n'a été observée dans ces herbiers aux mois de septembre des années **2007** à **2011** et **2013** à **2015**. 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 cette partie du chenal du Courbey sont relativement peu colonisées par les épiphytes en **2007-2008**, **2011-2013** et **2015**, et plus en **2009** et **2014** comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 11. Ces épiphytes sont minoritairement composés de matière organique (20 à 37 %), en raison de leur colonisation importante par de nombreux tubes d'annélides à tube calcaire de la famille des spirorbés (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
2014	36,72 \pm 15,69	0,93 \pm 0,26	17,46 \pm 4,85
2015	5,27 \pm 5,97	0,12 \pm 0,13	20,25 \pm 7,75

2.5.4. Les zostères

Les caractéristiques des zostères du chenal du Courbey à la fin des étés **2007** à **2009** et **2011** à **2015** 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 45,0	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
2014	105 \pm 36	103,0 \pm 35,4	52,2 \pm 10,9	3,7 \pm 1,1	9,1 \pm 1,5
2015	111 \pm 53	78,7 \pm 18,9	55,1 \pm 16,8	3,6 \pm 1,0	8,2 \pm 1,8

	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	2,12 \pm 0,48
2008	85,2 \pm 24,1	2,8 \pm 0,9	354,0 \pm 44,6	3,42 \pm 1,50
2009	60,6 \pm 20,3	1,5 \pm 1,0	305,4 \pm 30,1	3,82 \pm 0,84
2011	93,9 \pm 24,0	2,1 \pm 1,2	329,6 \pm 17,7	5,32 \pm 2,00
2012	50,6 \pm 21,8	1,4 \pm 0,7	343,5 \pm 27,1	2,02 \pm 1,24
2013	50,7 \pm 19,0	1,1 \pm 0,6	312,7 \pm 28,2	1,58 \pm 0,22
2014	87,6 \pm 35,9	2,0 \pm 0,6	379,0 \pm 16,0	3,84 \pm 1,40
2015	63,3 \pm 26,3	1,6 \pm 0,6	372,6 \pm 21,4	3,04 \pm 1,25

En septembre 2015, les densités et les biomasses épigées des zostères marines du chenal du Courbey étaient un peu plus faibles que la moyenne établie sur les années précédentes.

D'une façon générale, la densité des pousses présente de moins fortes variations interannuelles (103 à 152 pousses/m²) que la biomasse des organes épigés (45 à 137 g PS / m²) avec par exemple des valeurs trois fois plus élevées en **2011** qu'en **2007**, **2012** et **2013**.

La variabilité inter-annuelle des densités ne présente pas de relation évidente avec les facteurs climatiques et hydrologiques s'appliquant dans cette zone (notamment insolation, température de l'eau et teneurs en matières en suspension dans ce chenal – données du réseau ARCHYD). Ce paramètre semble donc répondre à une autre pression.

Par contre, la variabilité de la biomasse épigée (ainsi que la biomasse individuelle des pousses) est clairement positivement liée à la température de la l'eau pendant la période de croissance (mars à septembre), ($r = 0,83$; $p=0,01$) (Figure 13), aucun autre facteur climatique ou hydrologique n'améliorant cette relation.

