Ifremer - ODE UL
Laboratoire Environnement Ressources Arcachon / Anglet
Isabelle Auby
Hélène Oger-Jeanneret
Loïc Rigouin
Gilles Trut
Mathis Cognat
Florian Ganthy
Laure Gouriou

CNRS – Université Bordeaux- UMR EPOC 5805
Stéphane Bujan
Benoit Gouilleux

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

Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne
Claude Feigné

Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde
Caroline Péré

Cellule COHABYS
Fabien Aubert

Juillet 2018 - RST /ODE/UL/LER/AR/18-010

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 -

© Gilles Trut Ifremer

Suivi stationnel (2006-2017) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Z. marina*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2017) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont -

Ce rapport est dédié à la mémoire de Jésus Veiga, collègue doux, calme et souriant du temps où il s'intéressait au plancton de l'estuaire de la Gironde, déjà passionné par les bécasses et les bernaches, auxquels il décida de consacrer sa carrière. Puissent ces oiseaux l'accompagner sur ses nouveaux rivages.

Ifremer

sommaire

INTRODUCTION 1

1. PROTOCOLES 5

1.1. Stations 5

1.2. Dates de prélèvement 6

1.3. Prélèvements et analyses du sédiment 6

1.4. Prélèvements et analyses des macroalgues 7

1.5. Prélèvements et analyses des zostères 7

2. RESULTATS 9

2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères 9

***2.2.* Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Estey Tort int HZN : herbier de *Zostera noltei* 15**

2.2.1. Le sédiment 16
2.2.2. Les macroalgues 16
2.2.3. Les zostères 17

***2.3.* Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Afrique int HZN : herbier de *Zostera noltei* 20**

2.3.1. Le sédiment 21
2.3.2. Les macroalgues 21
2.3.3. Les zostères 23

***2.4.* Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Hautebelle int HZN : herbier de *Zostera noltei* 25**

2.4.1. Le sédiment 25
2.4.2. Les macroalgues 25
2.4.3. Les zostères 26

2.5. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de Zostera marina 30

2.5.1. Le sédiment 30
2.5.2. Les macroalgues 30
2.5.3. Les épiphytes 30
2.5.4. Les zostères 31
2.5.5. Indice de maladie du dépérissement 35

2.6. Calcul de l'indicateur « angiospermes » sur la masse d'eau Arcachon amont 39

2.6.1. Composition taxinomique 39
2.6.2. Extension 40
2.6.3. Abondance 40
2.6.4. L'indicateur angiosperme 42

CONCLUSION 43

BIBLIOGRAPHIE 45

ANNEXE 1 POSITION DES GRILLES DANS LES TROIS STATIONS D'HERBIER DE *ZOSTERA NOLTEI* EN 2017 49

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les résultats acquis depuis le début des suivis stationnels sont consultables sur des rapports téléchargeables sur le site Envlit[1] et/ou sur la base Archimer[2].

- 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);
- Masse d'eau « Arcachon amont » – FRFC06 (Auby *et al.*, 2017)[3].
- Masse d'eau « Lac d'Hossegor »– FRFC09 (Auby *et al.*, 2017)[3].
- Masse d'eau « Estuaire de la Bidassoa » - FRFT08 (Sanchez *et al*., 2007 ; de Casamajor *et al*., 2008 ; Sanchez *et al*., 2010 ; Sanchez *et a*l., 2013 ; Sanchez *et al*., 2014 ; Sanchez *et al*., 2013 ; Sanchez *et al*., 2015; Sanchez *et al*., 2016; Sanchez *et al*., 2017 ; Sanchez *et a*l., 2018).

Des fiches synthétiques sont également disponibles à partir de l'atlas DCE Adour-Garonne
http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas_DCE/scripts/site/carte.php?map=AG

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

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

[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.

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 la masse d'eau « Arcachon amont » (Trut *et al*., 2018).

Ce rapport rend compte des résultats obtenus dans les herbiers de la masse d'eau « Arcachon amont » sur l'ensemble de la période d'étude et indique le classement de la masse d'eau « Arcachon amont » vis à vis de l'indicateur de qualité biologique « angiospermes » en 2017.

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'Ile, l'un des sites dans lequel les herbiers subtidaux sont les plus développés. La station est constituée de 3 points subtidaux distants d'une centaine de mètres.

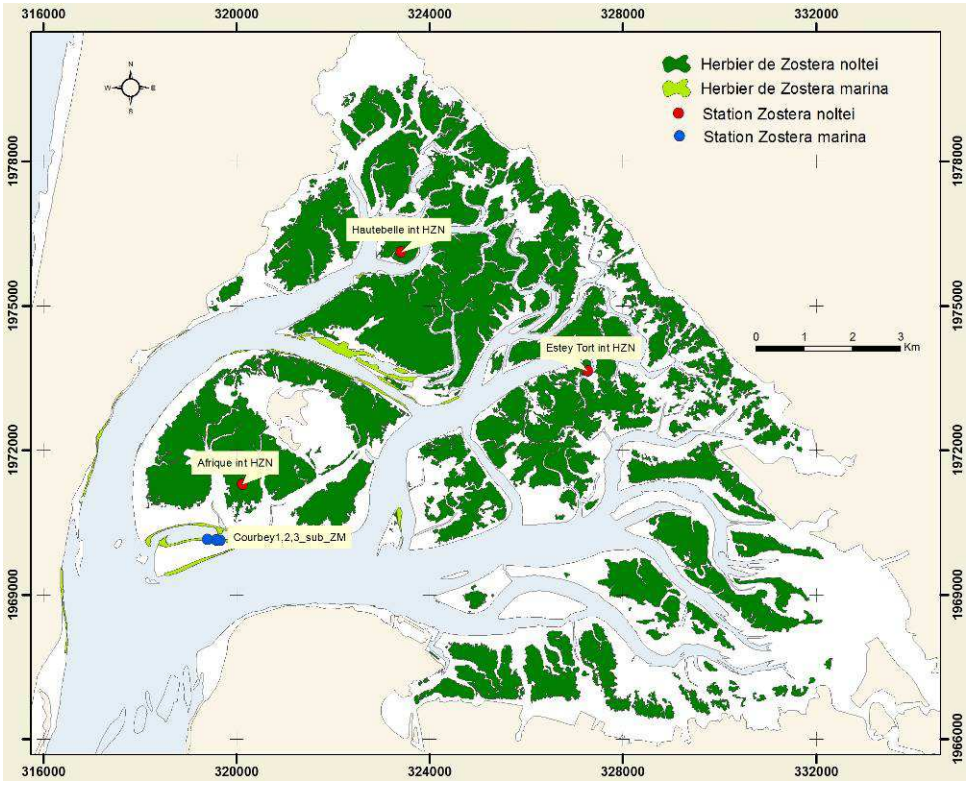


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements des deux espèces de zostères dans le Bassin d'Arcachon (Carte des herbiers d'après Plus *et al.*, 2010).

1.2. Dates de prélèvement

Les dates d'échantillonnage des années précédentes (2006 à 2016) sont consignées dans les rapports précédents téléchargeables sur la base bibliographique Archimer.

En 2017 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	22 août 2017
FRFC06	Afrique int HZN	25 août 2017
FRFC06	Hautebelle int HZN	11 août 2017
FRFC06	Courbey1_sub_ZM Courbey2_sub_ZM Courbey3_sub_ZM	30 août 2017

1.3. Prélèvements et analyses du sédiment

NB : Pour ces paramètres, le protocole n'a pas évolué au cours du temps, sauf en ce qui concerne le nombre de tamis utilisés pour les mesures de granulométrie : 5 en 2006, 2007, 2011 et 2012; 17 en 2008, 2009 et à partir de 2013.

