

**Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes – Unité Littoral –
Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon**

Auby Isabelle, Rigouin Loïc, Oger-Jeanneret Hélène, Ganthy Florian, Trut Gilles, Trut Florence, d'Amico Florence, Méteigner Claire

CNRS – Université Bordeaux- UMR EPOC 5805

Bujan Stéphane, Gouillieux Benoit

Cellule COHABYS

Aubert Fabien

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

Dalloyau Sébastien

Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde

Péré Caroline

Juillet 2019. RST/LER/AR/19.011

Suivi stationnel (2006-2018) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de l'indicateur DCE « Angiospermes » (2018) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - Bassin Hydrographique Adour-Garonne.



Fiche documentaire

<p>Titre du rapport : Suivi stationnel (2006-2018) des herbiers de zostères (<i>Zostera noltei</i> et <i>Zostera marina</i>) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2018) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - Bassin Hydrographique Adour-Garonne</p>	
<p>Référence interne : RST/LER/AR/19.011</p>	<p>Date de publication : Juillet 2019</p>
<p>Diffusion :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)</p> <p><input type="checkbox"/> restreinte (intranet)</p> <p><input type="checkbox"/> interdite (confidentielle)</p>	<p>Langue(s) : Français</p>
<p>Résumé/ Abstract :</p> <p>Le calcul de l'indicateur angiospermes dans la masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont est basé sur le suivi de trois métriques (composition, extension, abondance) des deux espèces de zostères présentes dans la Baie : <i>Zostera noltei</i> et <i>Zostera marina</i>. Les résultats obtenus jusqu'en 2018 permettent d'affecter une qualité « moyenne » à cette masse d'eau vis-à-vis de cet indicateur, qui est, pour l'instant la seule à ne pas s'avérer en bon ou très bon état sur le littoral Manche-Atlantique français. Ce mauvais classement s'explique principalement par le fait que les emprises des deux espèces sont actuellement beaucoup plus faibles que celles, historiques, utilisées comme référence.</p>	
<p>Mots-clés/ Key words : Bassin d'Arcachon, herbiers de zostères, Directive Cadre sur l'Eau (DCE).</p>	
<p>Comment citer ce document :</p> <p>Auby I., Rigouin L., Oger-Jeanneret H., Ganthy F., Trut G., Trut F., D'Amico F., Méteigner C., Aubert F., Bujan S., Gouillieux B., Dalloyau S., Péré C. (2019). Suivi stationnel (2006-2018) des herbiers de zostères (<i>Zostera noltei</i> et <i>Zostera marina</i>) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2018) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - Bassin Hydrographique Adour-Garonne. RST/LER/AR/19.011</p>	
<p>Disponibilité des données de la recherche :</p> <p>Oui</p>	
<p>DOI :</p>	

Commanditaire du rapport : Agence de l'Eau Adour-Garonne	
Nom / référence du contrat :	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit : P305-0008-11 AEAG Benthos	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Isabelle Auby / iauby@ifremer.fr	ODE/LITTORAL/LER/AR
Loïc Rigouin	ODE/LITTORAL/LER/AR
Hélène Oger-Jeanneret	ODE/LITTORAL/LER/AR
Florian Ganthy	ODE/LITTORAL/LER/AR
Gilles Trut	ODE/LITTORAL/LER/AR
Florence Trut	ODE/LITTORAL/LER/AR
Florence d'Amico	ODE/LITTORAL/LER/AR
Claire Méteigner	ODE/LITTORAL/LER/AR
Stéphane Bujan	CNRS – Université Bordeaux-UMR EPOC 5805
Benoit Gouillieux	CNRS – Université Bordeaux-UMR EPOC 5805
Fabien Aubert	Cellule COHABYS
Sébastien Dalloyau	Ligue pour la Protection des Oiseaux Rochefort
Caroline Péré	Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde
Encadrement(s) : Hélène Oger-Jeanneret	
Destinataire : Agence de l'Eau Adour-Garonne	
Validé par : Claire Rollet ODE/LITTORAL/LER/BN	

Table des matières

1	Protocoles	7
1.1	Stations	7
1.2	Dates de prélèvement.....	8
1.3	Prélèvements et analyses du sédiment	8
1.4	Prélèvements et analyses des macroalgues	9
1.5	Prélèvements et analyses des zostères	9
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.....	19
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.....	24
2.3.3	Les zostères.....	26
2.4	Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Hautebelle int HZN : herbier de <i>Zostera noltei</i>	29
2.4.1	Le sédiment.....	29
2.4.2	Les macroalgues.....	30
2.4.3	Les zostères.....	31
2.5	Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de <i>Zostera marina</i>	36
2.5.1	Le sédiment.....	36
2.5.2	Les macroalgues.....	37
2.5.3	Les épiphytes.....	37
2.5.4	Les zostères.....	37
2.5.5	Indice de maladie du dépérissement.....	41
2.6	Calcul de l'indicateur « angiospermes » sur la masse d'eau Arcachon amont.....	45
2.6.1	Composition taxinomique.....	45
2.6.2	Extension.....	45
2.6.3	Abondance	46
2.6.4	L'indicateur angiosperme	47

Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE établit un 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 masses d'eau côtières (MEC) et les masses d'eau de transition (MET).

Pour évaluer l'état écologique d'une masse d'eau (ME), la DCE utilise des éléments de qualité biologique : phytoplancton, macrophytes (macroalgues et phanérogames marines, zostères en Manche-Atlantique), faune macro-invertébrée benthique et poissons (ces derniers exclusivement dans les MET).

Dans ce cadre, à partir de 2007, a débuté le suivi stationnel des herbiers de *Zostera noltei* des masses d'eau 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 à partir de celui du REBENT Bretagne (Hily *et al.*, 2007) dans les Masses d'Eau suivantes :

- « Pertuis charentais » - FRFC02;
- « Arcachon amont » – FRFC06 ;
- « Lac d'Hossegor »– FRFC09 ;
- « Estuaire de la Bidassoa »- FRFT08.

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

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 abondances 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) puis progressivement amélioré (Auby *et al.*, 2014 ; Auby *et al.*, 2018). Il vise 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 marina*, la méthodologie s'est par ailleurs peu modifiée au cours du temps. Par contre, 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.

Par ailleurs, ce nouveau protocole préconise une fréquence annuelle (et non plus tri annuelle) des observations sur les herbiers.

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, 2008a ; Sauriau 2008b ; Sauriau *et al.*, 2009 ; Sauriau *et al.*, 2012 ; Sauriau et Aubert, 2013 ; Sauriau *et al.*, 2014 ; Sauriau et Aubert, 2016 ; Sauriau *et al.*, 2017 ; Aubert *et al.*, 2018 ; Aubert *et al.*, 2019);
- Masse d'eau « Arcachon amont » – FRFC06 (Auby *et al.*, 2018)³;
- Masse d'eau « Lac d'Hossegor »– FRFC09 (Auby *et al.*, 2018)³.
- Masse d'eau « Estuaire de la Bidassoa » - FRFT08 (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; Sanchez *et al.*, 2016; Sanchez *et al.*, 2017 ; Sanchez *et al.*, 2018 ; Sanchez *et al.*, 2019).

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 »- FRFT08 (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).

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.). En juillet 2016, une nouvelle cartographie des herbiers intertidaux de la masse d'eau « Estuaire de la Bidassoa » a été réalisée par l'organisme de recherche espagnol AZTI Tecnalia (in Sanchez *et al.*, 2017). Cette même année, le LER Arcachon et la Société SEMANTIC ont acquis les données nécessaires à la cartographie des herbiers subtidaux de zostères marines de la masse d'eau « Arcachon amont » (Trut *et al.*, 2018).

Par ailleurs, des informations convergentes indiquant la présence d'un herbier de zostères naines assez étendu (environ 196 ha) sur le secteur de Bonne Anse, dans la MET « FRFT09 Estuaire Gironde aval » ont conduit à prospecter ce site afin de l'inclure dans le réseau de contrôle de Surveillance (Aubert et Sauriau, 2019). Cet herbier fera donc, à partir de 2019, l'objet d'un suivi.

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

² <http://archimer.ifremer.fr/>

³ Ces rapports présentent l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi.

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.

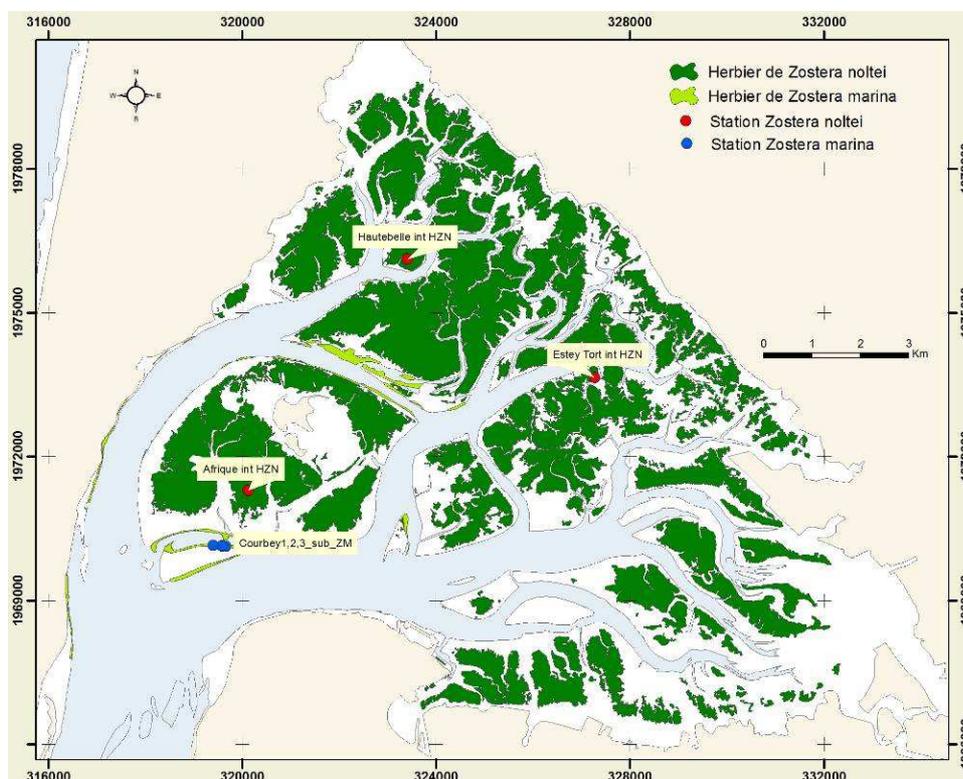


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements des deux espèces de zostères dans le Bassin d'Arcachon (Carte des herbiers de zostères d'après Plus *et al.*, 2010).

1.2 Dates de prélèvement

Les dates d'échantillonnage des années précédentes (2006 à 2017) sont consignées dans les rapports précédents téléchargeables sur la base bibliographique Archimer.

En 2018 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 2018
FRFC06	Afrique int HZN	10 août 2018
FRFC06	Hautebelle int HZN	30 août 2018
FRFC06	Courbey1_sub_ZM Courbey2_sub_ZM Courbey3_sub_ZM	4 septembre 2018

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 2007 et 2012 ; 17 en 2008 et 2009 et à partir de 2013.

Granulométrie

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 étuve 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

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 (vertes), Rhodophyta (rouges) et Ochrophyta (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 ont été modifiés à partir de 2011. Le tableau suivant présente donc les protocoles utilisés 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 <i>in situ</i>
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 du dépérissement : *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) (Figure 2).
- 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).

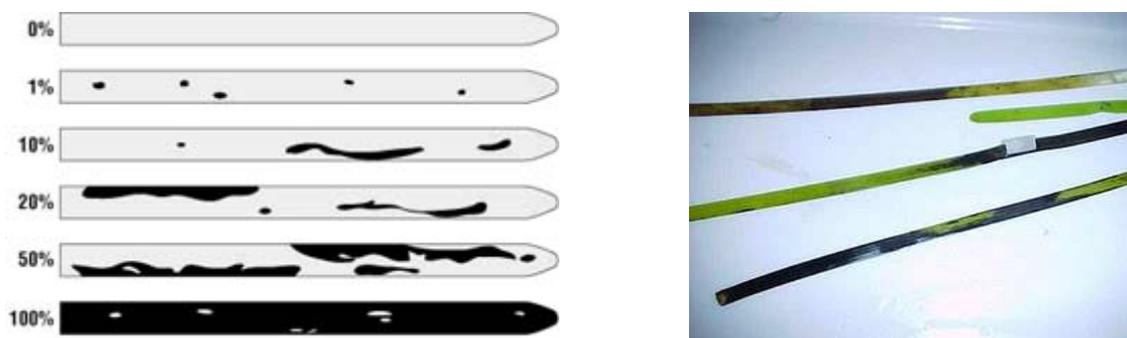


Figure 2 : Évaluation de la maladie du dépérissement selon l'échelle de Burdick *et al.* (1993)

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 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 **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 187 et 511 individus pendant les hivers de la décennie actuelle, 110 en janvier 2018) et ne présente pas d'évolution récente particulière⁴.

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

⁴ Les rapports correspondants à ces dénombrements, rédigés par la LPO Aquitaine, sont téléchargeables à l'adresse suivante : https://www.faune-aquitaine.org/index.php?m_id=1189&item=18

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, 109 en janvier 2015, 72 en 2016 et 98 en 2017.

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 indiquaient 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'avérant proches de celles de l'été 2012 jusqu'en 2015, et des effectifs plus faibles dénombrés entre **2016 et 2018** (600 à 800 oiseaux).

- 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, 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 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 3) alors que l'ensemble de la population biogéographique enregistre un fort déclin ($\approx -34\%$) depuis le milieu des années 90.