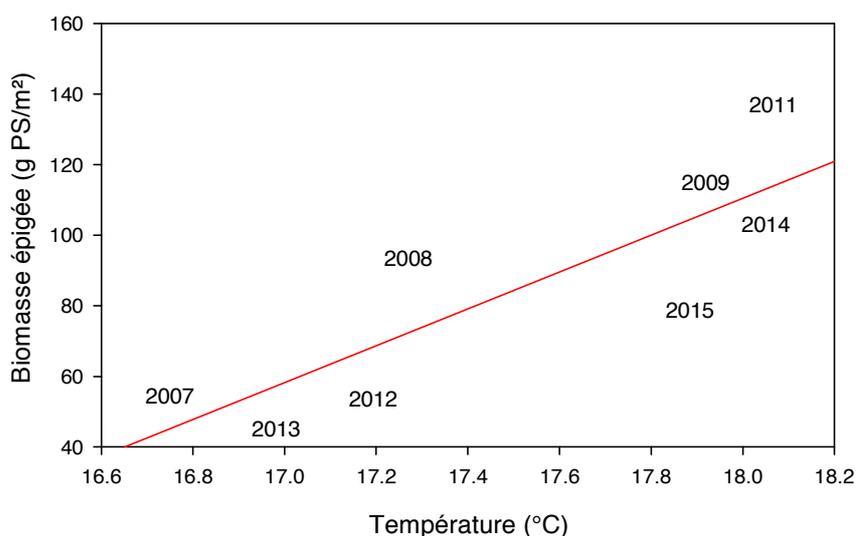


Figure 13 : Relation entre la biomasse épigée des zostères marines de la station (1, 2, 3)_sub_ZM, en relation avec les écarts à la moyenne mensuelle et la température de l'eau (station Courbey du réseau hydrologique ARCHYD, moyenne mars-septembre).

Les herbiers bretons de zostères marines échantillonnés dans le cadre de REBENT (Marion Maguer - UBO, com. pers.) présentent des densités généralement beaucoup plus élevées que la population du Courbey (Figures 14 et 15).

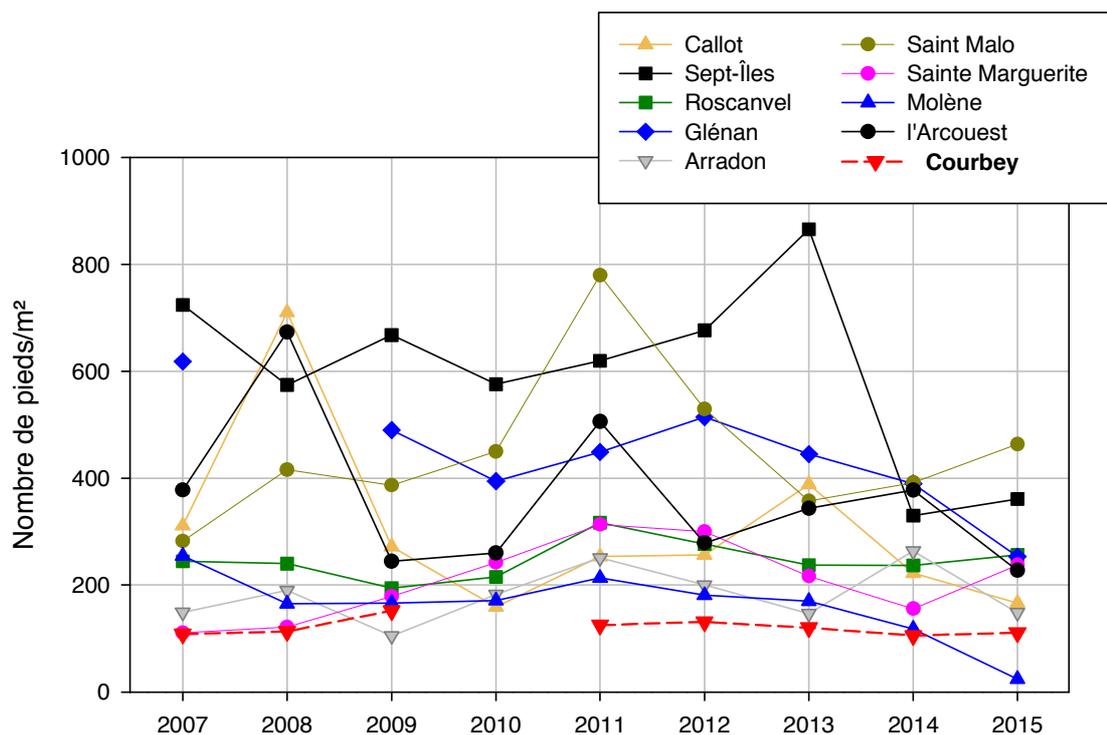


Figure 14 : Valeurs de densités de pousses dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2015.