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

Granulométrie : *Zostera noltei* et *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier PVC
Dimensions échantillon	9 cm diamètre - 10 cm de profondeur
Nombre d'échantillons	1 échantillon constitué de 3 échantillons mélangés
Analyse	Séchage 48 h en étuve à 60°C – Pesée de 100 g sédiment sec à 0,01 g – Passage humide sur tamis de maille 63 µm – Séchage 48 h en étude à 60°C – Passage à sec sur série de tamis AFNOR (de 4 mm à 63µm) – Pesée de chaque fraction à 0,01 g – Paramètres de distribution obtenus par méthode numérique selon procédure GRADISTAT (Blott & Pye, 2001)

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

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

1.4. Prélèvements et analyses des macroalgues

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

Macroalgues : *Zostera noltei*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel dans un cadre
Dimensions échantillon	0,50 m x 0,50 m = 0,25 m²
Nombre d'échantillons	30 au maximum
Analyse	Séparation par phylum : Chlorophyta (algues vertes), Rhodophyta (algues rouges) et Ochrophyta (algues brunes). Biomasse (poids sec : 48 h – 60°C)

Macroalgues : *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier métallique
Dimensions échantillon	2 x (0,20 m x 0,20 m) = 0,08 m²
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 m²
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*

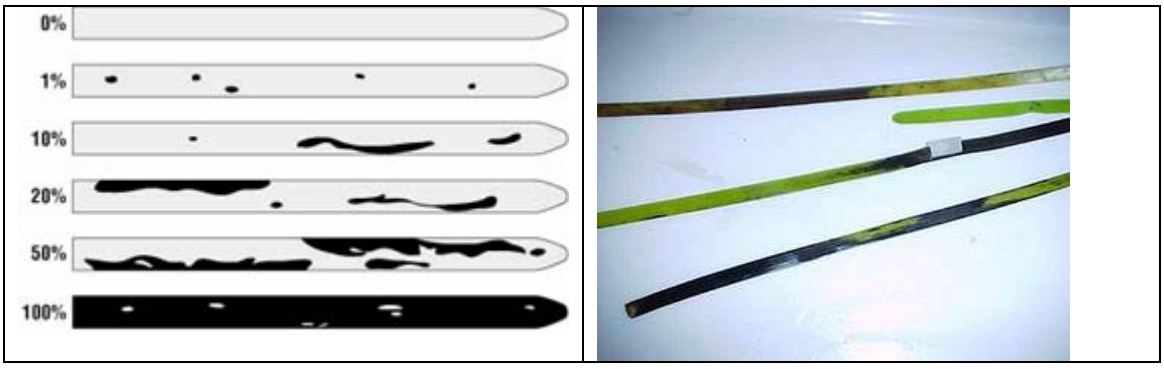
Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier métallique
Dimensions échantillon	2 x (0,20 m x 0,20 m) = 0,08 m²
Nombre d'échantillons	6 échantillons (2 par point) + 3 échantillons (1 par point) pour dénombrement des pieds *in situ*
Analyse	Dénombrement des pieds Mesures des feuilles Biomasse des différents organes (poids sec PS: 48 h – 60°C)

Epiphytes sur les feuilles de zostères : *Zostera marina*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel
Dimensions échantillon	10 pieds
Nombre d'échantillons	3 échantillons (1 par point pour *Zostera marina*)
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).

- 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 a*l., 2002).

2. Résultats

2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères

Plusieurs espèces d'oiseaux herbivores présentes sur le Bassin d'Arcachon toute ou une partie de l'année consomment des zostères.
Les trois espèces pour lesquelles les zostères constituent, dans le Bassin, une source importante de nourriture sont les bernaches cravants à ventre sombre (*Branta bernicla bernicla)*, les cygnes tuberculés (*Cygnus olor*) et les canards siffleurs (*Anas penelope*).
D'après les calculs réalisés dans le cadre de l'étude récente sur la régression des herbiers de zostères du Bassin (Auby *et al*., 2011) à partir des données 2000-2010, il apparaît que la consommation de zostères naines (*Zostera 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 derniers hivers, 187 en janvier 2017) et ne présente pas d'évolution récente particulière[4].

• Les **cygnes tuberculés** sont présents toute l'année sur le Bassin d'Arcachon, en des proportions (et avec des répartitions) très variables selon la période de l'année. On peut discriminer trois périodes distinctes mais qui se chevauchent et correspondent à des phases biologiques de l'espèce : la période de reproduction, la période de mue et l'hivernage.
Jusqu'à une période récente, les seuls résultats disponibles sur l'abondance de cette espèce résultaient des comptages effectués chaque année à la mi-janvier (période d'hivernage) (*International Birds Census*). .
Ces résultats mettaient en évidence une forte augmentation des abondances sur le Bassin depuis les années 1980, avec de très fortes populations hivernales en janvier 2006 (2 230), suivies d'un déclin en 2007 (350 individus) et 2008 (62 cygnes dénombrés). Par la suite, les effectifs hivernaux ont toujours été assez faibles : 118 cygnes dénombrés en janvier 2013, 81 en janvier 2014, 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 indiquent que ces oiseaux se nourrissent non seulement de zostères, mais également d'algues vertes abondantes notamment dans le quart sud est de la Baie. En **2010** et **2011**, les effectifs en période de mue ont varié respectivement entre 1200-1500 et 1100-1700 individus. Entre juin et octobre **2012**, les cygnes ont été un peu moins nombreux sur le Bassin, avec des effectifs variant entre 700 et 1200 individus (Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde, comm. pers.). Depuis **2013**, les dénombrements ne sont réalisés qu'en juillet-août, les abondances mesurées par la Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde s'avérant proches de celles de l'été 2012, avec des effectifs plus faibles depuis 2016 (700 à 800 oiseaux).

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

• Les **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 2) alors que l'ensemble de la population biogéographique enregistre un fort déclin (≈ -34%) depuis le milieu des années 90.

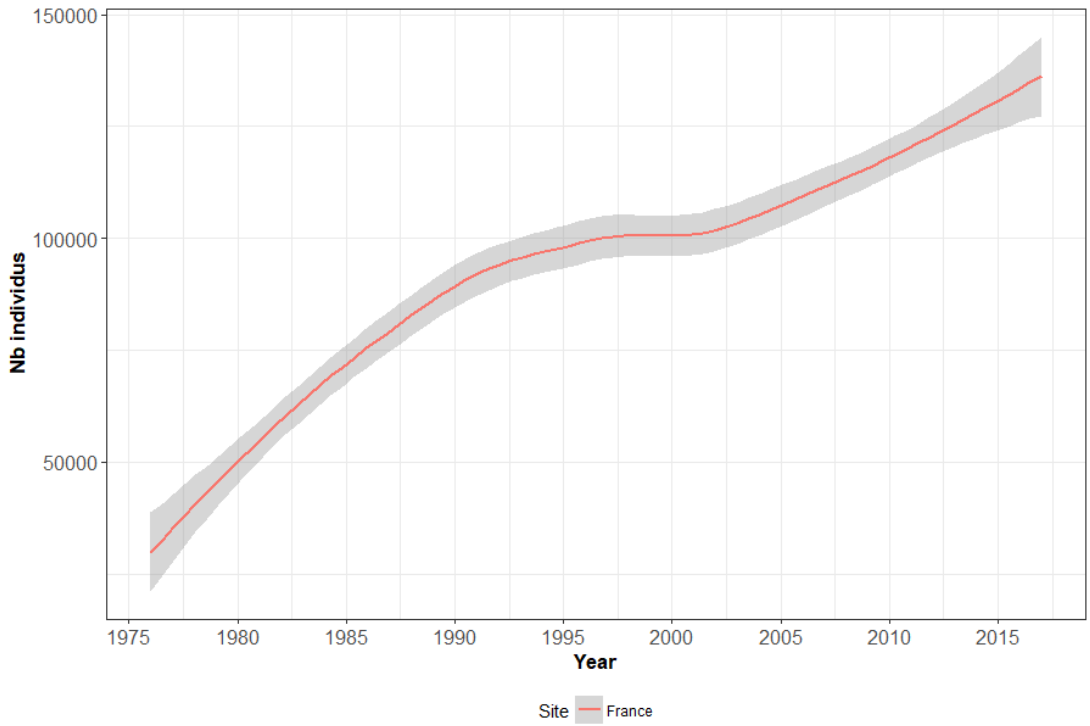


Figure 2 : Évolution des stationnements hivernaux de bernaches cravants à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) sur le littoral français (moy./SD : nov., déc., janv.) 1976-2017. S. Dalloyau & S. Le Dréan-Quénéc'hdu (coord. national) Réseau National Bernache/Wetlands International.

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 3).