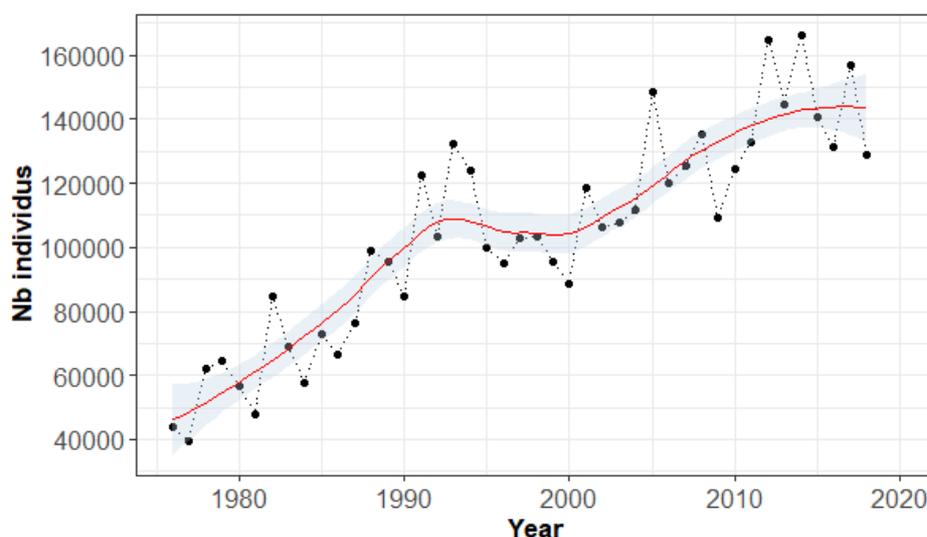


Figure 3 : Évolution du pic annuel d'abondance des bernaches cravants à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) sur le littoral français (in Dalloyau et Réseau national Bernache (2019). Bernache cravant *Branta bernicla* hivernant en France : Bilan de la saison 2018-2019. Réseau National Bernache/Wetlands International/LPO, 18 p.)

Ainsi, le littoral français accueille actuellement plus de 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-Quénéc'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 4).

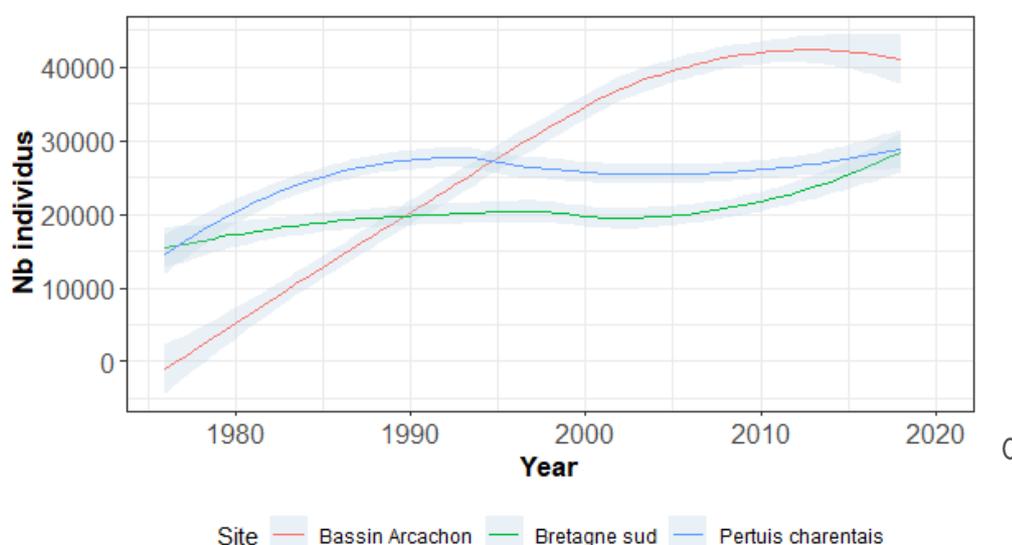


Figure 4 : Tendances sur les trois principaux secteurs d'hivernage français pour la bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) (moy./SD : nov., déc., janv.). S. Dalloyau-Réseau National Bernache/Wetlands International

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 jusqu'au milieu des années 2010 (Figure 5), qu'elles sont moins nombreuses au cours des hivernages 2015-16 et 2016-17, et que leurs effectifs ont à nouveau augmenté au cours de l'hiver 2017-18. De plus, depuis une dizaine d'années, il semble que les bernaches quittent cette aire d'hivernage plus précocement (janvier, voire dès la fin du mois de décembre).

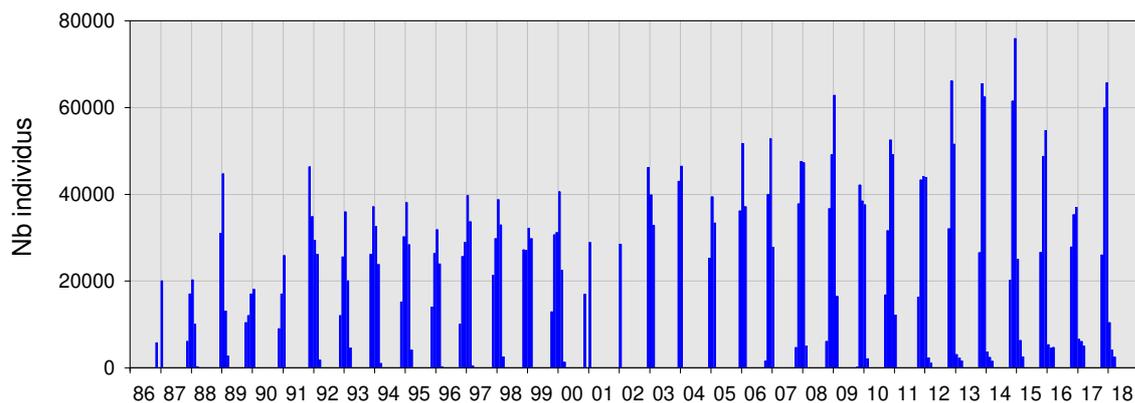


Figure 5 : Évolution des effectifs mensuels des bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986-87 et 2017-18.

L'augmentation des effectifs mensuels maximaux se traduit par une élévation de la consommation mensuelle maximale de feuilles de zostères par les bernaches⁵ jusqu'au milieu des années 2010 (Figure 6).

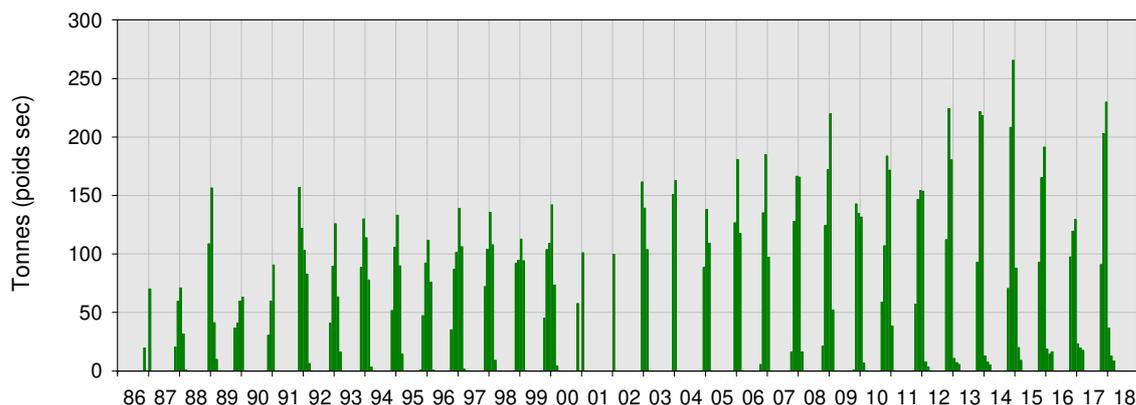


Figure 6 : Evolution de la quantité mensuelle théorique de feuilles de zostères naines (poids sec) consommées mensuellement par les bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986-87 à 2017-18.

⁵ Calcul : consommation journalière de 110 g poids sec x nb de jours-oiseaux mensuel, cf. Auby *et al.*, 2011

Les quantités totales de feuilles de zostères présentes sur le site pendant les périodes d'hivernage ont été calculées en multipliant les biomasses foliaires moyennes de différents herbiers à différentes époques (1989 à 2014 : Ribaud *et al.*, 2016 ; 2015 à 2018 : Cognat, com. pers.) avec les surfaces de ces herbiers aux différentes périodes (1986-1984 : Auby, 1991 ; 2005-2011 : Plus *et al.*, 2010 ; 2012-2018 : Lafon, com. pers.) (Figure 7).

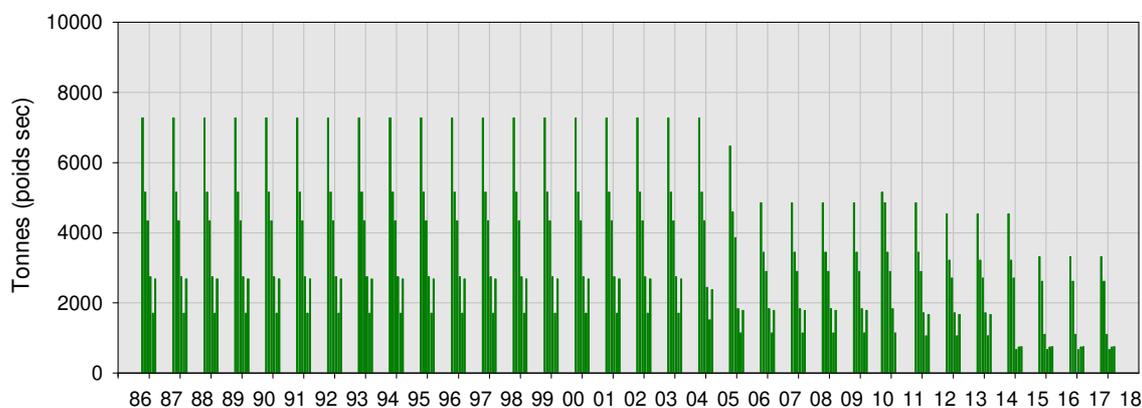


Figure 7 : Évolution de la quantité mensuelle de feuilles de zostères naines (poids sec) disponible pour les oiseaux dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986-87 à 2017-2018.

Comme cela apparaît sur cette figure, ce stock diminue au cours du temps, en raison de la régression de l'emprise des herbiers et de la diminution des biomasses hivernales.

On peut alors calculer la proportion de feuilles consommées par rapport au stock total disponible (Figure 8).

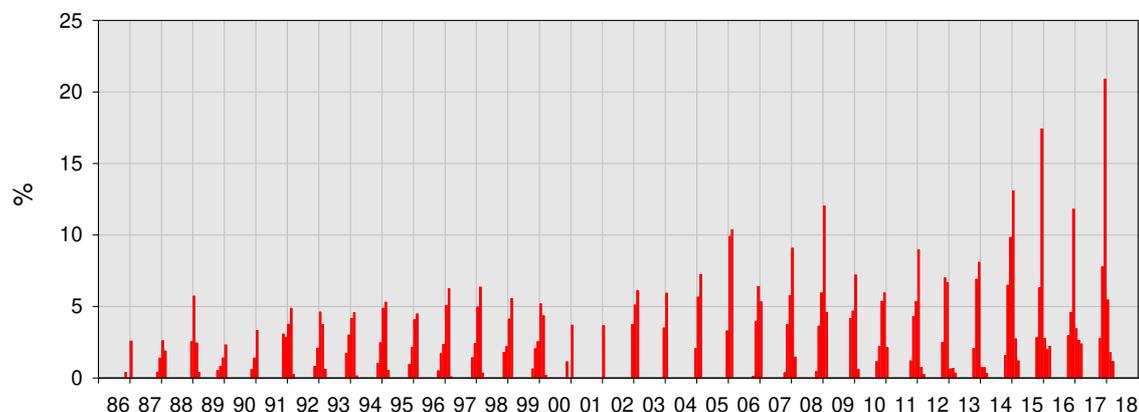


Figure 8 : Évolution de la proportion théorique du stock total de feuilles de zostères naines consommé mensuellement par les bernaches dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986-87 à 2017-18.

Ces calculs indiquent que les prélèvements réalisés par ces oies atteignent un maximum de 21 % (décembre 2017) pour une moyenne s'établissant autour de 3 à 7% 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 de zostères 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 algues vertes (entéromorphes) (1b - droite) - (© 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, la station a été déplacée de quelques centaines de mètre vers l'ouest, de l'autre côté de l'Estey Tort. Depuis 2007, la position de la station a été maintenue.

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 et Figure 9). 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. Toutefois, sa granulométrie présente une grande stabilité depuis 2014.

Tableau 1 : Évolution temporelle des caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Estey Tort int HZN.

	Médiane (µm)	Teneur en vase (%)	Teneur en sable (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2006	50	54,4	45,6	Vase sableuse	7,7 ± 1,2
2007	125	20,1	79,9	Sable fin envasé	8,5 ± 1,6
2008	93	20,8	79,2	Sable fin envasé	4,7 ± 0,8
2009	34	64,1	35,9	Vase sableuse	6,7 ± 0,9
2011	97	41,9	58,1	Vase sableuse	6,5 ± 1,5
2012	104	40,1	59,9	Vase sableuse	7,7 ± 1,6
2013	71	46,8	53,2	Vase sableuse	6,3 ± 2,9
2014	29	69,1	30,9	Vase sableuse	7,2 ± 1,0
2015	37	62,2	37,8	Vase sableuse	7,2 ± 1,4
2016	29	69,8	30,2	Vase sableuse	7,2 ± 1,1
2017	31	67,6	32,4	Vase sableuse	6,1 ± 0,3
2018	27	71,4	28,6	Vase sableuse	6,7 ± 1,1

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

** Moyenne ± Ecart-type

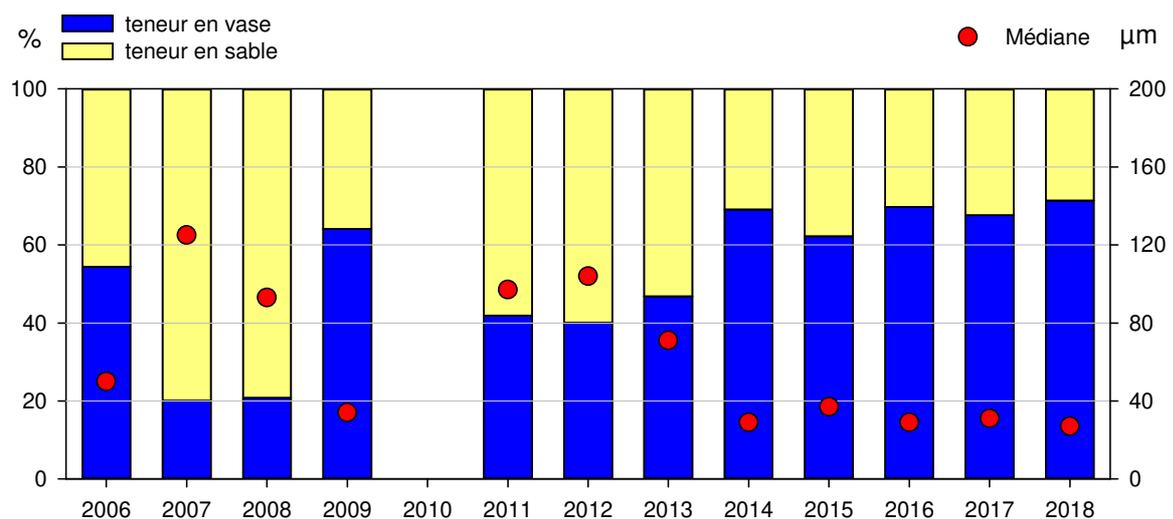


Figure 9 : Évolution temporelle de la médiane (µm) du sédiment et de la proportion (%) de sable (particules de taille comprises entre 63 et 2000 µm) et de vase (particules de taille inférieure à 63 µm) de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hossegor int ZN.