Par contre, les biomasses épigées des herbiers du Courbey sont du même ordre que celles des herbiers bretons, voire plus élevées en 2011, 2014 et 2015, traduisant que les feuilles de l'herbier arcachonnais sont plus longues et plus larges (Figure 14).

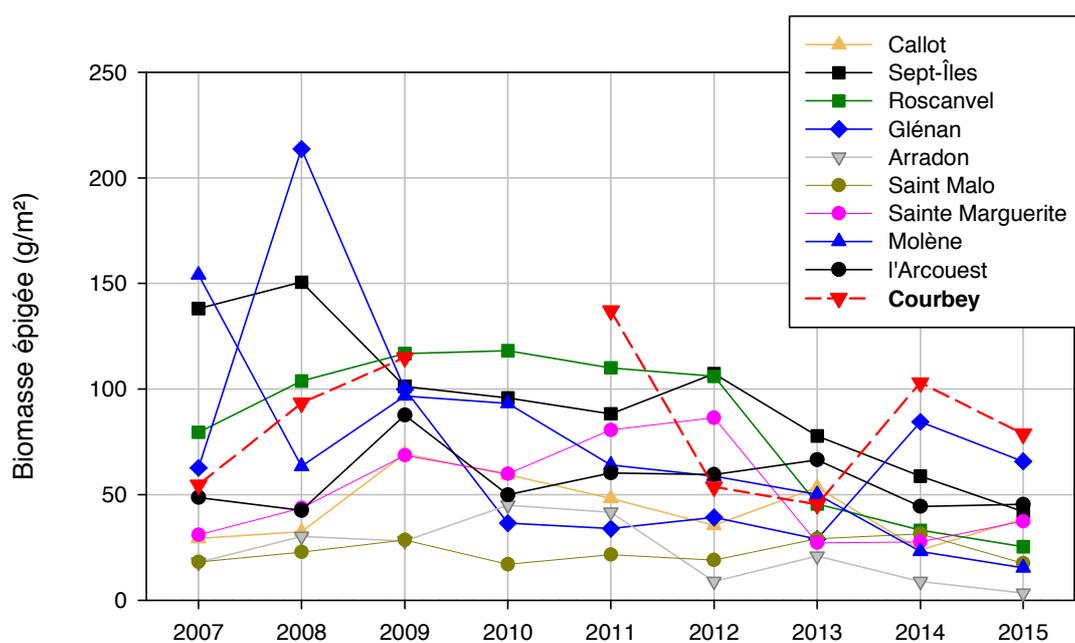


Figure 15 : Valeurs de biomasse épigée dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2015

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 termes 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 2015 (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
2014	9,1 \pm 7,8	3,0 \pm 5,7	0,5 \pm 1,9	1,7 \pm 4,2	2,8 \pm 4,5	7,2 \pm 8,7
2015	30,3 \pm 16,7	10,9 \pm 14,8	0,2 \pm 0,4	2,2 \pm 3,8	8,0 \pm 6,1	20,8 \pm 11,9

Les indices généraux (WI et WIM) présentent des valeurs maximales en **2011**, année où les biomasses épigées sont les plus élevées et minimales en **2009** et **2014**, également caractérisées par de fortes biomasses. L'examen des résultats obtenus feuille par feuille (figure 16), permet de séparer 3 groupes d'années : 2009-2014, avec des feuilles faiblement atteintes, sont des années à forte biomasse ; 2007-2013, avec des feuilles fortement atteintes, présentent des faibles biomasses ; les autres années présentes une atteinte intermédiaire entre ces deux groupes.