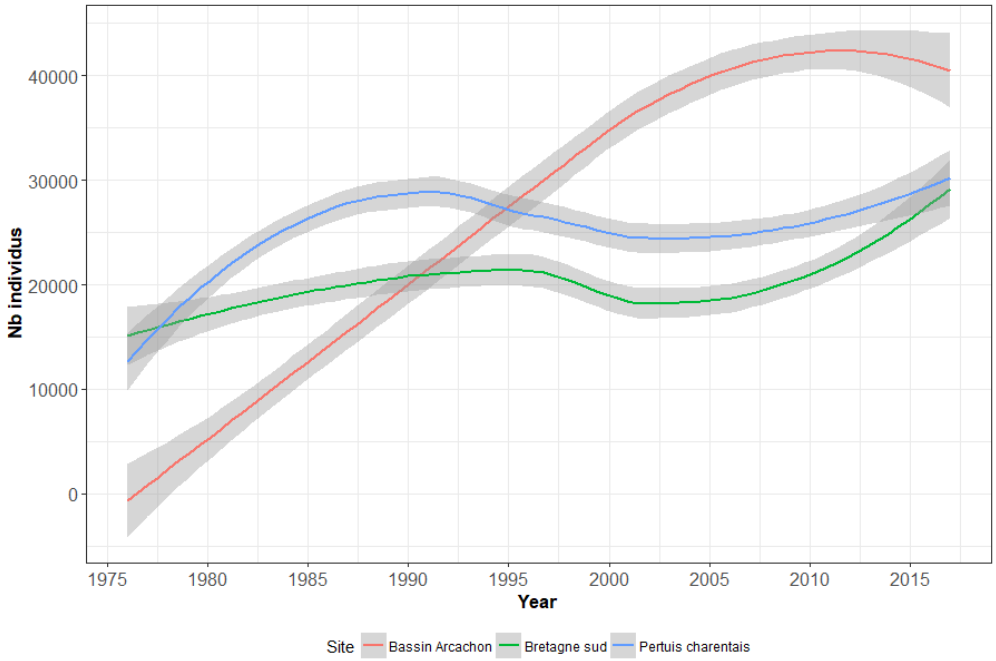


Figure 3 : Tendances sur les trois principaux secteurs d'hivernage pour la bernache cravant à ventre sombre (*Branta b. bernicla*) (moy./SD : nov., déc., janv.). S. Dalloyau & S. Le Dréan-Quénéc'hdu (coord. national) Réseau National Bernache/Wetlands International

Les données acquises par le réseau de comptage au cours des dernières années révèlent que les effectifs de bernaches hivernant sur le Bassin ont augmenté au jusqu'au milieu des années 2010 (Figure 4), mais semblent diminuer au cours des hivernages récents. De plus, depuis une dizaine d'années, il semble que les bernaches quittent cette aire d'hivernage plus précocement (février, voire janvier).

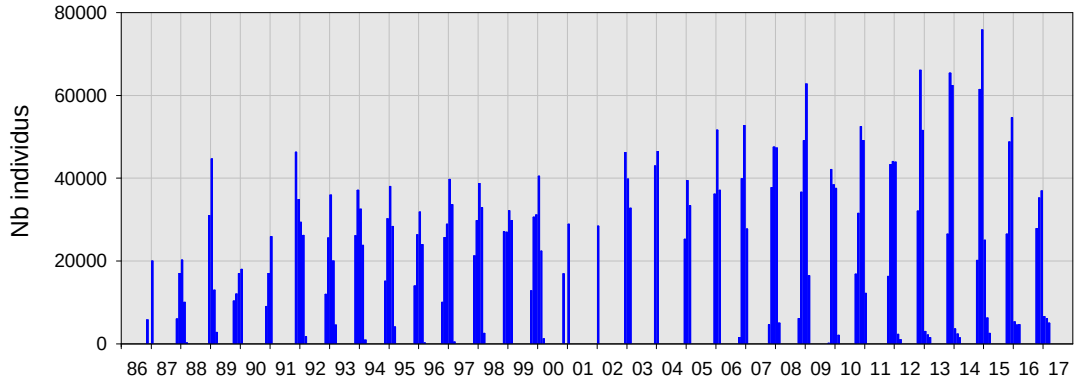


Figure 4 : Evolution des effectifs mensuels des bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage entre 1986 et 2017.

L'augmentation des effectifs mensuels maximaux se traduit par une élévation de la consommation mensuelle maximale de feuilles de zostères par les bernaches[5] jusqu'au milieu des années 2010 (Figure 5).

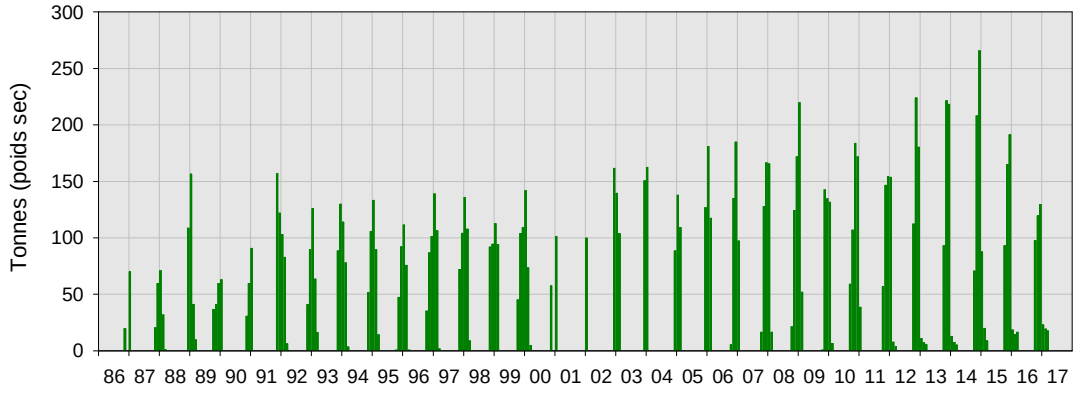


Figure 5 : Evolution de la quantité mensuelle théorique de feuilles de zostères naines (poids sec) consommées mensuellement par les bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986 à 2017.

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 sur différents herbiers (Ribaudo *et al*., 2016) avec les surfaces de ces herbiers aux différentes périodes (Plus *et al*., 2010) (Figure 6).

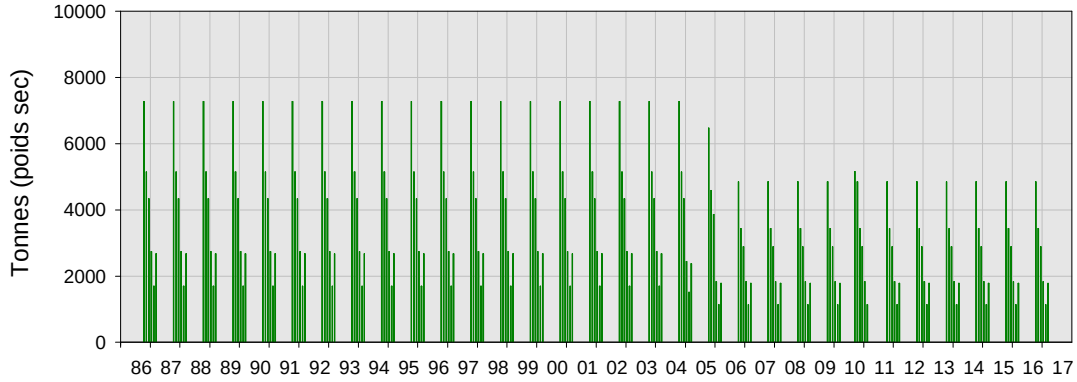


Figure 6 : Evolution de la quantité mensuelle de feuilles de zostères naines (poids sec) disponible pour les oiseaux dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986 à 2017.