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 : Evolution temporelle de la 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)	Rhodophyta (g PS.m ⁻²)	Ochrophyta (g PS.m ⁻²)
2006	1,15 \pm 1,99	0	0
2007 à 2009	0	0	0
2011	2,08 \pm 7,41	0,32 \pm 0,66	0
2012 à 2017	0	0	0
2018	0,13 \pm 0,42	0,49 \pm 0,93	0

2.2.3 Les zostères

A cette station, ainsi que dans les zones environnantes, aucun pied de la forme parvozostéride⁶ de *Zostera marina* n'a été observé dans les dépressions des herbiers intertidaux au cours de la période d'étude (2006 à 2018).

Les résultats présentés dans le tableau 3 et sur la figure 10 indiquent une forte dégradation des herbiers de cette station entre 2008 et 2009, avec une réduction brutale du pourcentage de zones végétalisées.

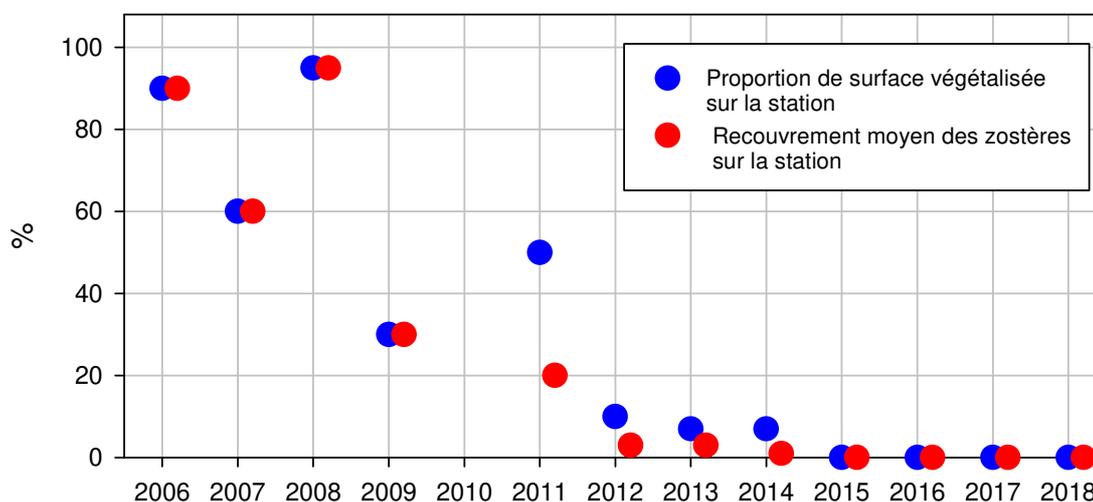


Figure 10 : Évolution temporelle des paramètres démographiques de l'herbier de zostères de la station Estey Tort int ZN.

⁶ 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.

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

Année	Surface végétalisée (%) *	Biomasse épiquée 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
2016	0		0	0
2017	0		0	0
2018	0		0	0

* Avant 2012, le pourcentage de surface végétalisée sur la station était estimée visuellement sur une surface d’environ 100mx100m autour de la station. A partir de 2012, ce paramètre est calculé de la façon suivante : (nb de quadrats présentant un recouvrement >0) x 100 / 30 - ** Calculé en utilisant la relation « Biomasse épiquée » vs « Recouvrement » établie par Auby et al. (2012) - *** Avant 2012, 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 2012, ce recouvrement est calculé directement en moyennant les recouvrements dans les 30 quadrats.

La situation s’est encore aggravée en **2012** (photo 4), seul un petit triangle d’herbier subsistant cette année-là.



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

En **2013 et 2014**, l’emprise de l’herbier s’est encore réduite sur cette station, pour en disparaître complètement en 2015. En septembre 2018, aucune recolonisation des herbiers n’a pu être mise en évidence (photo 5).



Photo 5 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en août 2018.

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 » était 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 depuis 2013 (tableau 4 et figure 11). Ce sédiment est moins envasé et moins riche en matière organique que celui de l'herbier de l'Estey Tort.

Tableau 4 : Évolution temporelle des caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Afrique int HZN.

	Médiane (µm)	Teneur en vase (%)	Teneur en sable (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2006	170	16,6	83,4	Sable fin envasé	3,4 ± 0,8
2007	153	17,7	82,3	Sable fin envasé	2,43 ± 0,7
2008	151	11,7	88,3	Sable fin envasé	2,0 ± 0,4
2009	163	18,8	81,2	Sable fin envasé	2,1 ± 0,3
2012	213	28,5	71,5	Vase sableuse	3,0 ± 0,7
2013	146	19,2	80,8	Sable fin envasé	1,8 ± 0,6
2014	134	23,5	76,5	Sable fin envasé	2,9 ± 0,7
2015	148	14,9	85,1	Sable fin envasé	1,8 ± 0,5
2016	151	12,9	87,1	Sable fin envasé	2,1 ± 0,4
2017	146	16,0	84,0	Sable fin envasé	2,1 ± 0,8
2018	144	16,6	83,4	Sable fin envasé	1,6 ± 0,3

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

** Moyenne ± Ecart-type

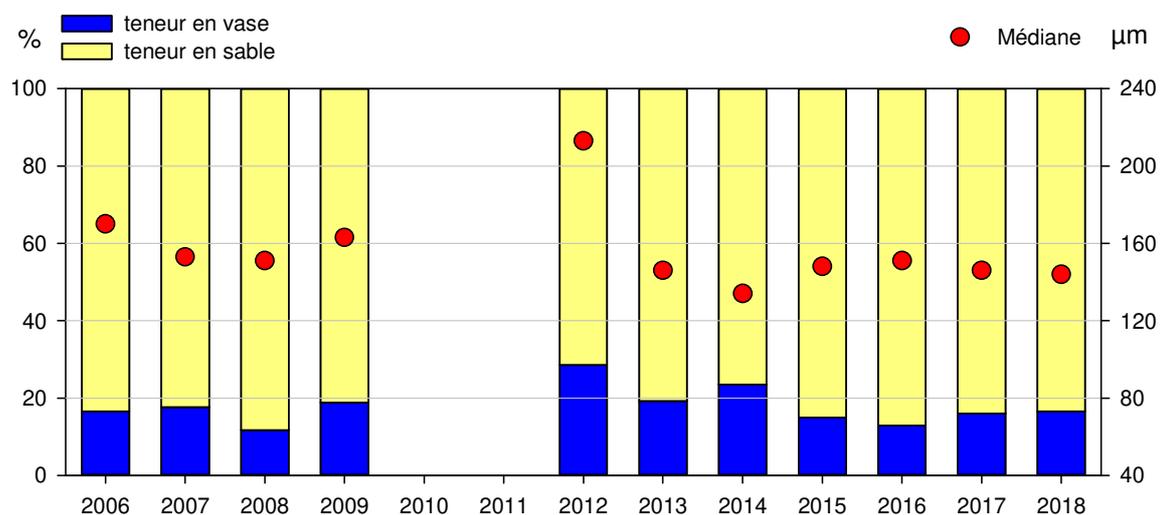


Figure 11 : Évolution temporelle de la médiane (µm) du sédiment et de la proportion (%) de sable (particules de taille comprises entre 63 et 2000 µm) et de vase (particules de taille inférieure à 63 µm) de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Afrique int ZN.

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 présentés dans le tableau 5 et sur la figure 12. Par contre, à partir de **2008**, des entéromorphes (Chlorophyta) (photo 8) et des gracilaires (Rhodophyta) colonisent cette station, ces macroalgues présentant néanmoins des biomasses assez faibles, notamment en 2015, 2016 et 2018.



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

Tableau 5: Évolution temporelle de la 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	0,03 \pm 0,09
2016	0,4 \pm 0,4	0	3,4 \pm 7,4
2017	2,7 \pm 3,2	0	0,2 \pm 0,4
2018	0,2 \pm 0,2	0	0,04 \pm 0,08

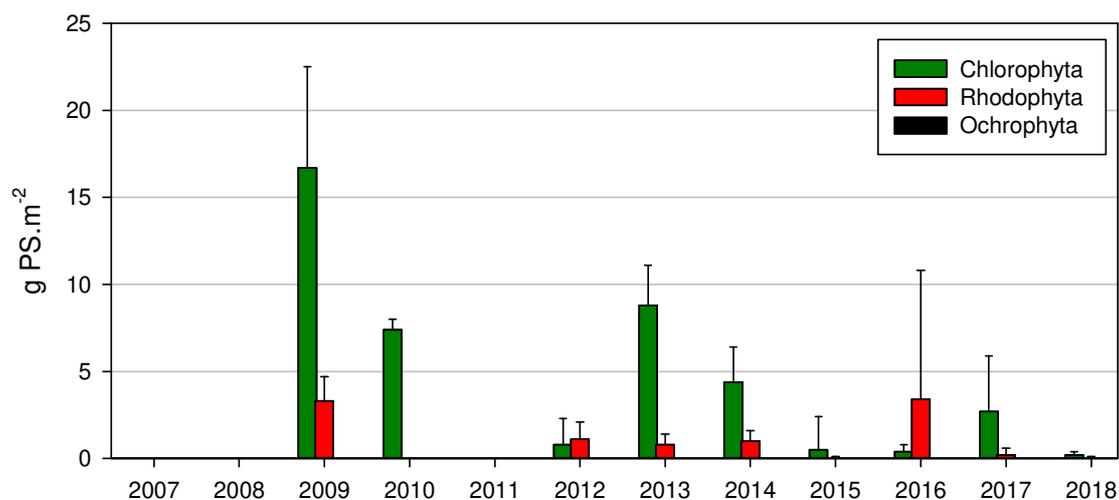


Figure 12 : Évolution temporelle de la biomasse (g PS.m⁻²) des macroalgues dans l'herbier de *Zostera noltei* de la station Afrique int ZN.

Selon les années, les deux types d'algues sont plus ou moins bien répartis dans l'ensemble de l'herbier (Figure 13).

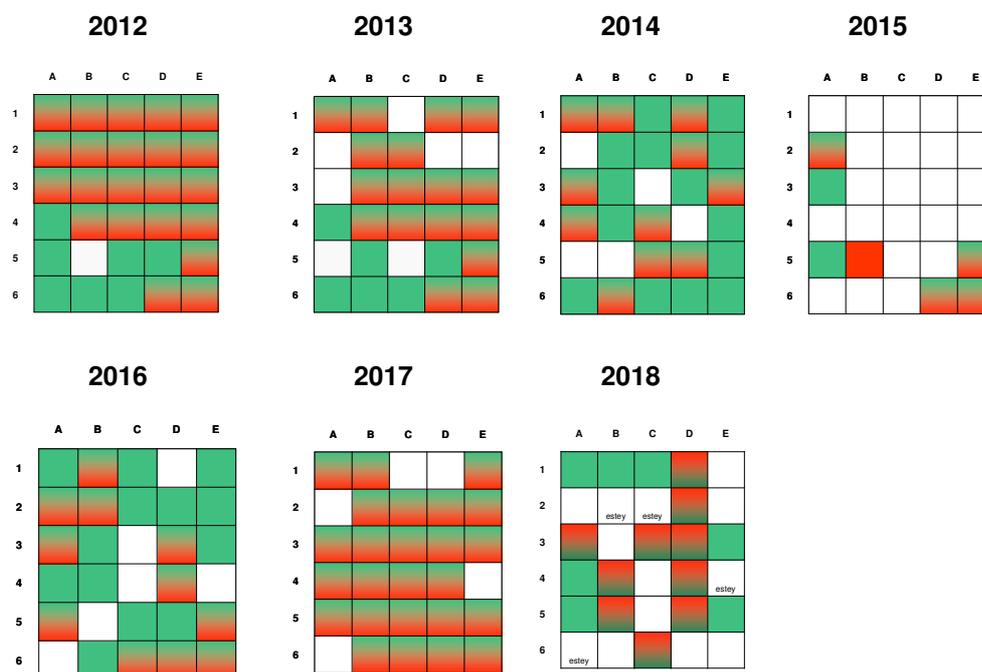


Figure 13 : Répartition des macroalgues (Chlorophyta et Rhodophyta) dans les quadrats de la station Afrique int HZN.

2.3.3 Les zostères

A cette station, la plupart des cuvettes intertidales étaient auparavant colonisées par un mélange de *Zostera noltei* et de la forme parvozostéride de *Zostera marina* (photo 9). Au cours des trois dernières années, cette dernière n'a pas été observée.



Photo 9 : *Zostera marina* dans l'herbier de la station « Afrique int HZN » en 2015.