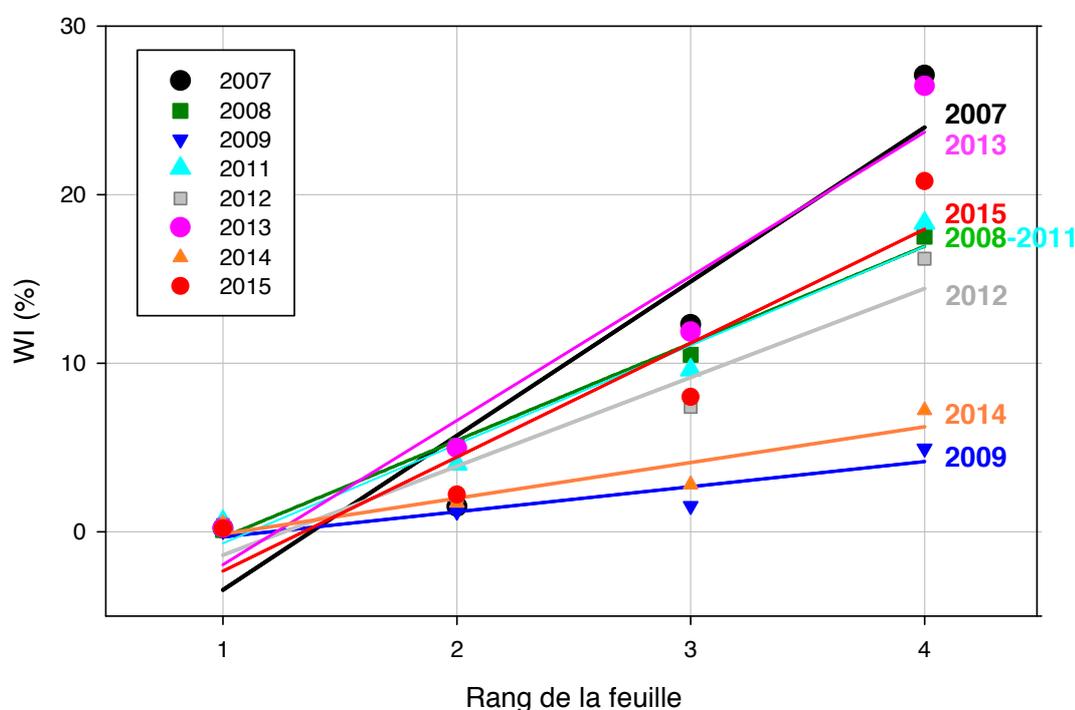


Figure 16 : Régression linéaire de WI (%) en fonction de l'âge de la feuille au cours des différentes années dans l'herbier de zostères marines du Courbey.

Dans ce schéma, l'année 2011 se singularise donc, du point de vue de tous les indices de maladie, avec une forte atteinte en dépit de biomasses élevées, sans que l'on puisse proposer d'explication climatique ou hydrologique à ce phénomène. 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 8 années se situent dans la gamme de valeurs des observations réalisées dans les six herbiers bretons échantillonnés au cours des printemps 2007 à 2015 dans le cadre du REBENT Bretagne (Maguer, com. pers.) (Figure 17).