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

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

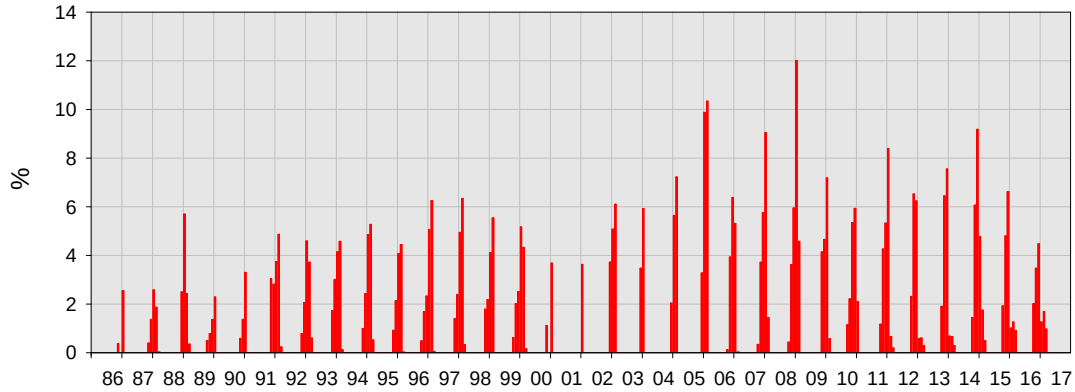


Figure 7 : Evolution de la proportion théorique du stock total de feuilles de zostères naines consommé mensuellement par les bernaches dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage de 1986 à 2017.

Ces calculs indiquent que les prélèvements réalisés par ces oies atteignent un maximum de 12 % (janvier 2008) pour une moyenne s'établissant autour de 3% du stock de feuilles des mois d'hiver, ce qui peut être considéré comme relativement négligeable, et ceci d'autant plus que les bernaches consomment également les feuilles flottantes ou échouées (photo 1a), voire des algues vertes (photo 1b).

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

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

Cette station, initialement située sur la rive Est de l'Estey Tort a été échantillonnée pour la première fois à la fin de l'été 2006. A cette époque, l'herbier y était bien développé. Dès l'année suivante, cet herbier s'était fortement dégradé (photo 2), tandis que la zone située à l'Ouest de l'Estey Tort présentait encore des herbiers en bon état (photo 3).

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

Photo 3 : L'herbier de la « seconde » station Estey Tort HZN en septembre 2007.

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

2.2.1. Le sédiment

Globalement, cette station présente le sédiment le plus fin et le plus riche en matière organique des trois stations intertidales échantillonnées dans le cadre de cette étude.
Ses caractéristiques ont néanmoins évolué au cours du temps (Tableau 1). Ces variations sont symptomatiques de l'instabilité des sédiments dans cette zone du Bassin où l'herbier de zostères, fortement dégradé, ne joue plus son rôle de stabilisateur des sédiments fins. Toutefois, sa granulométrie présente une grande stabilité depuis 2014.

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

	Médiane (µm)	**Teneur en pélites (%)**	**Type de sédiment***	**Teneur en matière organique (%)****
2006	< 63	54,4	Vase sableuse	7,7 ± 1,2
2007	125	20,1	Sable fin envasé	8,5 ± 1,6
2008	93	20,8	Sable fin envasé	4,7 ± 0,8
2009	< 63	64,1	Vase sableuse	6,7 ± 0,9
2011	97	41,9	Vase sableuse	6,5 ± 1,5
2012	104	40,1	Vase sableuse	7,7 ± 1,6
2013	71	46,8	Vase sableuse	6,3 ± 2,9
2014	< 63	69,1	Vase sableuse	7,2 ± 1,0
2015	< 63	62,2	Vase sableuse	7,2 ± 1,4
2016	< 63	69,8	Vase sableuse	7,2 ± 1,1
2017	< 63	67,6	Vase sableuse	6,1 ± 0,3

** D'après la classification de Dauvin et al. (1993)* *** Moyenne ± Ecart-type*

2.2.2. Les macroalgues

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

Tableau 2 : Biomasse (en poids sec) des macroalgues (± 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 ± 1,99	0	0
2007 à 2009	0	0	0
2011	2,08 ± 7,41	0,32 ± 0,66	0
2012 à 2017	0	0	0

2.2.3. Les zostères

A cette station, ainsi que dans les zones environnantes, aucun pied de la forme parvozostéride[6] de *Zostera marina* n'a été observé dans les dépressions des herbiers intertidaux au cours de la période d'étude (2006 à 2015).

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

Année	Surface végétalisée (%) *	Biomasse épigée moyenne dans zones végétalisées (g PS/m²)	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

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

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

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

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

[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.

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

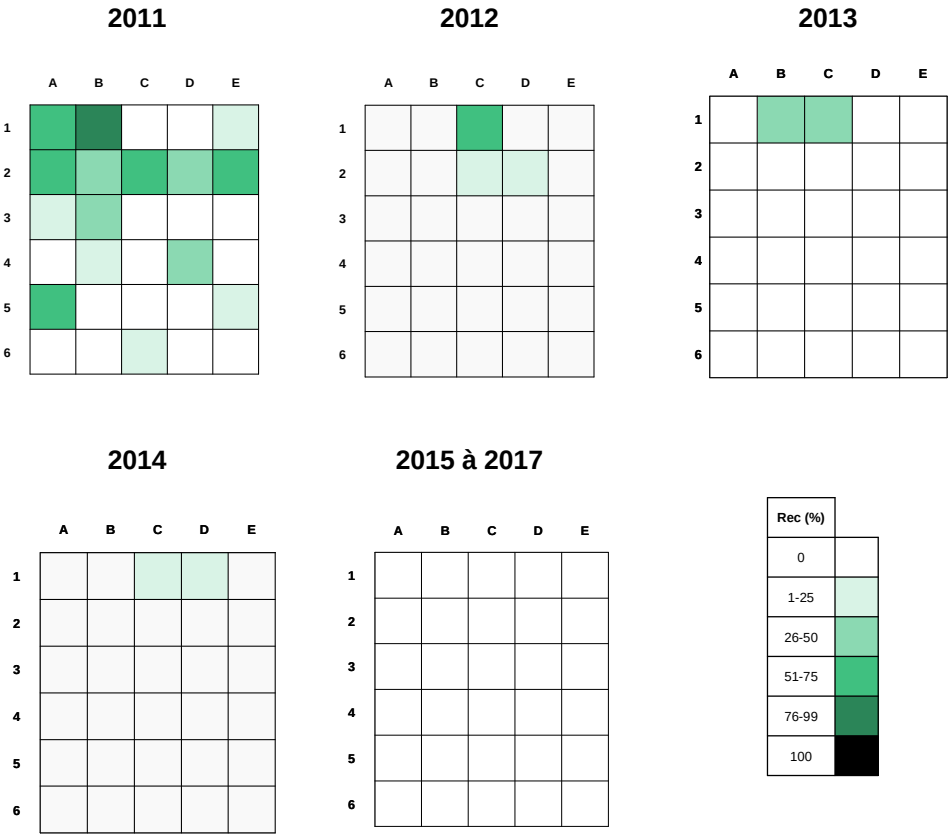


Figure 8 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Estey Tort int HZN.

En **2013 et 2014**, l'emprise de l'herbier s'est encore réduite sur cette station, pour en disparaître complètement en 2015 (photo 5). En septembre 2017, aucune recolonisation des herbiers n'a pu être mise en évidence.

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

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

La zone choisie pour positionner initialement la station « Afrique int HZN » s'est avérée située dans une dépression de l'estran, propice au maintien d'une couche d'eau sur les zostères à basse mer, surtout par faible coefficient (Photo 6). Cette situation ne posait pas de problème pour appliquer l'ancien protocole, basé sur des prélèvements, mais s'est avérée inadaptée à la mise en œuvre du nouveau protocole.

Photo 6 : L'herbier de « l'ancienne » station Afrique int HZN en septembre 2008.

Pour cette raison, afin de pouvoir acquérir des clichés interprétables pour les mesures de recouvrement des zostères, nous avons été contraints en 2012 de déplacer cette station d'une centaine de mètres vers le nord, dans une zone asséchant à basse mer (photo 7).

Photo 7 : L'herbier de la « nouvelle » station Afrique int HZN en août 2012.

2.3.1. Le sédiment

Le sédiment de l'herbier de la station Afrique (sable fin envasé à vase sableuse, d'après la classification de Dauvin *et al*., 1993) montre peu de variation depuis 2013 (tableau 4). Ce sédiment contient moins de pélites et de matière organique que celui de l'herbier de l'Estey Tort.