En 2018, le recouvrement mesuré est plus faible que celui des deux années précédentes (Tableau 6 et figure 14). Par ailleurs, le pourcentage de surface végétalisée est important et ne montre pas d'évolution au cours du temps.

Tableau 6 : Évolution temporelle des paramètres démographiques de l'herbier de zostères 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
2016	100		68	68
2017	100		78	78
2018	96,1		52	50

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

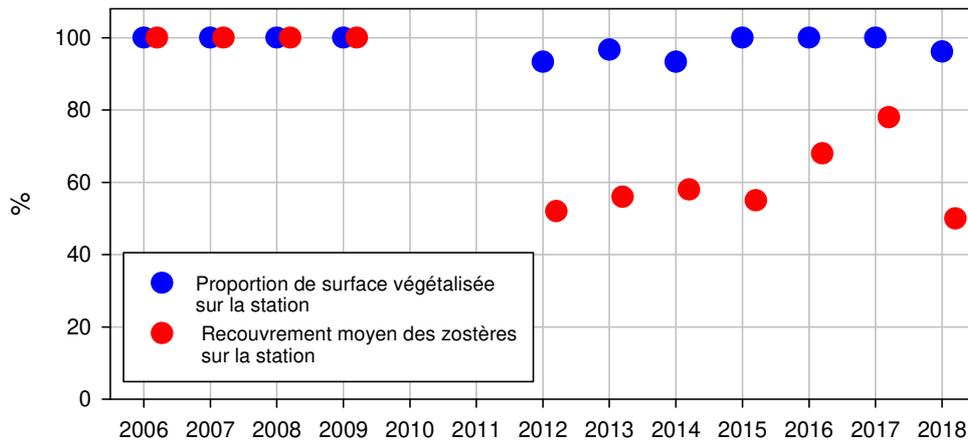


Figure 14 : Évolution des paramètres démographiques de l'herbier de zostères de la station Afrique int HZN

Comme au cours des étés précédents, en 2018 cet herbier est très hétérogène du point de vue des abondances de zostères (Figure 15 et photo 10).

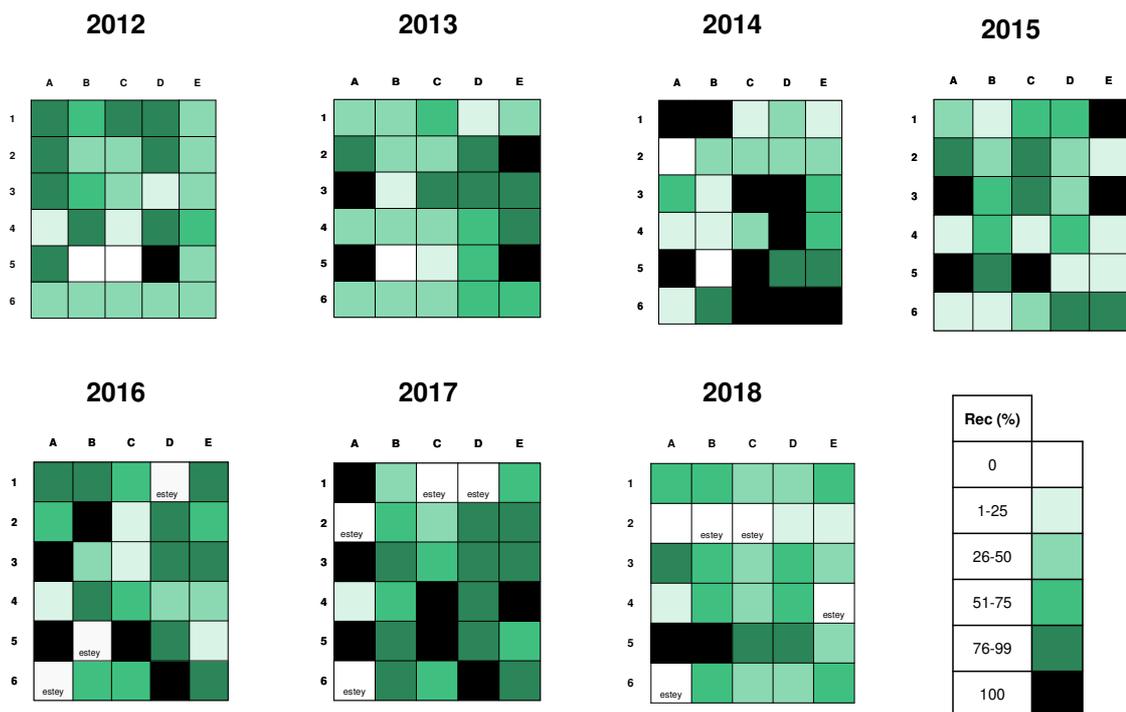


Figure 15 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Afrique int HZN



Photo 10 : L'herbier de la station Afrique int HZN en août 2018.

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 et la position de la grille n'a pas évolué depuis le début du suivi.

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 et sa composition est relativement stable dans le temps (tableau 7 et figure 16).

Tableau 7 : Évolution temporelle des caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hautebelle int ZN

	Médiane (µm)	Teneur en vase (%)	Teneur en sable (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2012	165	17,0	83	Sable fin envasé	3,4 ± 1,1
2013	102	26,0	74	Vase sableuse	3,3 ± 1,3
2014	127	20,0	80	Sable fin envasé	2,9 ± 1,0
2015	119	20,5	79,5	Sable fin envasé	2,7 ± 1,0
2016	165	23,0	77	Sable fin envasé	3,8 ± 0,8
2017	127	19,3	80,7	Sable fin envasé	3,5 ± 1,2
2018	111	26,5	73,5	Vase sableuse	3,0 ± 0,6

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

** Moyenne ± écart-type

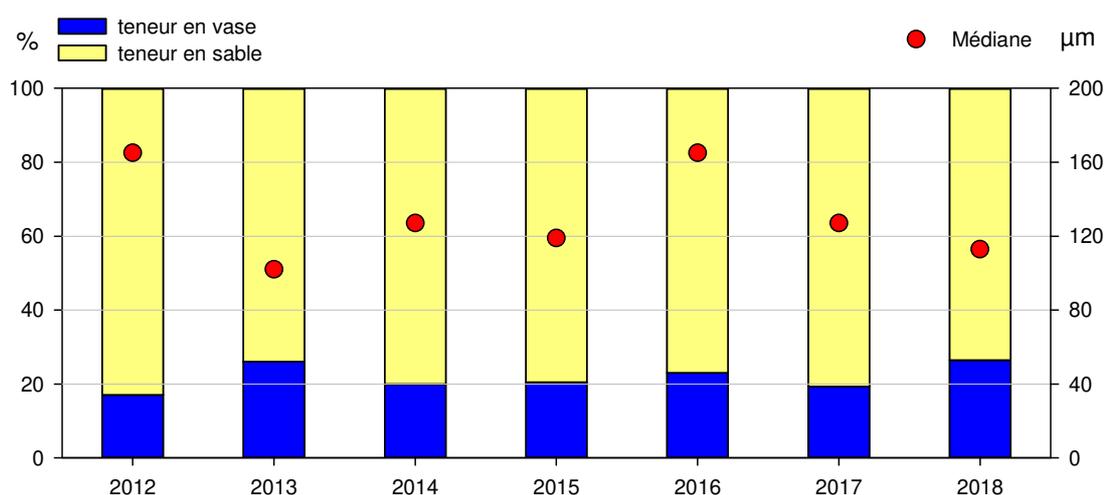


Figure 16 : Évolution temporelle de la médiane (µm) du sédiment et de la proportion (%) de sable (particules de taille comprises entre 63 et 2000 µm) et de vase (particules de taille inférieure à 63 µm) de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hautebelle int ZN.

2.4.2 Les macroalgues

Dans cet herbier, entre 2012 et 2018, on observe des algues vertes filamenteuses de faible diamètre ainsi que quelques algues rouges ; ces rhodophytes présentent ici une faible biomasse (tableau 8 et figure 17).

Tableau 8 : Évolution temporelle de la 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)	Rhodophyta (g PS.m ⁻²)	Ochrophyta (g PS.m ⁻²)
2012	0,5 \pm 1,2	0	0
2013	0,6 \pm 0,5	0,1 \pm 0,2	0
2014	1,6 \pm 2,2	0,1 \pm 0,3	0
2015	2,2 \pm 3,6	0,3 \pm 0,6	0
2016	1,7 \pm 2,5	0	0
2017	1,8 \pm 2,3	0,01 \pm 0,02	0
2018	0,9 \pm 2,3	0,003 \pm 0,006	0

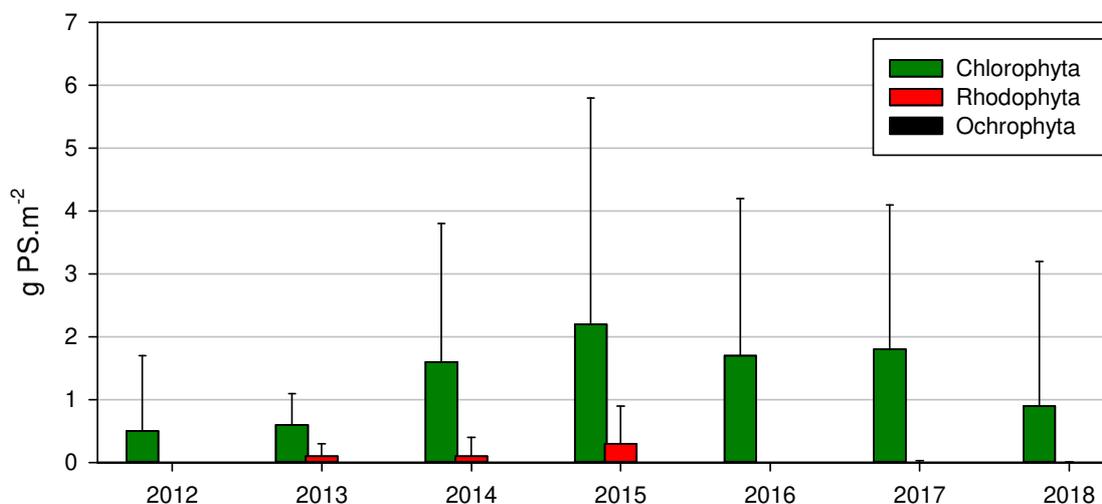


Figure 17 : Évolution temporelle de la biomasse (g PS.m⁻²) des macroalgues dans l'herbier de *Zostera noltei* de la station Hautebelle int ZN.

Les algues vertes sont présentes dans la majorité des quadrats, tandis que les algues rouges sont plus éparées (Figure 18).

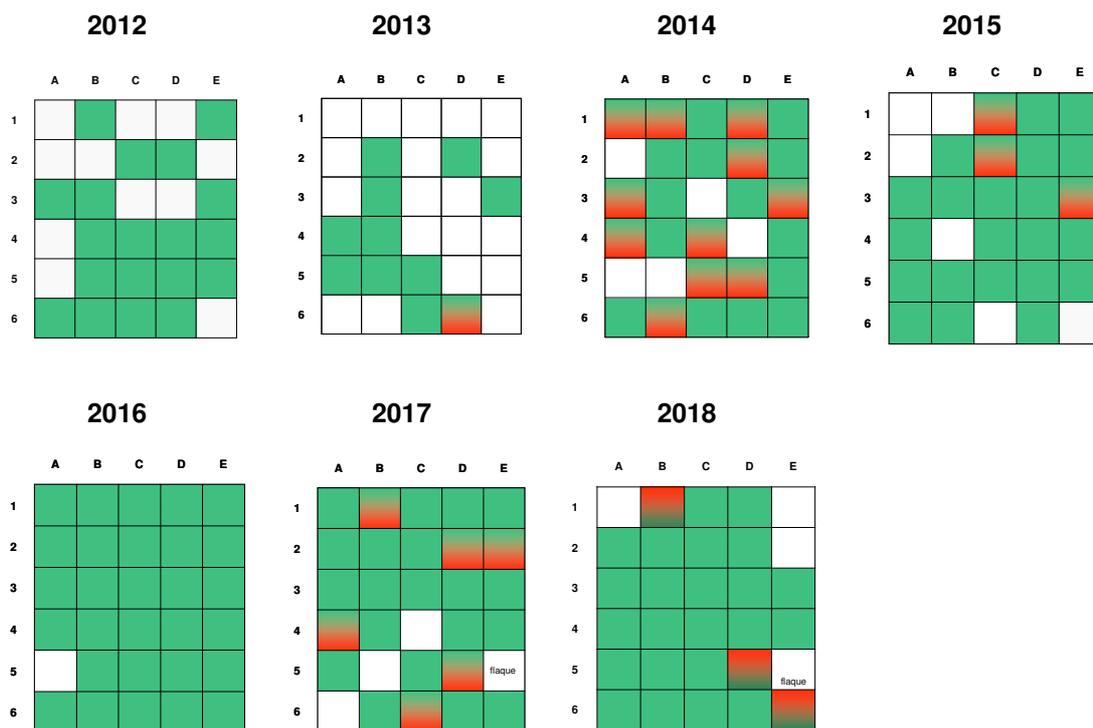


Figure 18 : Répartition des macroalgues (**Chlorophyta** et **Rhodophyta**) dans les quadrats de la station Hautebelle int HZN.

2.4.3 Les zostères

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

Comme on peut en juger à l’examen des photos 11 et 12, l’herbier de cette station est aussi dense en 2018 qu’en 2017.



Photo 11 : l’herbier de la station Hautebelle HZN en août 2017.



Photo 12 : l’herbier de la station Hautebelle HZN en août 2018

La prospection réalisée dans cet herbier au début du mois d'août 2015 avait 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.

L'effet de la fréquence de conjonction des pics de température de l'air et des basses-mers de la mi-journée (forts coefficients) avait alors été évoqué pour expliquer ce phénomène en 2015. Ce phénomène de brunissement a été beaucoup moins prégnant en août 2016, peut-être en rapport avec une moindre fréquence de ces événements (Figure 19). De même, en 2017, peu de feuilles brunes ont été observées ; si ce dernier été a été marqué par d'assez nombreux jours de fortes chaleurs, ils n'ont pas correspondu à de forts coefficients. Les observations réalisées à la toute fin du mois d'août 2018 révèlent la présence de nombreuses feuilles brunes, traduisant peut-être les effets de cet été chaud sur cette population de zostères.