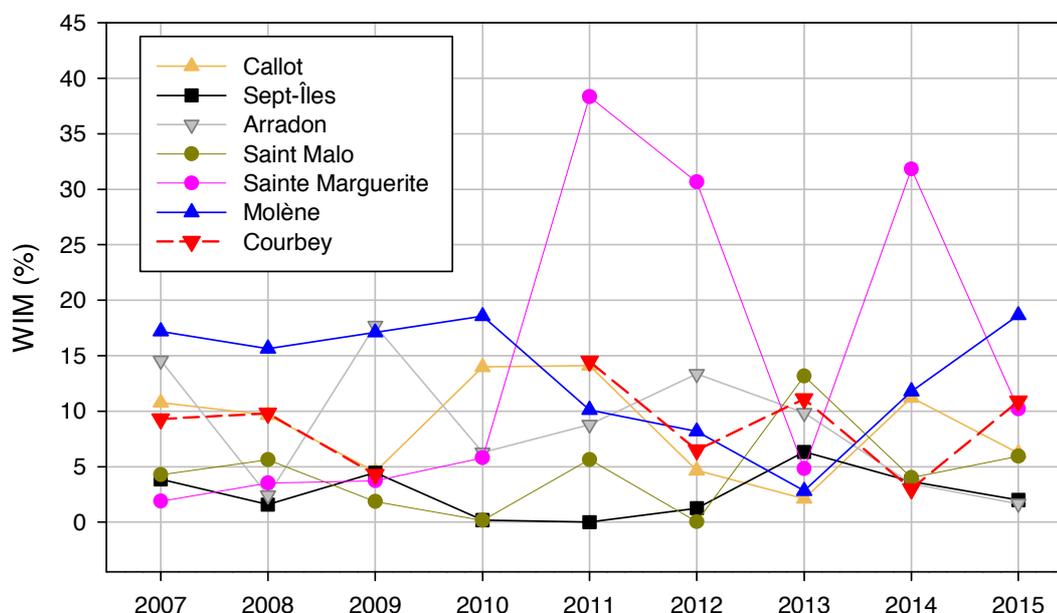


Figure 17 : Valeurs du WIM dans six herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2015.

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.
- Abondance (recouvrement pour *Zostera noltei*, densité pour *Zostera marina*).

Les règles de calcul et les résultats du classement sont énoncés dans les paragraphes suivants. Les résultats présentés concernent le classement obtenu en 2015 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 2015, 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 2015.

Tableau 14 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « composition taxinomique ». Valeur du RQE en 2015

Changement de la composition taxinomique par rapport aux conditions de référence et RQE	RQE 2015
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 <i>et al.</i> (2010)
2012	(104 ha)*	4 259 ha	Lafon (com. pers.)
2015	(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.

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 2015.

Modification de l'extension par rapport aux conditions de référence et RQE	<i>Zostera noltei</i> RQE 2015	<i>Zostera marina</i> RQE 2015	<i>Zostera spp</i> * RQE 2015
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.

Une nouvelle cartographie des herbiers subtidiaux de zostères marines a été réalisée en juin 2016. Ces données seront intégrées dans le prochain rapport traitant du calcul de l'indicateur en 2016.

2.6.3. Abondance

Les données relatives à l'abondance (recouvrement ou densité) des herbiers au cours des dernières années sont présentées dans le tableau 17. Les résultats indiquent une relative stabilité des abondances depuis 2012 pour deux stations d'herbier de *Zostera noltei* (Estey Tort et Afrique) et la station de *Zostera marina*, avec dans tous les cas

des valeurs inférieures aux abondances de référence et une valeur plus faible que les deux années précédentes pour la troisième station de *Zostera noltei* (Hautebelle).

Tableau 17 : Evolution des abondances des zostères de la masse d'eau « Arcachon amont » au cours du temps. Valeur du RQE en 2015 (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
2014	1	58	89	105
2015	0	55	69	111
Evolution par rapport à la densité maximale	-100%	-45%	-22%	-29%

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 2015.

Tableau 18 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur de RQE pour la métrique « abondance ». Valeurs des RQE en 2015.

Changement de l'abondance par rapport aux conditions de référence et RQE	<i>Zostera noltei</i>				<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera spp*</i>
	Estey tort RQE 2015	Afrique RQE 2015	Hautebelle RQE 2015	<i>Z. noltei</i> RQE 2015	Courbey RQE 2015	RQE 2015 (moyenne Zm et Zn)
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			0,58		0,51	
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30		0,35		0,33		0,42
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ... 100% perte = 0,00	0,05					

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 2015, l'indicateur « angiosperme » indique, comme en 2014, un « état moyen », avec un RQE de 0,57 proche de la valeur seuil entre le bon et le moyen état (tableau 20). Ce classement s'explique à la fois 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 et à la forte dégradation de l'abondance dans l'herbier situé dans la zone orientale médiane du Bassin.