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

	Médiane (µm)	**Teneur en pélites (%)**	**Type de sédiment***	**Teneur en matière organique (%)****
2006	170	16,6	Sable fin envasé	3,4 ± 0,8
2007	153	17,7	Sable fin envasé	2,43 ± 0,7
2008	151	11,7	Sable fin envasé	2,0 ± 0,4
2009	163	18,8	Sable fin envasé	2,1 ± 0,3
2012	213	28,5	Vase sableuse	3,0 ± 0,7
2013	146	19,2	Sable fin envasé	1,8 ± 0,6
2014	134	23,5	Sable fin envasé	2,9 ± 0,7
2015	148	14,9	Sable fin envasé	1,8 ± 0,5
2016	151	12,9	Sable fin envasé	2,1 ± 0,4
2017	146	16,0	Sable fin envasé	2,1 ± 0,8

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

*** Moyenne ± Ecart-type*

2.3.2. Les macroalgues

Dans cet herbier, aucune macroalgue n'a été observée ni en **2006**, ni en **2007**, comme l'indiquent les résultats du tableau 5. Par contre, à partir de **2008**, des entéromorphes (Chlorophyta) (photo 8) et des gracilaires (Rhodophyta) (figure 9) colonisent cette station, ces macroalgues présentant néanmoins des biomasses assez faibles, notamment en 2015 et 2016.

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

Tableau 5: Biomasse (en poids sec) des macroalgues (± 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 ± 5,8	0	3,3 ± 1,4
2009	7,4 ± 0,6	0	0
2012	0,8 ± 1,5	0	1,1 ± 1,0
2013	8,8 ± 2,3	0	0,8 ± 0,6
2014	4,4 ± 2,0	0	1,0 ± 0,6
2015	0,5 ± 1,9	0	0,0 ± 0,1
2016	0,4 ± 0,4	0	3,4 ± 7,4
2017	2,7 ± 3,2	0	0,2 ± 0,4

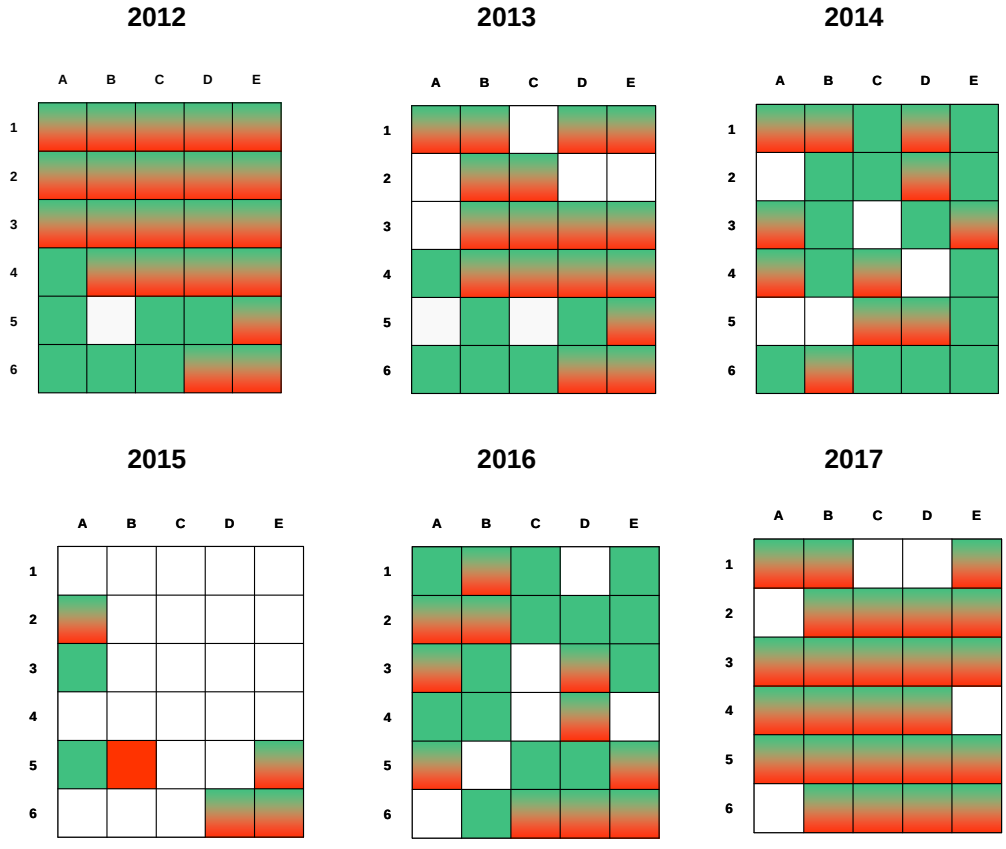


Figure 9 : Répartition des macroalgues (Chlorophyta et Rhodophyta) dans les quadrats de la station Afrique int HZN.

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). En 2017, cette dernière n'a pas été observée.

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

Depuis deux ans, le recouvrement s'est amélioré à cette station (Tableau 6). Par ailleurs, le pourcentage de surface végétalisée est important et ne montre pas d'évolution au cours du temps.

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

Année	Surface végétalisée (%)	Biomasse épigée moyenne dans zones végétalisées (g PS/m²)	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

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

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

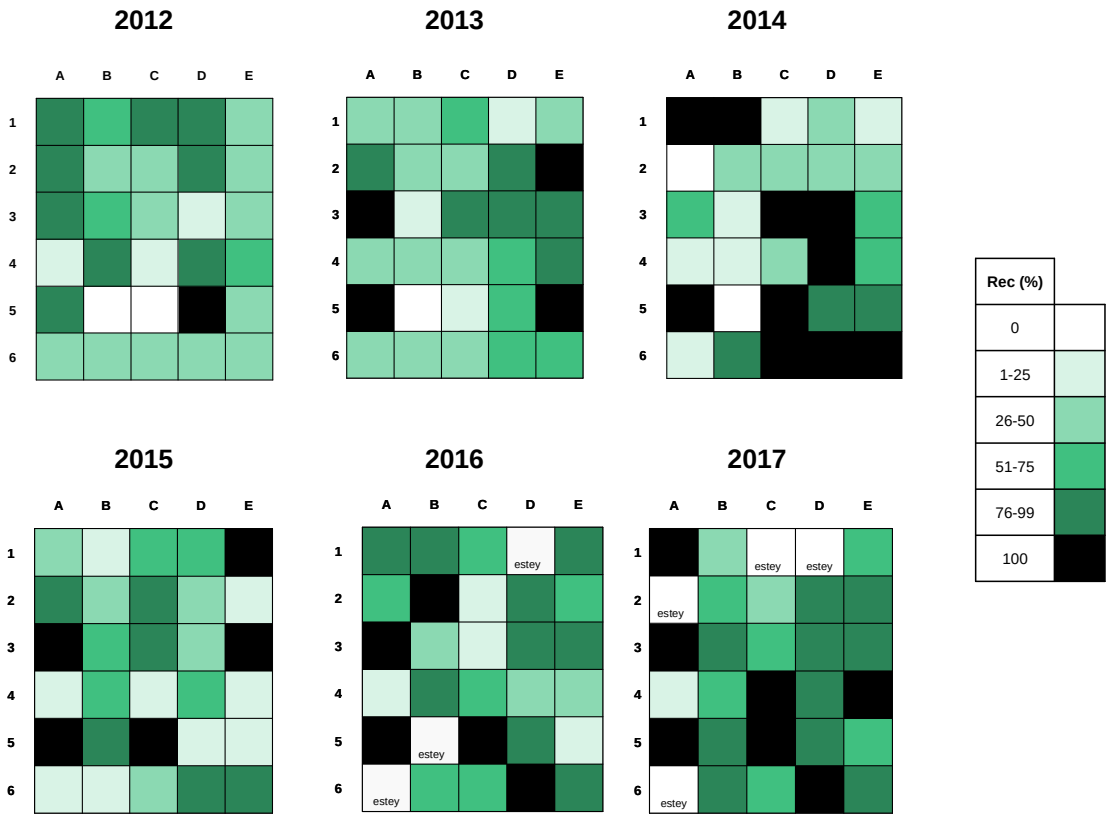


Figure 10 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Afrique int HZN

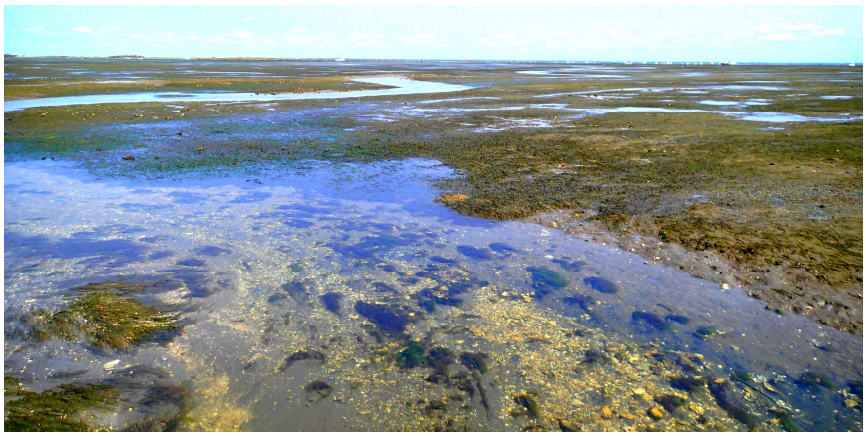


Photo 10 : L'herbier de la station Afrique int HZN en août 2017.