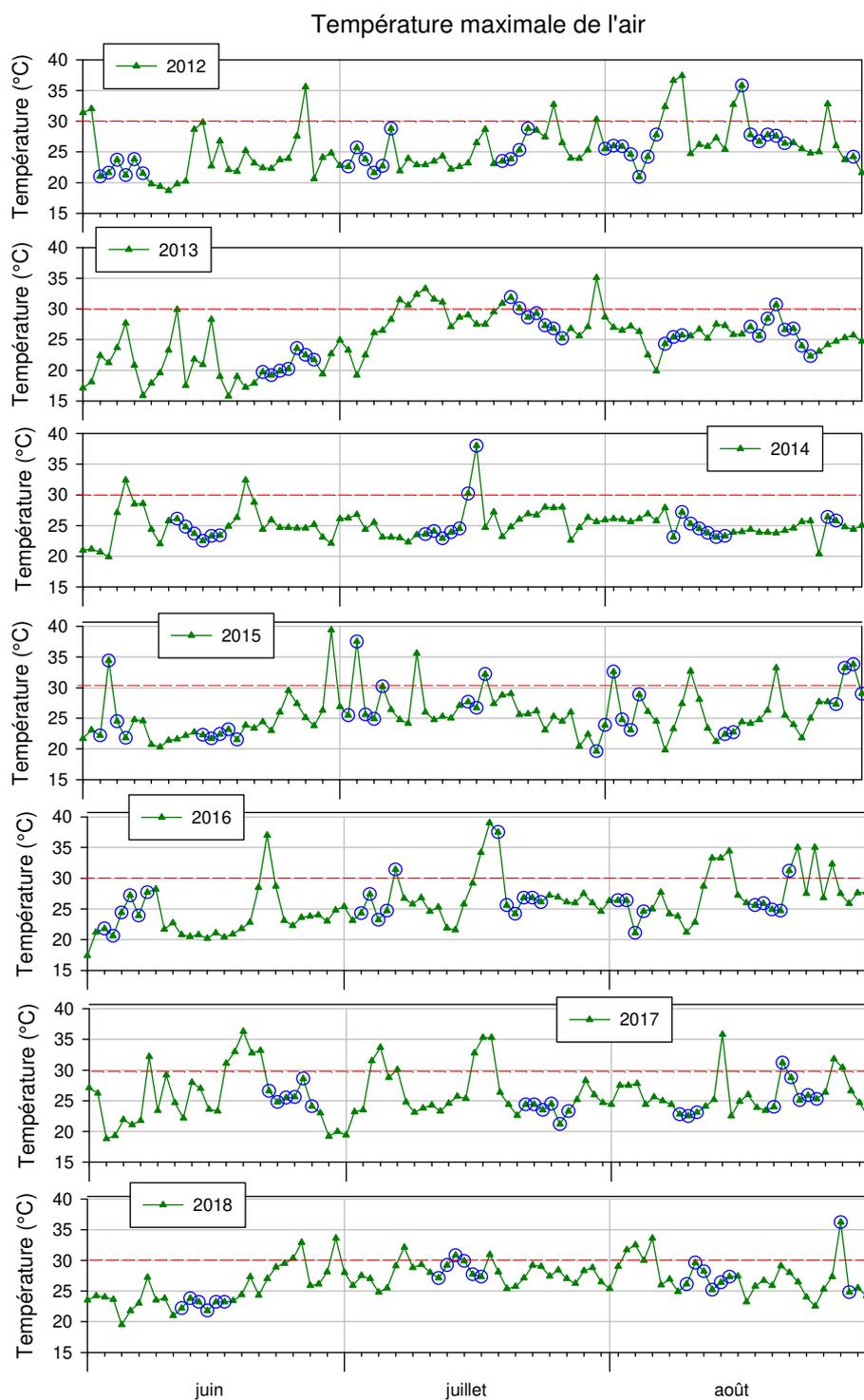


Figure 19 : Évolution de la température maximale journalière au cours des étés 2012 à 2017 (Données Météo France, Station Cap Ferret). *Les symboles encadrés correspondent aux dates pour lesquelles le coefficient est supérieur à 85.*

En 2018 (tableau 9 et figures 20 et 21), on a mesuré dans cet herbier de forts taux de recouvrement, comme c'est souvent le cas depuis le début du suivi.

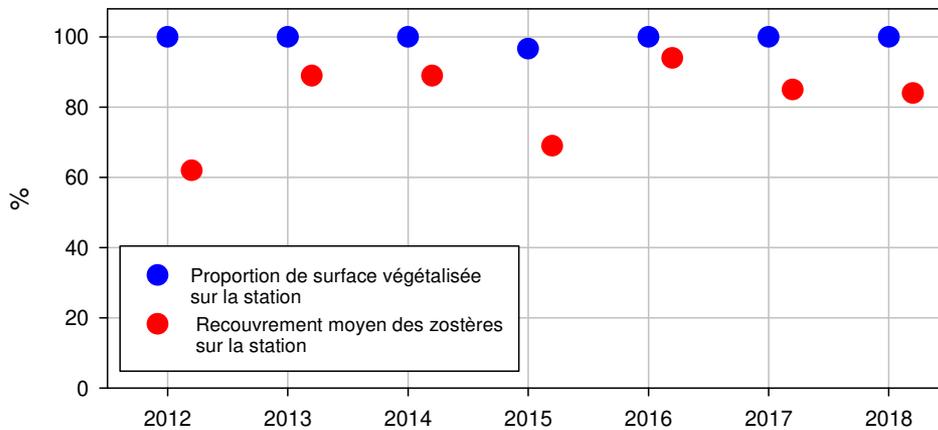


Figure 20 : Évolution temporelle des paramètres démographiques de l'herbier de la station Hautebelle int HZN

Tableau 9 : Évolution temporelle des paramètres démographiques 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
2016	100	94	94
2017	100	85	85
2018	100	84	84

En 2018, cet herbier présente des taux de recouvrement relativement homogènes (Figure 21).

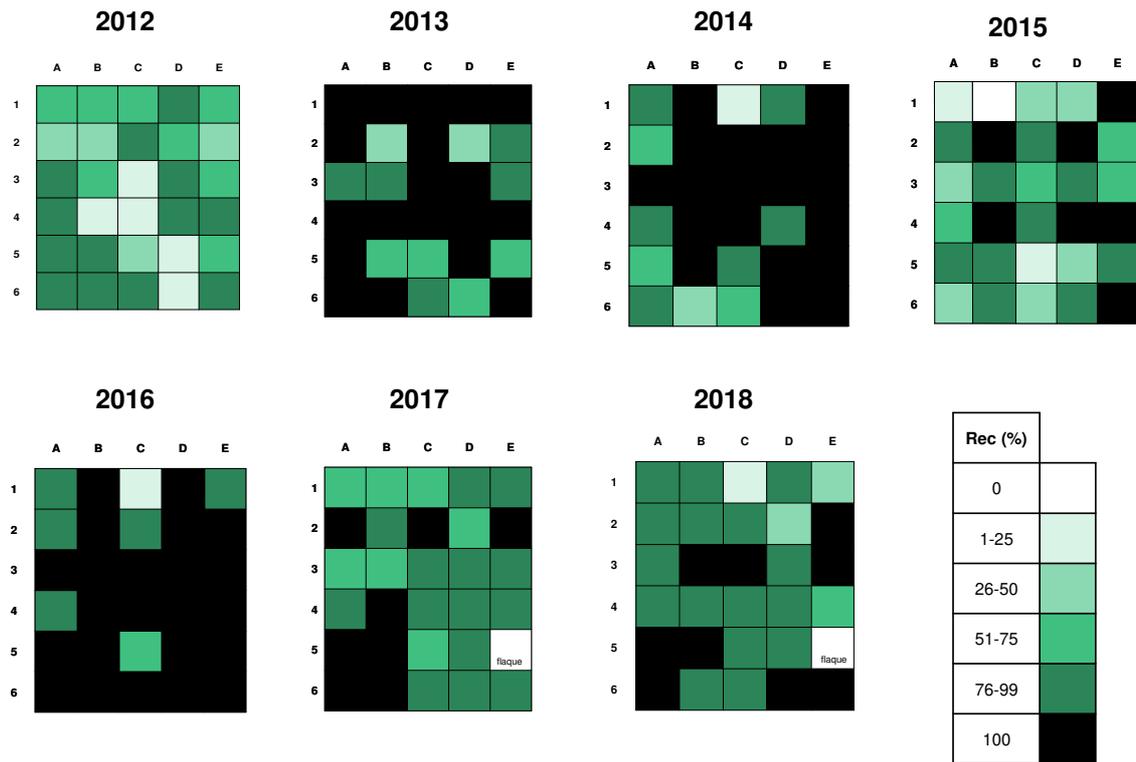


Figure 21 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Hautebelle int HZN

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 assez envasé mais sa granulométrie présente une assez forte variabilité annuelle (Tableau 10 et figure 22).

Tableau 10 : Évolution temporelle des caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Courbey (1, 2, 3) sub ZM.

	Médiane (µm)	Teneur en vase (%)	Teneur en sable (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2007	133	18	82	Sable fin envasé	3,0 ± 1,8
2008	86	18	82	Sable fin envasé	6,1 ± 2,1
2009	95	41	59	Vase sableuse	3,7 ± 1,4
2011	86	43	57	Vase sableuse	7,2 ± 2,1
2012	72	48	52	Vase sableuse	5,7 ± 3,7
2013	86	37	63	Vase sableuse	4,8 ± 2,0
2014	31	67	33	Vase sableuse	7,7 ± 2,0
2015	77	39	61	Vase sableuse	5,7 ± 2,6
2016	111	26	74	Sable fin envasé	4,2 ± 2,5
2017	35	63	37	Vase sableuse	7,6 ± 1,6
2018	98	33	67	Vase sableuse	3,9 ± 2,6

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

** Moyenne ± écart-type

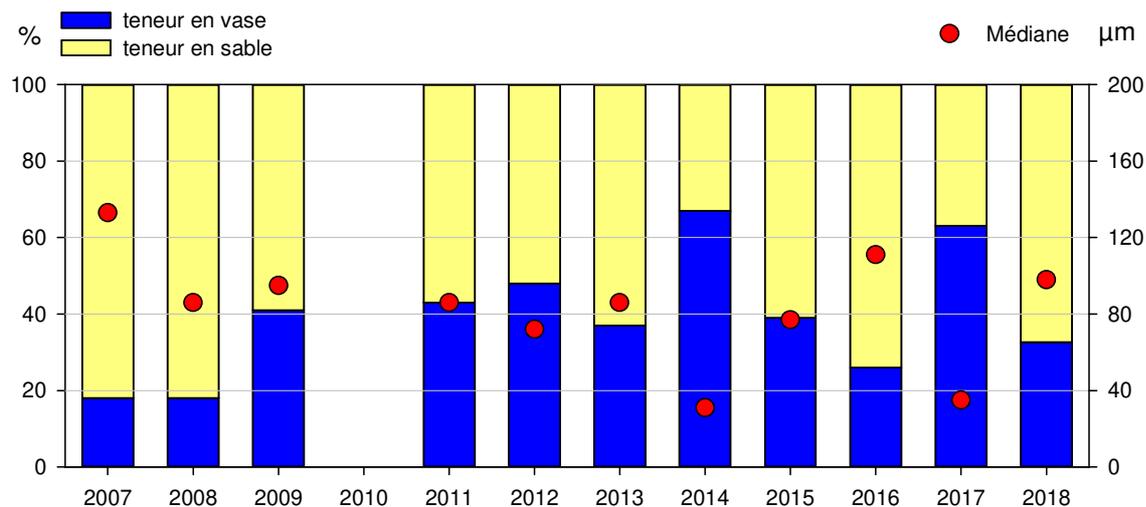


Figure 22 : Évolution temporelle de la médiane (µm) du sédiment et de la proportion (%) de sable (particules de taille comprises entre 63 et 2000 µm) et de vase (particules de taille inférieure à 63 µm) de l'herbier de *Zostera noltei* de la station Courbey (1, 2, 3) sub ZM.

2.5.2 Les macroalgues

Aucune macroalgue n'a été observée dans ces herbiers aux mois de septembre des années **2007** à **2011** et de **2013** à **2017**. En **2012 et 2018**, 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 colonisées de manière assez variable par les épiphytes, ceux-ci représentant de 5 à 37% de la biomasse des limbes qui les supportent. Les valeurs les plus fortes ont été observées en **2009, 2014 et 2016** comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 11.

Ces épiphytes sont minoritairement composés de matière organique (12 à 37 %), notamment en raison de la présence 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
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
2016	28,07 \pm 1,92	1,15 \pm 0,20	18,23 \pm 4,82
2017	15,02 \pm 6,77	0,71 \pm 0,27	21,02 \pm 2,90
2018	18,26 \pm 13,27	0,50 \pm 0,41	12,38 \pm 0,35

2.5.4 Les zostères

Les caractéristiques des zostères du chenal du Courbey à la fin des étés **2007** à **2018** (2010 exclus) sont présentées dans les tableaux 12-1 et 12-2 et sur la figure 23.

Tableau 12-1 : Évolution temporelle des paramètres démographiques 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
2016	138 \pm 87	140,1 \pm 43,5	66,4 \pm 14,0	3,7 \pm 1,0	8,1 \pm 1,8
2017	116 \pm 39	139,0 \pm 42,8	67,3 \pm 31,9	4,5 \pm 0,8	9,0 \pm 3,3
2018	188 \pm 85	112,7 \pm 41,4	79,6 \pm 32,1	4,0 \pm 1,0	8,0 \pm 4,3

En septembre 2018, les densités des zostères marines du chenal du Courbey étaient les plus élevées jamais mesurées au cours de ce suivi et les biomasses épigées présentaient des valeurs assez élevées par rapport à cette série.