Tableau 20 : Résultats pour l'élément de qualité « angiospermes » en 2015 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> : 0,33 <i>Zostera marina</i> : 0,51 Zostères : 0,42	0,57
Etat	Très bon état	Etat médiocre	Etat médiocre	Etat moyen

Conclusion

Zostera marina

Les observations réalisées entre 2007 et 2014 révèlent une faible variabilité des densités de pieds pour les herbiers de zostères marines 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 de la température de l'eau 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. Une nouvelle cartographie a été réalisée en juin 2016 et sera prise en compte dans le prochain rapport.

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, depuis 2012, 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 meilleur taux de recouvrement, qui s'avère toutefois plus faible en 2015 que lors des deux années précédentes.

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 (éclairement, 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.

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

Par ailleurs, il semble que les contaminants présents dans les eaux jouent un rôle non 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'Université de Bordeaux (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 plus basses de l'estran et dans les chenaux orientaux. Cette hypothèse est étudiée dans le cadre d'une thèse co-encadrée par l'Université de Bordeaux et l'Ifremer. D'ores et déjà, les travaux réalisés dans ce cadre ont permis de mettre en évidence que l'essentiel de la régression des zostères intertidales s'est concentré sur les zones les plus basses des estrans (Cognat *et al.*, 2016)⁶.

L'indicateur angiospermes

Depuis quelques années l'indicateur « angiospermes » varie autour des limites entre les « bon état » et « état moyen ». Cette évolution apparente repose sur de très légères variations du RQE.

Pour cette raison, la classification en « bon état » obtenue en 2013 était supposée fragile et le classement en « état moyen » depuis 2014 indique qu'une attention particulière doit toujours être apportée à ce compartiment biologique.

⁶ <https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00343/45405/44920.pdf>

Bibliographie

- 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., 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., 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., 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. Rapport RST/LER/AR/14.01, 42 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.
- 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., Rigouin L., Ganthy F., Heroin D., Sanchez F.** (2015). Suivi stationnel (2007-2014) de l’herbier de zostères naines (*Zostera noltei*) et calcul de l’indicateur « Angiospermes » (2014) dans la masse d’eau côtière FRFC09 – Lac d’Hossegor. Rapport Ifremer, RST /ODE/UL/LER/AR/15-004, 25 p
- Auby I., Trut G., Rigouin L., Ganthy F., Oger-Jeanneret H., Heroin D., Gouriou L., Bujan S., Devaux L.** (2015). 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 -2006-2014. Rapport Ifremer, RST /ODE/UL/LER/AR/15-005, 58 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.
- Cognat M., Auby I., Rigouin L., Michalet R., Sottolichio A., Ganthy F.** (2016). Environmental factors influencing growth of *Zostera noltei* meadows in the Arcachon Bay: How to explain their drastic decline? ISOBAY 15 - XV International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay. 22-24 June 2016, Bilbao, Spain.

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.

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 Reviere B. (1993). Typologie des Znieff-Mer. Liste des paramètres et des biocénoses de côtes françaises métropolitaines. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris : 44p

de Casamajor M.N., Lissardy M., Sanchez F. (2008). Points de surveillance DCE en Côte Basque : Macroalgues et Zostères. Rapport Ifremer LRHA Anglet, 21 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.

Lafon V., Dehouck A., Curti C. (2014). Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de l'île de ré - masse d'eau FRGC53 - par télédétection spatiale. Rapport Geo-Transfert - Adera : 37 pp.

Lafon V., Harin N. & Sauriau P.-G. (2009). Dynamique temporelle (1989-2006) des herbiers intertidaux à *Zostera noltii* de la masse d'eau pertuis Charentais (FRFC02). Rapport G.E.O. Transfert, Université Bordeaux, 34 p.