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

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

2.4.1. Le sédiment

Le sédiment de l'herbier de la station Hautebelle int HZN présente des caractéristiques proches de celui de la station Afrique int HZN et sa granulométrie est relativement stable dans le temps (tableau 7).

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

	Médiane (µm)	Teneur en pélites (%)	Type de sédiment*	Teneur en matière organique (%)**
2012	165	17,0	Sable fin envasé	3,4 ± 1,1
2013	102	26,0	Vase sableuse	3,3 ± 1,3
2014	127	20,0	Sable fin envasé	2,9 ± 1,0
2015	119	20,5	Sable fin envasé	2,7 ± 1,0
2016	165	23,0	Sable fin envasé	3,8 ± 0,8
2017	127	19,3	Sable fin envasé	3,5 ± 1,2

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

*** Moyenne ± écart-type*

2.4.2. Les macroalgues

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

Tableau 8 : Biomasse (en poids sec) des macroalgues (± 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 ± 1,2	0	0
2013	0,6 ± 0,5	0,1 ± 0,2	0
2014	1,6 ± 2,2	0,1 ± 0,3	0
2015	2,2 ± 3,6	0,3 ± 0,6	0
2016	1,7 ± 2,5	0	0
2017	1,8 ± 2,3	0,01 ± 0,02	0

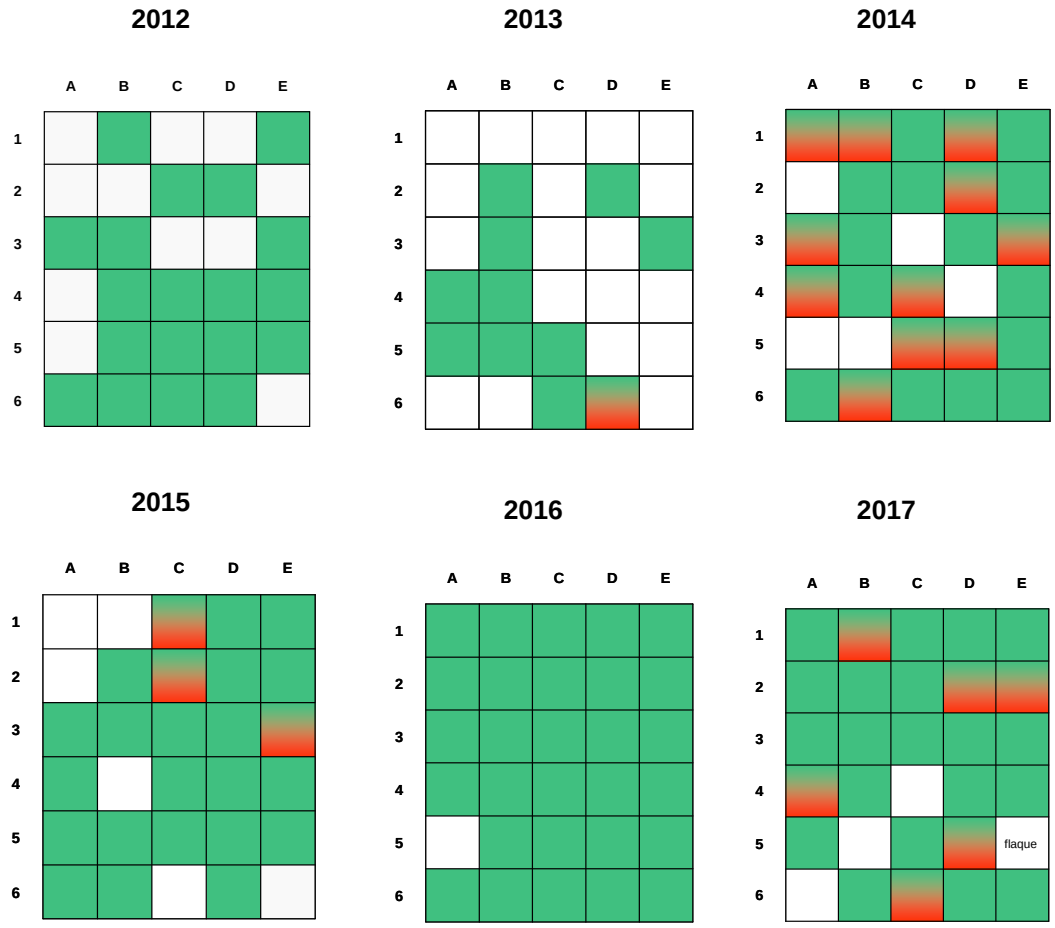


Figure 11 : Répartition des macroalgues (Chlorophyta et Rhodophyta) dans les quadrats de la station Hautebelle int HZN.

2.4.3. Les zostères

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

Comme on peut en juger sur les photos 11 et 12, l'herbier de cette station est un peu moins dense en 2017 qu 'en 2016.

Photo 11 : l'herbier de la station Hautebelle HZN en août 2016.

Photo 12 : l'herbier de la station Hautebelle HZN en août 2017

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 (Auby *et al.*, 2016). Ce phénomène de brunissement a été beaucoup moins prégnant en août 2016, peut être en rapport avec une moindre fréquence de ces événements (Figure 12). De même, en 2017, peu de feuilles brunes ont été observées ; si ce dernier été a été marqué par d'assez nombreux de jours de fortes chaleurs, ils n'ont pas correspondu à de forts coefficients.