D'une façon générale, la densité des pousses présente de moins fortes variations interannuelles (103 à 188 pousses / m²) que la biomasse des organes épigés (45 à 140 g PS / m²) avec par exemple des valeurs trois fois plus élevées en **2011**, **2016** et **2017** qu'en **2007**, **2012** et **2013**.

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

	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
2016	74,4 \pm 26,4	2,2 \pm 0,9	356,8 \pm 7,1	5,30 \pm 1,35
2017	91,8 \pm 23,0	2,3 \pm 0,8	354,4 \pm 28,9	5,26 \pm 1,65
2018	49,7 \pm 22,8	1,6 \pm 0,9	352,4 \pm 24,8	4,36 \pm 1,87

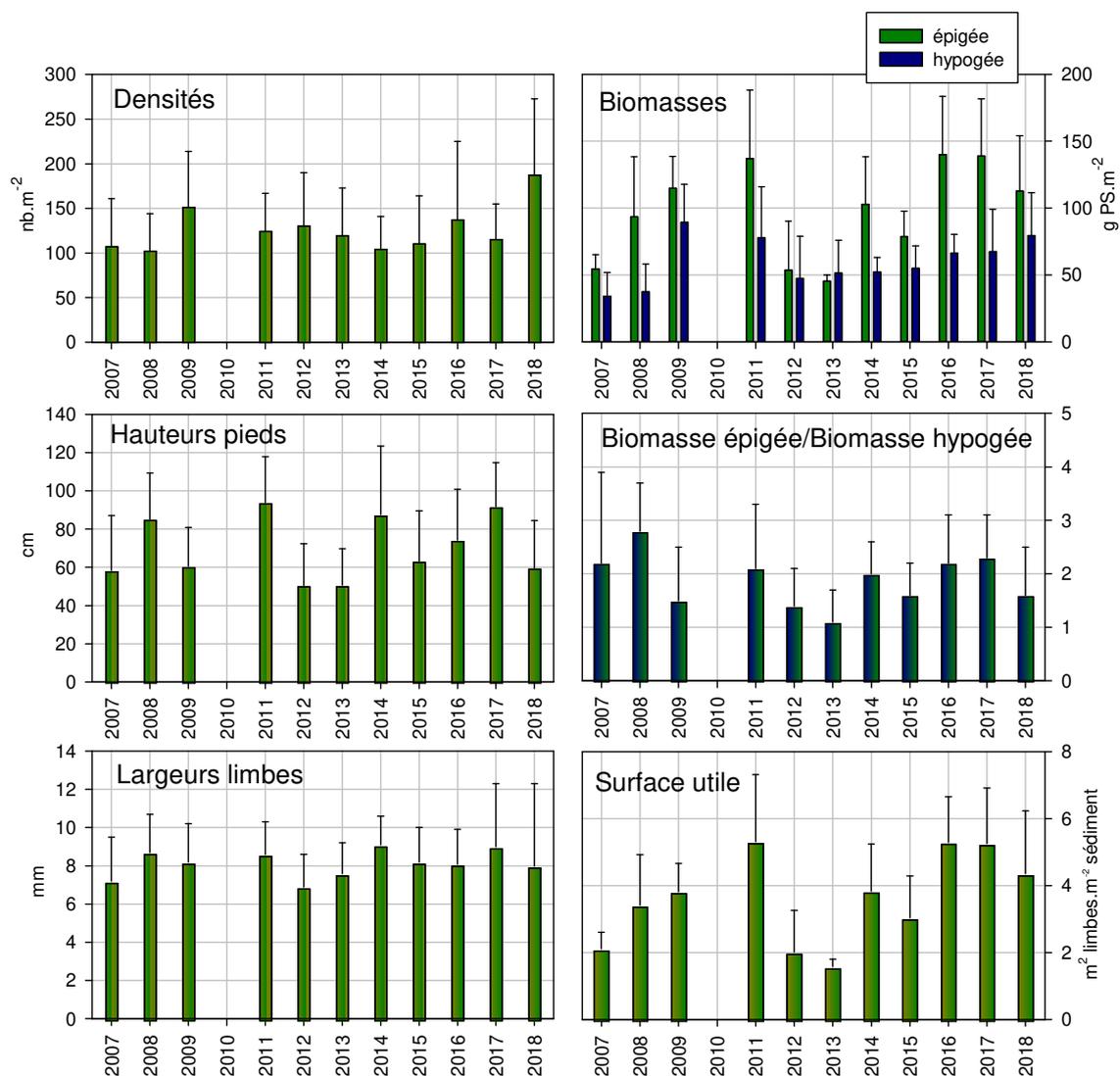


Figure 23 : Évolution temporelle des paramètres démographiques des zostères (moyenne ± écart-type) de l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

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

Par contre, la variabilité de la biomasse épigée semble liée de façon positive à la température de l'eau pendant la période de croissance (février à septembre), avec deux groupes d'années, froides ou chaudes, caractérisées par des biomasses faibles ou élevées (Figure 24). Aucun autre facteur climatique ou hydrologique n'améliore cette relation.

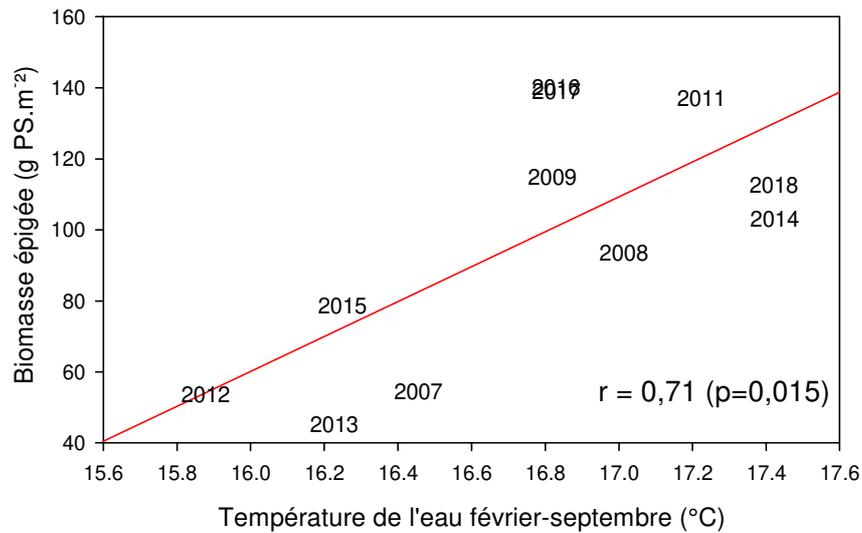


Figure 24 : Relation entre la température de l'eau (station Courbey du réseau hydrologique ARCHYD, moyenne février-septembre) et la biomasse épigée des zostères marines de la station Courbey (1, 2, 3)_sub_ZM.

Les herbiers bretons de zostères marines échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE (Grall *et al.*, 2019) présentent des densités généralement beaucoup plus élevées que la population du Courbey (Figure 25).

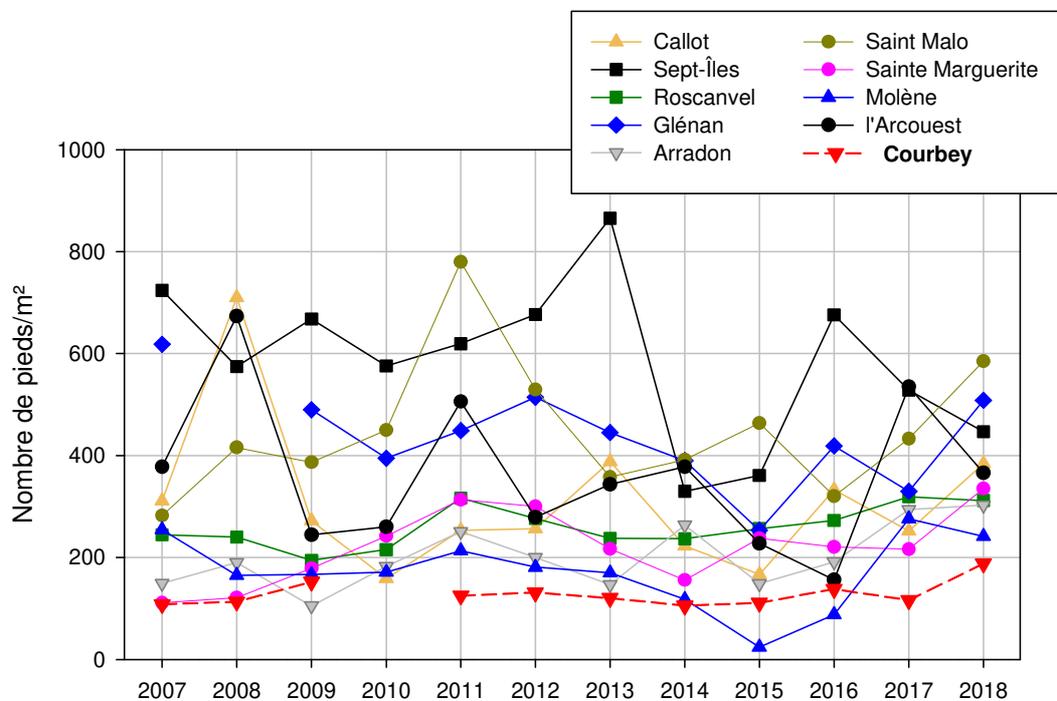


Figure 25: Évolution des densités de pousses dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2018.

Par contre, les biomasses épigées des herbiers du Courbey sont du même ordre que celles des herbiers bretons, voire plus élevées en 2011 et depuis 2014, traduisant que les feuilles de l'herbier arcachonnais sont plus longues et plus larges (Figure 26).

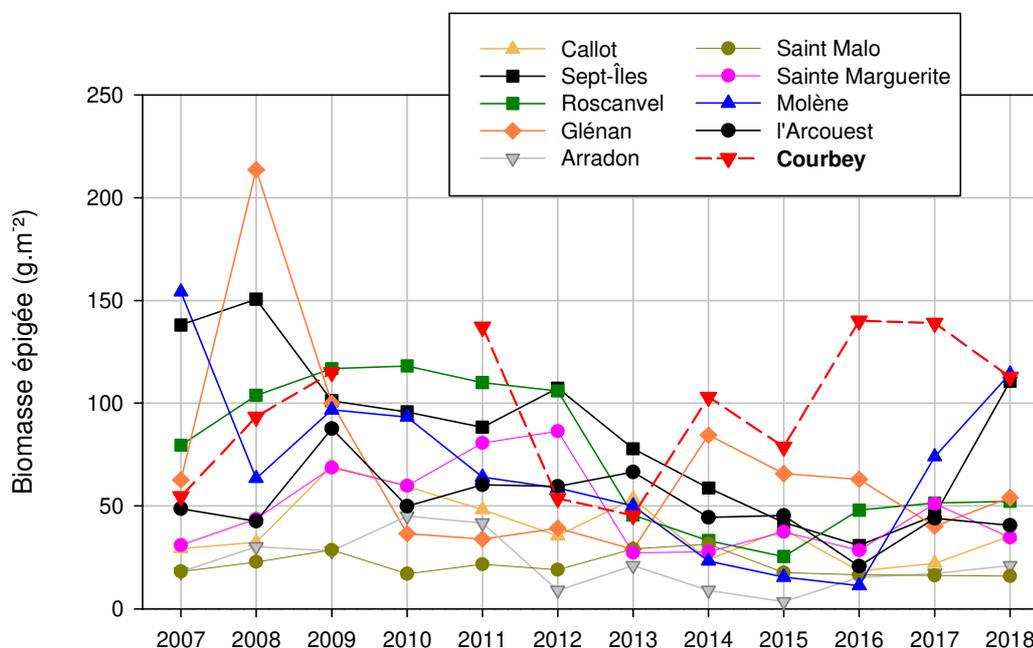


Figure 26 : Évolution de la biomasse épigée (feuilles et gaines) dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2018

2.5.5 Indice de maladie du dépérissement

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 États-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 (Wix)**, 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, la moins atteinte par la maladie, et la plus interne) à la plus vieille (la plus longue quand elle est entière, la plus foncée, la plus épiphytée, la plus atteinte par la maladie 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_sub_ZM échantillonnée à la fin des étés 2007 à 2018 (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
2016	17,8 \pm 14,2	6,8 \pm 10,7	0,0 \pm 0,2	0,4 \pm 0,5	4,8 \pm 5,3	13,4 \pm 12,2
2017	8,0 \pm 5,3	2,8 \pm 4,6	0,0 \pm 0,0	0,6 \pm 1,8	2,2 \pm 3,4	7,3 \pm 5,6
2018	42,0 \pm 25,3	15,7 \pm 21,2	0,6 \pm 1,8	4,8 \pm 5,9	18,8 \pm 20,2	32,8 \pm 21,1

Les indices généraux (WI et WIM) présentent des valeurs maximales en **2011** et **2018**, et minimales en **2009**, **2014** et **2017**. L'examen des régressions linéaires des résultats obtenus feuille par feuille (figure 27) donne des indications légèrement différentes, **2007** et **2013** s'avérant alors comprises dans le groupe des années marquées par une forte infection. La comparaison de ces pentes avec la partie droite de la figure ne permet pas d'établir une relation entre le degré d'atteinte par la maladie et le niveau de densité ou de biomasse épigée de la population, ce qui signifie que l'on n'observe pas d'effet direct de cette affection sur les caractéristiques démographiques de la population.