Lissardy M., de Casamajor M.N., Sanchez F. (2007). Cartographie de l'herbier de *Zostera noltei* dans la Baie de Txingudi. Rapport CERECA-ADERA, 12 p.

Paolin Melina (2012). Etude des facteurs contrôlant l'atténuation lumineuse dans une lagune semi-fermée. Calibration d'un modèle bio-optique pour le Bassin d'Arcachon. Rapport de stage ENSAIA, 49 p.

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.

Ribaudo C. Plus M., Ganthy F., Auby I. (2016) Carbon sequestration loss following *Zostera noltei* decline in the Arcachon Bay (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, IN PRESS. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.024>

Sanchez F., de Casamajor M.N., Lissardy M. (2013). Suivi stationnel de l'herbier à zostères *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa – 2012.- Rapport Ifremer R.INT.DCN/HGS/LRHA 13-003, 20p.

Sanchez F., de Casamajor M.N., Lissardy M. (2015). Suivi stationnel de l'herbier à zostères *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa – 2014.- Rapport Ifremer R.INT.RBE/HGS/LRHA 15-001, 30p.

Sanchez F., de Casamajor M.N., Lissardy M. (2007). Points de surveillance DCE en Côte Basque : Macroalgues et Zostères. Rapport CERECA-ADERA, 24 p.

Sanchez F., de Casamajor M.N., Lissardy M. (2014). Suivis stationnel et surfacique de l'herbier à *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa – 2013.- Rapport Ifremer R.INT.RBE/HGS/LRHA 14-002, 34 p.

Sanchez F., Lissardy M., de Casamajor M.N. (2010). Points de surveillance DCE en Côte basque : Masse d'eau FRFT8 Bidassoa – Bilan 2007/2008/2009. Herbier à *Zostera noltei*. Rapport Ifremer. R.INT.DCN/HGS/LRHA 10-001, 31 p.

Sauriau P.G. (2008). Surveillance faune et flore benthique DCE. Vitalité herbier de *Zostera noltei* masse d'eau FRFC02 Pertuis charentais Prospection 2007. Rapport CNRS, 22 p.

Sauriau P.G., Ehlinger S., Sauriau F. (2008). Surveillance faune et flore benthique DCE. Vitalité herbier de *Zostera noltei* masse d'eau FRFC02 Pertuis charentais Prospection 2008. Rapport CNRS, 27 p.

Sauriau P.G., Aubert F. (2013). Contrôle de surveillance 2013 DCE de la flore benthique et de la faune benthique de substrat meuble de la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 : herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 43 p.

Sauriau P.G., Aubert F. (2016). Contrôle de surveillance 2015 DCE de la flore benthique et de la faune benthique de substrat meuble de la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02. Partie 2 : herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 68 p.

Sauriau P.G., Aubert F., Bréret M., Ehlinger S., Sauriau F., Sauriau M. (2009). Surveillance 2009 flore masses d'eau côtière DCE FRFC01 Nord-Est Oléron : macroalgues FRFC02 Pertuis charentais : herbier de *Zostera noltei*. Partie 2 : herbier de *Zostera noltei*. Rapport CNRS, 35 p.

Sauriau P.G., Aubert F., Cajeri P., Curti C., Latry L., Leguay D., Pineau P. (2012). 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 : herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 41 p.

Sauriau P.G., Aubert F., Duvarid A. (2014). Contrôle de surveillance DCE 2014 de la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02. Rapport final partie 1 : suivi stationnel des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei* Hornemann. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 51 p.

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.

Trut G., Dalloyau S., Auby I. (2009). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers à *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Lac d'Hossegor MEC FRFC09. Rapport Ifremer RST/LER/AR/09-008, 21 p.