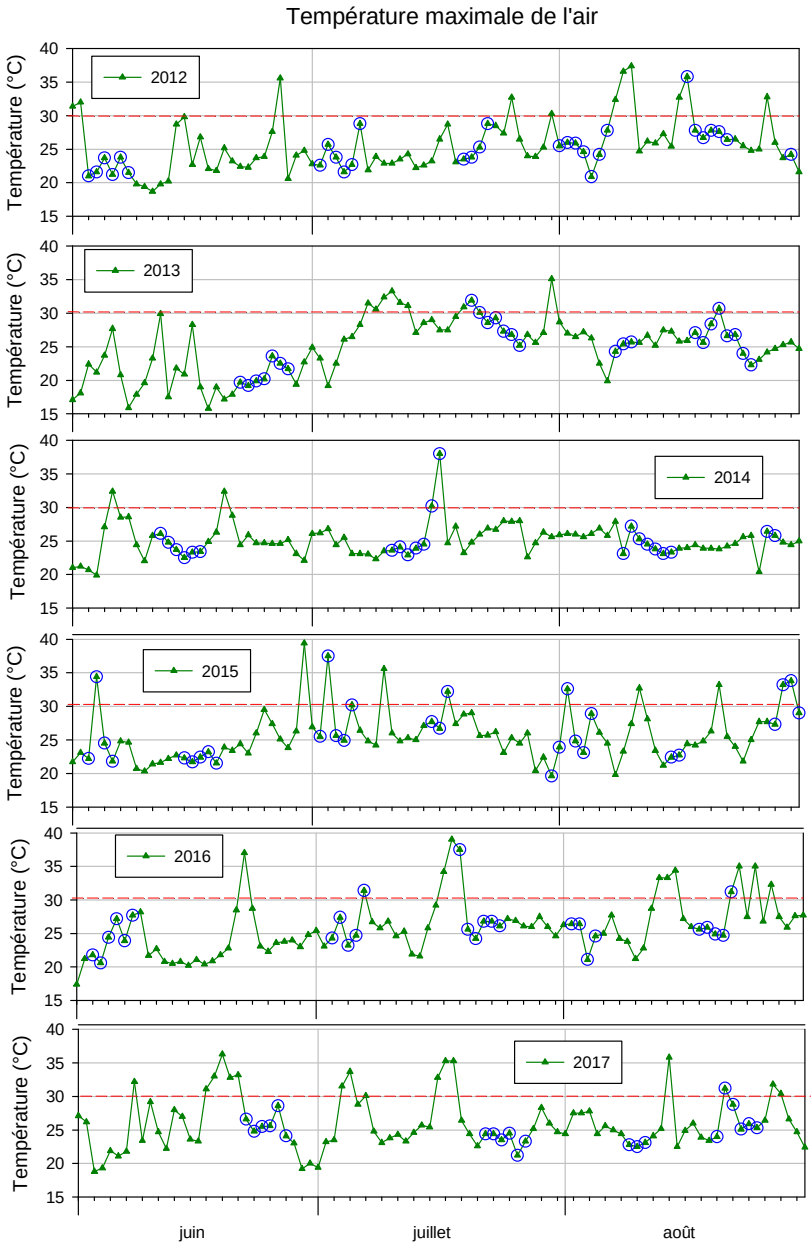


Figure 12 : Evolution de la température maximale journalière au cours des étés 2012 à 2017 (Données Météo France, Station Cap Ferret). *Les symboles encerclés correspondent aux dates pour lesquelles le coefficient est supérieur à 85.*

En 2017 (tableau 9 et figure 13), on a mesuré dans cet herbier de forts taux de recouvrement, comme c'est souvent le cas depuis le début du suivi.

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

Année	Surface végétalisée (%)	Recouvrement moyen dans zones végétalisées (%)	Recouvrement moyen sur toute la station (%)
2012	100	62	62
2013	100	89	89
2014	100	89	89
2015	96,7	72	69
2016	100	94	94
2017	100	85	85

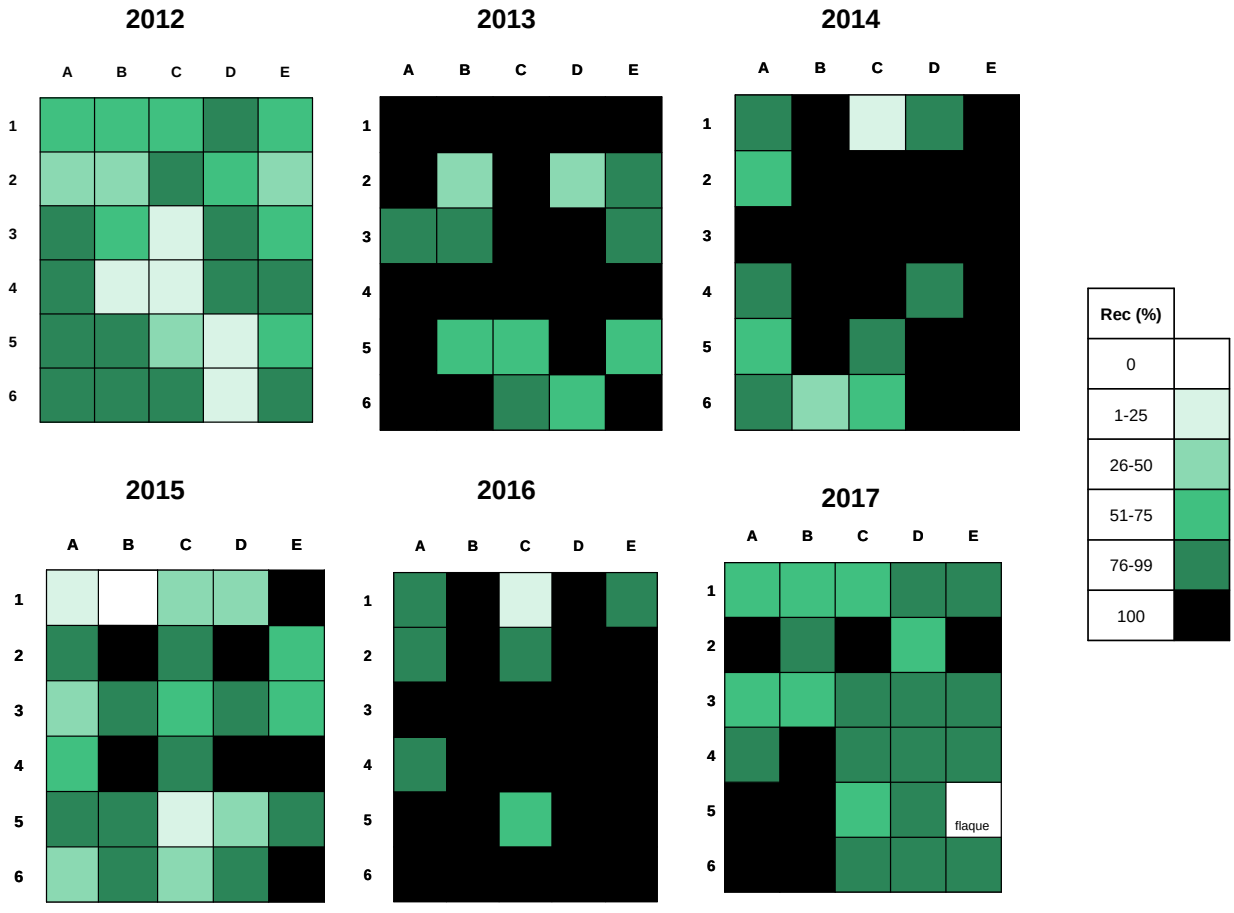


Figure 13 : Taux de recouvrement des zostères sur les 30 points de la station Hautebelle int HZN

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

2.5.1. Le sédiment

Le chenal dans lequel se développent ces herbiers est relativement envasé avec néanmoins une relative variabilité annuelle (Tableau 10).

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

	Médiane (µm)	**Teneur en pélites (%)**	**Type de sédiment***	**Teneur en matière organique (%)****
2007	133	18	Sable fin envasé	3,0 ± 1,8
2008	86	18	Sable fin envasé	6,1 ± 2,1
2009	95	41	Vase sableuse	3,7 ± 1,4
2011	86	43	Vase sableuse	7,2 ± 2,1
2012	72	48	Vase sableuse	5,7 ± 3,7
2013	86	37	Vase sableuse	4,8 ± 2,0
2014	<63	67	Vase sableuse	7,7 ± 2,0
2015	77	39	Vase sableuse	5,7 ± 2,6
2016	111	26	Sable fin envasé	4,2 ± 2,5
2017	<63	63	Vase sableuse	7,6 ± 1,6

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

*** Moyenne ± écart-type*

2.5.2. Les macroalgues

Aucune macroalgue n'a été observée dans ces herbiers aux mois de septembre des années **2007** à **2011** et de **2013** à **2017**. En **2012**, de très petits thalles d'ulves ont été observés dans certains échantillons. Leur biomasse n'a pas été mesurée.

2.5.3. Les épiphytes

Les feuilles de zostères des herbiers de cette partie du chenal du Courbey sont relativement peu colonisées par les épiphytes en **2007**-**2008, 2011-2013, 2015 et 2017**, et plus en **2009**, **2014** et **2016** comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 11.

Ces épiphytes sont minoritairement composés de matière organique (17 à 37 %), en raison de leur colonisation importante par de nombreux tubes d'annélides à tube calcaire de la famille des spirorbes (Serpulidae).