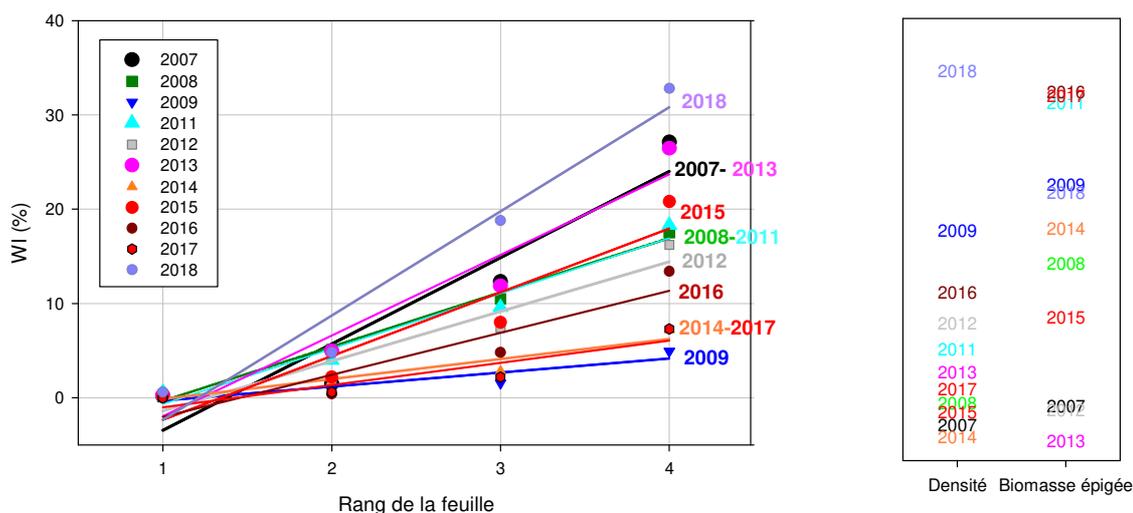


Figure 27 : Régression linéaire de WI (%) en fonction de l'âge de la feuille au cours des différentes années dans l'herbier de zostères marines du Courbey (gauche) – Ordre des densités et biomasses épigées mesurées au mois de septembre des différentes années (droite).

Une relation inverse entre le niveau d'insolation reçu au cours de leur période de croissance et cet indicateur d'atteinte par la maladie semble se dessiner, très marquée si l'on exclut l'année 2017 de cette analyse (Figure 28).

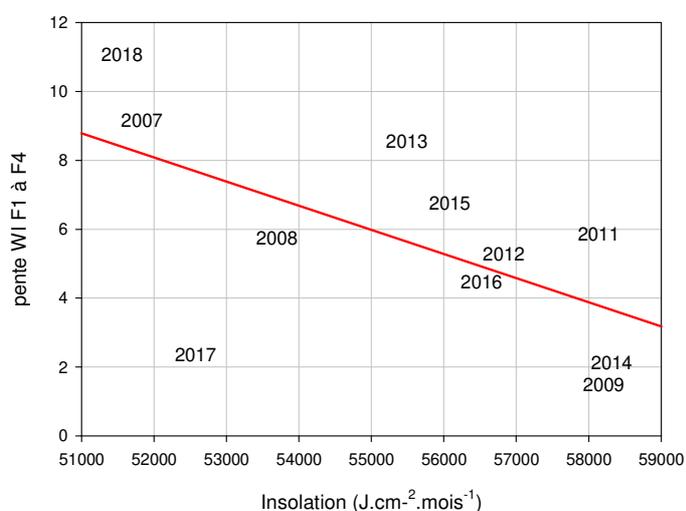


Figure 28 : Relation entre l'insolation (Station Météo France Cap Ferret, moyenne février-septembre) et la pente d'atteinte par la maladie des zostères marines en fonction de l'âge des feuilles de la station Courbey (1, 2, 3)_sub_ZM.

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), les observations bi-annuelles (printemps et automne) réalisées dans le cadre du REBENT Bretagne (Hily, com. pers.), et celles bi-mensuelles effectuées en 2010 sur le Bassin d'Arcachon (Auby *et al.*, 2011) ont montré une forte variabilité temporelle de cet index, y compris au cours d'un cycle annuel.

Les valeurs du **WIM** (4,3 à 15,7 % en moyenne) de l'herbier arcachonnais au cours des 11 années se situent dans la gamme de valeurs des observations réalisées dans les 9 herbiers bretons échantillonnés au cours des printemps 2007 à 2018 dans le cadre du REBENT Bretagne (Grall *et al.*, 2019.) (Figure 29). On peut remarquer sur cette figure que les valeurs mesurées en 2017 dans tous ces herbiers étaient très faibles. Par contre, alors que l'herbier arcachonnais était très fortement atteint en 2018, les herbiers bretons étaient, cette année-là, exempts de traces de cette maladie.

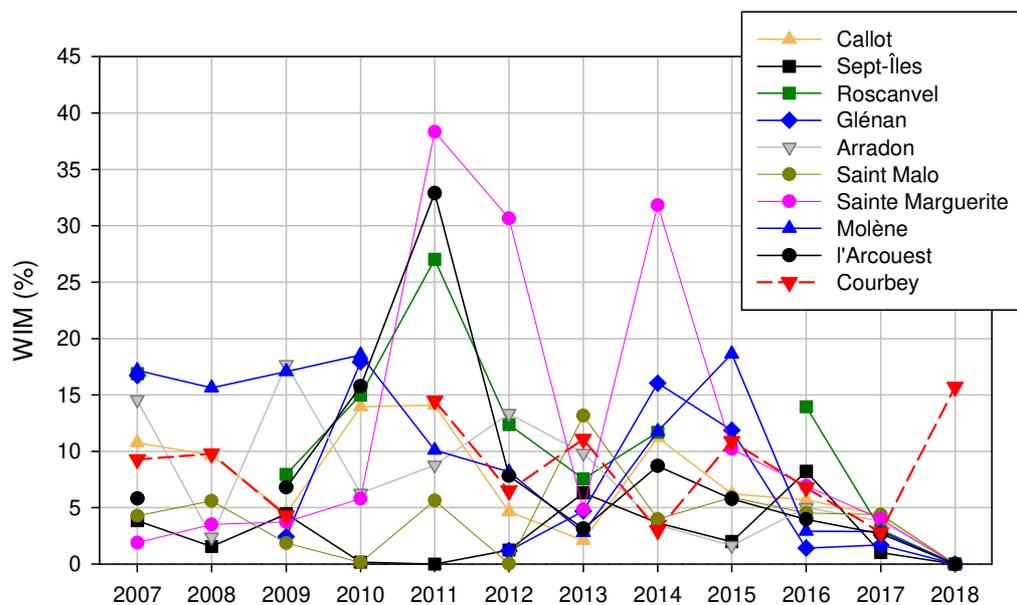


Figure 29 : Valeurs du WIM dans six herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2018.

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 2018 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 2018, 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 2018.

Tableau 14 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « composition taxinomique ». Valeur du RQE en 2018

Changement de la composition taxinomique par rapport aux conditions de référence et RQE	RQE 2018
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 : Évolution 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.)
2016	56,2	4 259 ha*	Trut <i>et al.</i> (2018)
Évolution par rapport à la plus grande extension connue	- 85%	-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 16.

Tableau 16: Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « extension ». Valeur du RQE en 2018.

Modification de l'extension par rapport aux conditions de référence et RQE	<i>Zostera noltei</i>	<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera</i> * RQE 2018
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... 17% perte = 0,66			
18% perte = 0,64, 19% perte = 0,62, ... 30% perte = 0,50			
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30	0,42		
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ... 100% perte = 0,00		0,09	0,26

* 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 Abondance

Les données relatives à l'abondance (recouvrement ou densité) des herbiers au cours des dernières années sont présentées dans le tableau 17.

Tableau 17 : Évolution des abondances des zostères de la masse d'eau « Arcachon amont » au cours du temps (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 int HZN</u> (%)	Recouvrement moyen sur la station <u>Afrique int HZN</u> (%)	Recouvrement moyen sur la station <u>Hautebelle int HZN</u> (%)	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
2011	20			125
2012	3	52	62	131
2013	3	56	89	120
2014	1	58	89	105
2015	0	55	69	111
2016	0	68	94	137
2017	0	78	85	116
2018	0	50	84	188
Evolution par rapport à la densité maximale	-100%	-50%	-11%	+19%

Le calcul de RQE pour la métrique « abondance » 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 2018.

Tableau 18 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur de RQE pour la métrique « abondance ». Valeurs des RQE en 2018.

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	Afrique	Hautebelle	<i>Z. noltei</i>	Courbey	RQE 2018
0% perte ou gain = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96... 10% perte = 0,80					1,00	
11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74... 17% perte = 0,66			0,78			0,68
18% perte = 0,64, 19% perte = 0,62, ... 30% perte = 0,50						
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30		0,30		0,36		
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ...100% perte = 0,00	0,00					

* 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 angiospermes

L'EQR de l'indicateur « angiospermes » 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	RQE « Angiospermes »
Très bon état	0,80–1,0
Bon état	0,65–0,79
Etat moyen	0,40–0,64
Etat médiocre	0,20–0,39
Mauvais état	0,0–0,19

Pour la masse d'eau « Arcachon amont », l'indicateur « angiosperme » indique un « bon état » en 2018 avec un RQE de 0,65 très proche de la valeur seuil qui aurait conduit à lui affecter un état moyen (Tableau 20). Cette « amélioration » s'explique par les fortes densités observées en 2018 dans l'herbier de *Z. marina* du chenal du Courbey.

Tableau 20 : Résultats pour l'élément de qualité « angiospermes » en 2018 dans la masse d'eau « Arcachon amont »

Arcachon amont	Indices			Indicateur
	Composition	Extension	Densité	Angiospermes
RQE	1	<i>Zostera noltei</i> : 0,42 <i>Zostera marina</i> : 0,09 Zostères : 0,26	<i>Zostera noltei</i> : 0,36 <i>Zostera marina</i> : 1,00 Zostères : 0,68	0,65
Etat	Très bon état	Etat médiocre	Bon état	Bon état

Comme le montre la figure 30, la variabilité de la valeur atteinte par l'indicateur repose principalement sur celle des abondances (Taux de recouvrement pour *Z. noltei*, densités pour *Z. marina*), probablement expliquée en partie par les conditions climatiques pendant leur période de croissance.

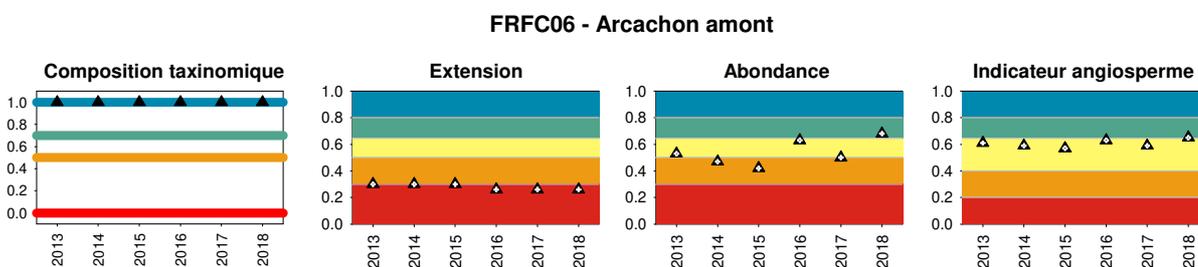


Figure 30 : Évolution temporelle du RQE des 3 métriques et de l'indicateur entre 2013 et 2018

Afin de réduire l'effet de cette variabilité inter-annuelle sur la valeur atteinte par l'indicateur, il a été décidé de qualifier l'état de la masse d'eau en utilisant, comme c'est le cas pour d'autres paramètres (phytoplancton par exemple) la moyenne des six dernières années.

Avec une valeur moyenne de 0,60 pour la période 2013-2018, la qualité estimée pour cette masse d'eau en utilisant cet indicateur reste « moyenne ».

Conclusion

Zostera marina

Les observations réalisées entre 2007 et 2018 dans les herbiers de zostères marines du chenal du Courbey en septembre révèlent une plus faible variabilité des densités de pousses que des biomasses épigées, les variations de ces dernières semblant assez bien liées à la température de l'eau s'appliquant sur ces herbiers de la fin de l'hiver à la fin de l'été.

Les densités mesurées dans cet herbier en 2018 s'avèrent les plus hautes qui y ont été mesurées depuis le début du suivi. Par contre, le niveau de développement individuel des pousses, aussi bien en termes de biomasse que de hauteur était assez réduit, tandis que les signes de maladie du dépérissement étaient importants. A cet égard, on peut remarquer que l'année 2018 a été à la fois chaude et peu ensoleillée pendant la période de croissance des zostères.

La régression de l'emprise de cette espèce dans le Bassin d'Arcachon, déjà importante entre 1988 et 2008 (Plus *et al.*, 2010) s'est poursuivie jusqu'en 2016-17 (Trut *et al.*, 2018), atteignant 85 % de perte par rapport à la situation de 1988. Cette régression atteint principalement les zones orientales du Bassin.

Zostera noltei

Les résultats acquis au cours de ces dernières années sur les deux stations suivies depuis 2006 indiquent une très forte régression des recouvrements dans le centre de la partie orientale du Bassin (Estey Tort), phénomène constant depuis ces dernières années. L'herbier situé dans la partie ouest du Bassin (Afrique) présente des recouvrements variables, plutôt faibles en 2018 à l'instar des années 2012 à 2015.

Par contre, l'herbier échantillonné pour la première fois en 2012 (Hautebelle) présente un bien meilleur taux de recouvrement que les deux autres stations, du même ordre que celui de l'année précédente.

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 état d'une régression qui s'est poursuivie depuis 2007. Une nouvelle carte de ces herbiers doit être réalisée au cours de l'été 2018 et permettra de préciser leur tendance d'évolution au cours de ces dernières années.

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 pouvant expliquer le début de la régression, on peut suspecter l'effet délétère des canicules de 2003 et 2006 sur les populations de *Zostera marina* du fond de la Baie, où les eaux peu profondes présentent une faible inertie thermique. Cet impact négatif des fortes températures 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 négligeable sur la survie et la production des zostères, notamment lorsque les températures sont élevées (Gamain *et al.*, 2016). La régression des herbiers, dont l'une des fonctions est de fixer les sédiments fins, a provoqué l'augmentation de la turbidité des eaux du fond du Bassin (Ifremer LERAR, 2017), ce qui rend problématique la réinstallation des zostères dans les chenaux orientaux, les zostères marines se trouvant alors limitées par la lumière (Paolin, 2012).