Trut G., Rigouin L., Auby I., Ganthy F., Oger-Jeanneret H., Gouilleux B. (2014). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières. Cartographie des herbiers à *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Lac d'Hossegor. MEC FRFC09 - année 2013. Rapport Ifremer RST/LER/AR/14.,006, 32 p.

Annexe 1

Position des grilles dans les trois stations d'herbier de *Zostera noltei* en 2015



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

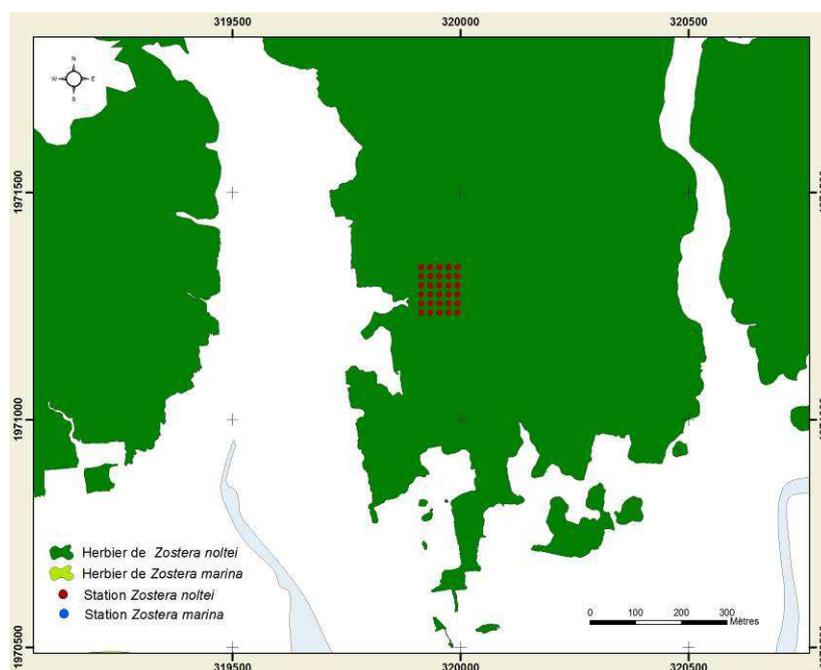


Figure B : Position de la grille dans l'herbier de la station Afrique int HZN

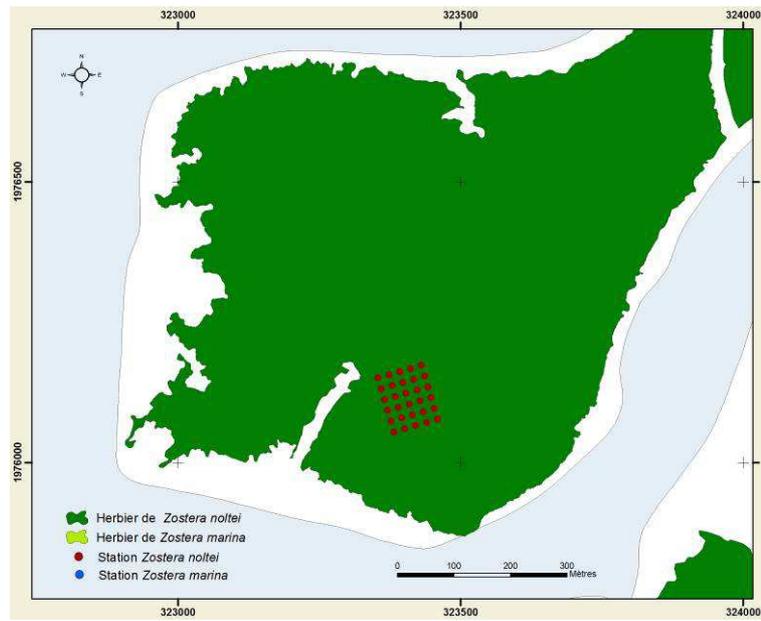


Figure C : Position de la grille dans l'herbier de la station Hautebelle int HZN