La régression des zostères marines aurait également fortement modifié l'intensité des courants s'appliquant sur les fonds, notamment au niveau des zones intertidales où se développent les zostères naines (Cognat *et al.*, 2018) et ces conditions pourraient participer à expliquer la régression de l'emprise de *Zostera noltei* sur certains estrans du Bassin.

L'indicateur « angiosperme »

Depuis quelques années, dans la masse d'eau « Arcachon amont », l'indicateur « angiospermes » oscillait autour de l'ancienne limite (0,6) entre le « bon état » et l'« état moyen ». La modification apportée à cette limite (0,645) à la suite de l'intercalibration européenne a généré un déclassement en « état moyen » pour l'ensemble des dernières années, hormis en 2018, où la valeur du RQE dépassait légèrement la nouvelle limite en question.

En utilisant les règles d'agrégation publiées récemment (moyenne des six dernières années de suivi) par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES, 2018), l'état de cette masse d'eau vis-à-vis de l'indicateur « angiosperme » reste néanmoins « moyen » ce qui s'explique principalement par la diminution de l'emprise des herbiers des deux espèces de zostères dans la Baie.

Bibliographie

Aubert F., Guenneteau S., Sauriau P.G. (2018). Contrôle de surveillance 2017 DCE de la masse d'eau côtière «FRFC02 - Pertuis charentais » pour les herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei* Hornemann : Rapport final. Rapport Cohabys, Université la Rochelle-CNRS/UMR LIENSs, 57 p.

Aubert F., Sauriau P.-G. (2019). Prospection du secteur Bonne Anse dans la masse d'eau FRFT09 « Estuaire gironde aval » pour la mise en place d'une nouvelle station de suivi DCE herbier à *Zostera noltei*. Rapport ADERA/Cellule COHABYS, Université La Rochelle/UMR LIENSs, 11 p.

Aubert F., Sauriau P.-G., Guenneteau S. (2019). Contrôle de surveillance DCE 2018 de la masse d'eau côtière «FRFC02 - Pertuis charentais » pour les herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei* Hornemann : Rapport final. Rapport ADERA/Cellule COHABYS, Université La Rochelle/UMR LIENSs, 56 p.

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 ifremer RST/LER/MPL/12.03, 24 p.

Auby I., D'Amico F., Meteigner C., Rumebe M., Tournaire M-P., Rigouin L., Gouriou L., Lissardy M., Sanchez F., de Casamajor M-N., Ganthy F., Trut G., Trut F., Caill_Milly N., Oger-Jeanneret H., Guesdon S., Derrien A., Chabirand J-M., Genauzeau S., Morin D., Schmidt A., Piraud A. Geairon P., Grizon J., Seugnet J-L., Thomas G., Bechemin C., Bruneau A., Soudant D., Brun M., Michel V., Dupin M., Bariou J., Landier P., Miguel V. (2017). Suivi « hydrologie » et « phytoplancton » des masses d'eau du bassin hydrographique Adour-Garonne sur la période 2012-2017. Rapport Ifremer RST/ ODE/LITTORAL/LER/AR/18.014, 107 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. Rapport Ifremer RST/LER/MPL/10-15, 72 p + annexes.

Auby I., Oger-Jeanneret H., Trut G., Ganthy F., Rigouin L., De Casamajor M-N., Sanchez F., Lissardy M., Fortune M., Manach S., Bizzozero L., Rollet C., Lejolivet A., Desroy N., Foveau A., Le Mao P., Sauriau P.G., Aubert A., Cajeri P., Curti C., Duvard A., Latry L., Lachaussee N., Pineau P., Plumejeaud-Perreau C., Aubin S., Droual G., Fournier J., Garcia A, Guillaudeau J., Hubert C., Humbert S., Janson A.L., Masse C., Panizza A.C., Grall J., Maguer M., Hily C., Hacquebart P., Joncourt Y., Baffreau A., Timsit O. (2018). Classement des masses d'eau du littoral Manche-Atlantique sur la base de l'indicateur DCE «Angiospermes» (2012-2016) .Rapport Ifremer ODE/UL/LER/AR/18.002, 70 p.

Auby I., Rigouin L., Trut G., Cognat M., Aubert F. (2018). Suivi stationnel (2007-2017) de l'herbier de zostères naines (*Zostera noltei*) et calcul de l'indicateur «Angiospermes» (2017) dans la masse d'eau côtière FRFC09 – Lac d'Hossegor. Rapport Ifremer ODE/UL/LER-AR/AN/18-009, 27 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. Rapport Ifremer RST/LER/AR/14.01, 42 p.

Auby Isabelle, Oger-Jeannet H., Rigouin L., Trut G., Cognat Mathis, Ganthy F., Gouriou L. Bujan S., Guillieux B., Dalloyau S., Feigne C., Pere C., Aubert F. (2018). Suivi stationnel (2006-2017) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2017) dans la masse d'eau côtière FRFC06. Arcachon amont - Bassin Hydrographique Adour-Garonne. RST /ODE/UL/LER/AR/18-010, 56 p.

Blott, S.J. and 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.

Cognat M., Ganthy F., Auby I., Rigouin L., Sottolichio A. (2018). Spatio-temporal analysis of co-evolution between seagrass beds, their decline and hydro-morphological changes in Arcachon Bay (France). XVIth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY 16), 4-8 juin 2018,– Anglet, France.

Dalloyau, S. et Réseau National Bernache. 2019. Bernache cravant *Branta bernicla* hivernant en France : Bilan de la saison 2018-2019. Réseau National Bernache / Wetlands International / LPO. 18p.

Dalloyau & S. Le Dréan-Quénédec'hdu (coord. National). 2018. Bernache cravant hivernant en France : Bilan de la saison 2017-2018. Réseau National Bernache/Wetlands International. 12p.

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 Reviers 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.

Gamain P., Feurtet-Mazel A., Maury-Brachet R., Auby I., Pierron F., Belles A., Gonzalez P. (2017). Can pesticides, copper and seasonal water temperature explain the seagrass *Zostera noltei* decline in the Arcachon bay? *Marine pollution bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.024>

Grall J., Maguer M., Bouriat A., Lescop M., Le Garrec V. (2019). Contrat UBO – Ifremer 2018. 4500017954. Rapport final - Année 2018, 34 p.

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.

Ifremer - LERAR (2017). Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2016. Départements : Gironde, Landes, Pyrénées Atlantiques. ODE/LITTORAL/LERAR/17-004, 165 p.

Lafon V., Dehouk A., Curti C. (2014). Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de la baie de Marennes Oléron - masse d'eau FRFC02 - par télédétection spatiale. Rapport GEO-transfert/ADERA, Université Bordeaux, 47 p.

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.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018). Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état écologique des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Rapport MTES/Ifremer/AFB, 277 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., De Montaudouin X., Emery E., Noel 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(2), 357-366.

Ribaud 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*, 179 (2016), 4-11.

Sanchez F., de Casamajor M.N., Lissardy M. (2016). Suivi stationnel de l'herbier à *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa - 2015 - Bassin Hydrographique Adour-Garonne . Rapport Ifremer R.INT.RBE/HGS/LRHA/16-002, 27 p.

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.

Sanchez F., Lissardy M., de Casamajor M.N. (2017). Suivi stationnel de l'herbier à *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa. 2016 - Bassin Hydrographique Adour-Garonne - Rapport Ifremer R.INT ODE/LITTORAL/LER/AR/17.003, 27p.

Sanchez F., Lissardy M., De Casamajor M.N. (2018). Suivi stationnel de l'herbier à *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT8 Bidassoa -2017 -Bassin Hydrographique Adour-Garonne. Rapport Ifremer RST/ODE/LITTORAL/LER AR 18-005, 23p.

Sanchez F., Lissardy M., De Casamajor M.N. (2019). Suivi stationnel de l'herbier à *Zostera noltei* de la masse d'eau FRFT08 Bidassoa - 2018 - Bassin Hydrographique Adour-Garonne. Rapport Ifremer R.ODE/LITTORAL/LER AR 19-003, 27 p.

Sauriau P.G. (2008a). 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. (2008b). 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., Cajori 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., Duvard 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.

Sauriau P.G., Aubert F., Gueneteau S. (2017). Contrôle de surveillance 2016 DCE de la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 pour les suivis stationnels des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 68 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.

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., Auby I., Rigouin L., Oger-Jeanneret H., Ganthy F., Cognat M., Noel C., Marchetti S., Bauer E. (2018). Directive Cadre sur l'Eau : Cartographie des herbiers de *Zostera marina* du Bassin d'Arcachon. Rapport Ifremer RST/ODE/UL/LER/AR/18.008, 55 p.

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 2018

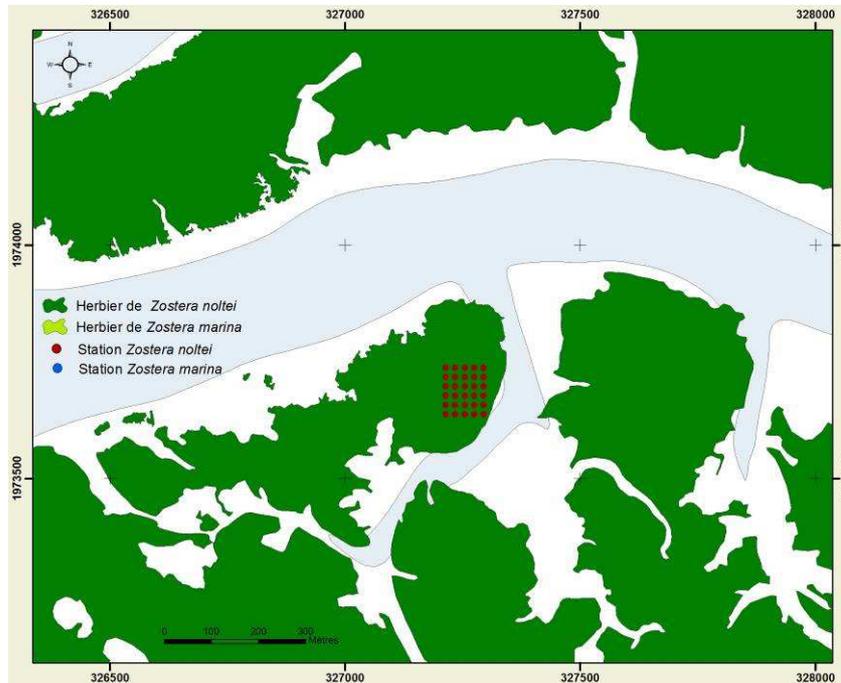


Figure A : Position de la grille dans l'herbier de la station Estey Tort int HZN (Carte des herbiers de zostères d'après Plus *et al.*, 2010).

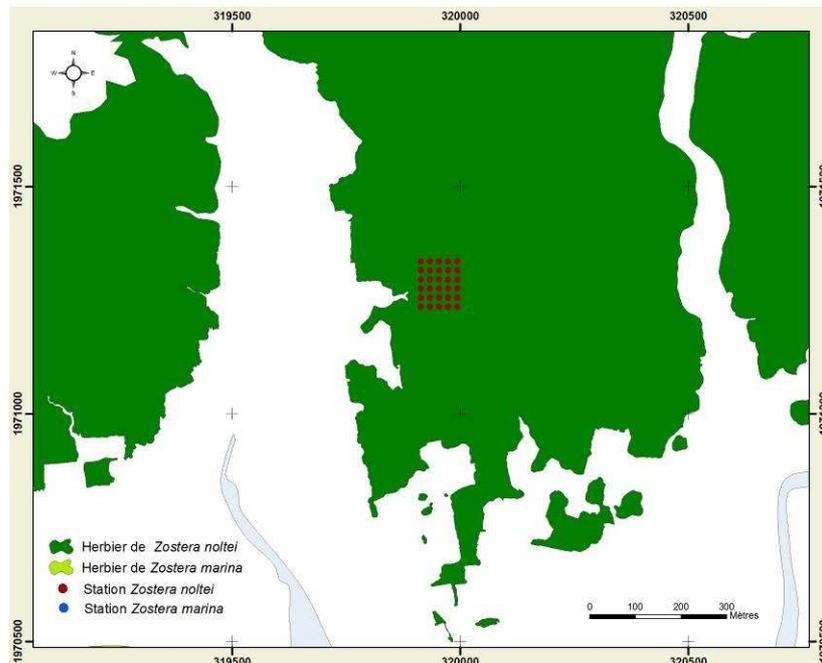


Figure B : Position de la grille dans l'herbier de la station Afrique int HZN (Carte des herbiers de zostères d'après Plus *et al.*, 2010).

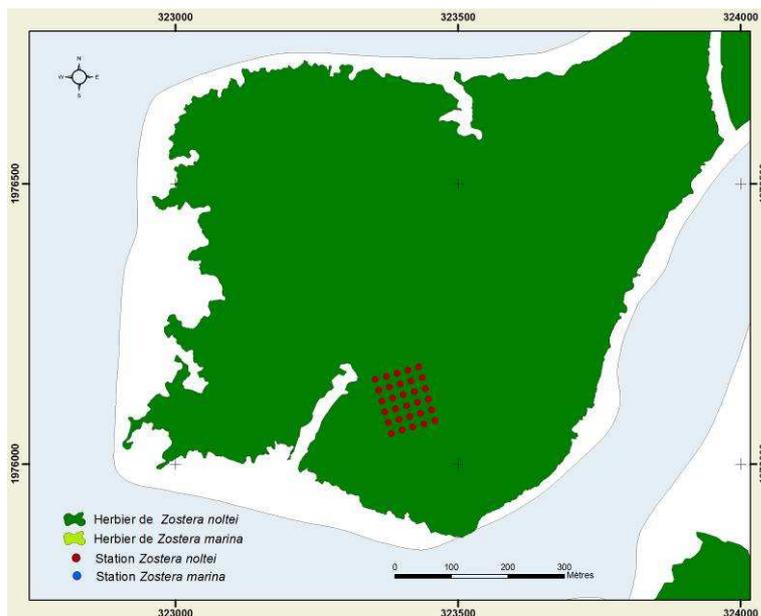


Figure C : Position de la grille dans l'herbier de la station Hautebelle int HZN (Carte des herbiers de zostères d'après Plus *et al.*, 2010).