Tableau 11 : Biomasses des épiphytes (en poids sec, Moyenne ± 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 cm²)	Epi PSSC/PS (%)
2007	16,29 ± 10,63	0,49 ± 0,32	22,00 ± 0,52
2008	13,43 ± 10,83	0,38 ± 0,31	27,68 ± 4,16
2009	32,28 ± 25,17	1,06 ± 0,82	22,29 ± 5,66
2011	10,90 ± 5,49	0,33 ± 0,17	23,46 ± 11,22
2012	15,71 ± 22,17	0,46 ± 0,65	37,25 ± 21,20
2013	15,29 ± 15,99	0,49 ± 0,51	26,52 ± 7,92
2014	36,72 ± 15,69	0,93 ± 0,26	17,46 ± 4,85
2015	5,27 ± 5,97	0,12 ± 0,13	20,25 ± 7,75
2016	28,07 ± 1,92	1,15 ± 0,20	18,23 ± 4,82
2017	15,02 ± 6,77	0,71 ± 0,27	21,02 ± 2,90

2.5.4. Les zostères

Les caractéristiques des zostères du chenal du Courbey à la fin des étés **2007** à à **2017** (2010 exclus) sont présentées dans les tableaux 12-1 et 12-2.

Tableau 12-1 : Caractéristiques des zostères (moyenne ± 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 ± 53	54,6 ± 10,6	34,1 ± 17,9	3,5 ± 1,1	7,2 ± 2, 3
2008	103 ± 41	93,4 ± 45,0	37,5 ± 20,7	3,9 ± 1,1	8,7 ± 2, 0
2009	152 ± 62	114,9 ± 23,7	89,3 ± 28,5	4,0 ± 1,0	8,2 ± 2 ,0
2011	125 ± 42	137,1 ± 51,2	77,9 ± 38,2	4,5 ± 1,0	8,6 ± 1 ,7
2012	131 ± 59	53,7 ± 36,5	47,4 ± 31,6	3,7 ± 1,0	6,9 ± 1, 7
2013	120 ± 53	45,3 ± 4,6	51,4 ± 24,6	3,8 ± 1,1	7,6 ± 1,6
2014	105 ± 36	103,0 ± 35,4	52,2 ± 10,9	3,7 ± 1,1	9,1 ± 1,5
2015	111 ± 53	78,7 ± 18,9	55,1 ± 16,8	3,6 ± 1,0	8,2 ± 1,8
2016	138 ± 87	140,1 ± 43,5	66,4 ± 14,0	3,7 ± 1,0	8,1 ± 1,8
2017	116 ± 39	139,0 ± 42,8	67,3 ± 31,9	4,5 ± 0,8	9,0 ± 3,3

En septembre 2017, les densités des zostères marines du chenal du Courbey étaient inférieures à la moyenne établie sur les années précédentes et les biomasses épigées présentaient des valeurs élevées par rapport à cette série.
D'une façon générale, la densité des pousses présente de moins fortes variations interannuelles (103 à 152 pousses / m²) que la biomasse des organes épigés (45 à 140 g PS / m²) avec par exemple des valeurs trois fois plus élevées en **2011**, **2016** et **2017**qu'en **2007, 2012** et **2013**.

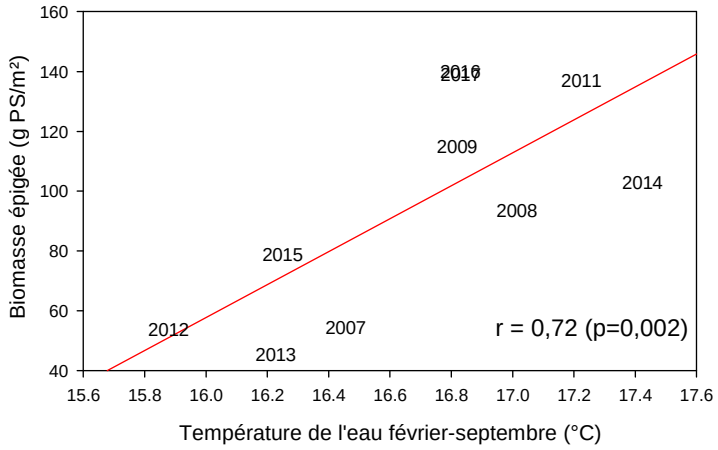
Tableau 12-2 : Caractéristiques des zostères (moyenne ± écart-type) de l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Hauteur pieds (cm)	**Biomasse épi/hypo (PS)**	**Rapport surface feuilles/poids sec (cm²/g)**	**Surface utile : Surf feuilles (m²)/m² sédiment**
2007	58,4 ± 28,6	2,2 ± 1,7	333,7 ± 21,1	2,12 ± 0,48
2008	85,2 ± 24,1	2,8 ± 0,9	354,0 ± 44,6	3,42 ± 1,50
2009	60,6 ± 20,3	1,5 ± 1,0	305,4 ± 30,1	3,82 ± 0,84
2011	93,9 ± 24,0	2,1 ± 1,2	329,6 ± 17,7	5,32 ± 2,00
2012	50,6 ± 21,8	1,4 ± 0,7	343,5 ± 27,1	2,02 ± 1,24
2013	50,7 ± 19,0	1,1 ± 0,6	312,7 ± 28,2	1,58 ± 0,22
2014	87,6 ± 35,9	2,0 ± 0,6	379,0 ± 16,0	3,84 ± 1,40
2015	63,3 ± 26,3	1,6 ± 0,6	372,6 ± 21,4	3,04 ± 1,25
2016	74,4 ± 26,4	2,2 ± 0,9	356,8 ± 7,1	5,30 ± 1,35
2017	91,8 ± 23,0	2,3 ± 0,8	354,4 ± 28,9	5,26 ± 1,65

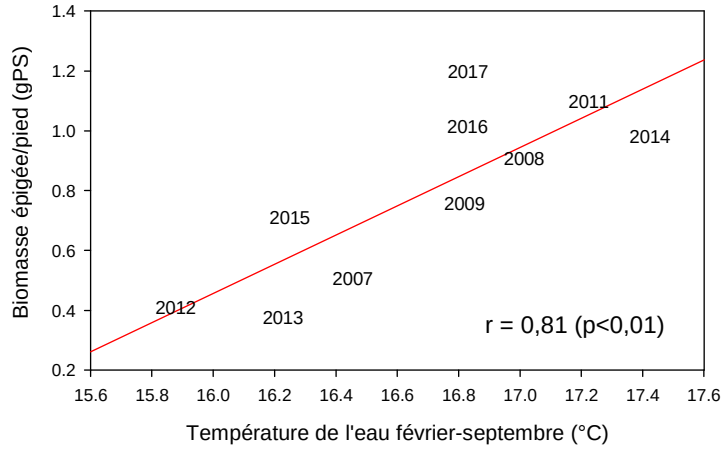
La variabilité inter-annuelle des densités ne présente pas de relation évidente avec les facteurs climatiques (notamment insolation), et hydrologiques (notamment température de l'eau et teneurs en matières en suspension dans ce chenal – données du réseau ARCHYD) s'appliquant dans cette zone Ce paramètre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

Par contre, la variabilité de la biomasse épigée, la biomasse individuelle des pieds et la hauteur des pieds sont clairement liées de façon positive à la température de l'eau pendant la période de croissance (février à septembre) (Figures 14a, b et c), aucun autre facteur climatique ou hydrologique n'améliorant cette relation.

a



b



c

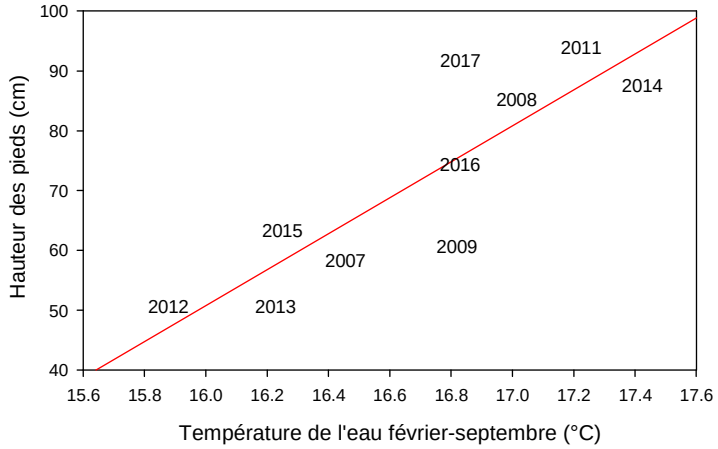


Figure 14 : Relation entre la biomasse épigée (a), biomasse par pied et hauteur des pieds des zostères marines de la station (1, 2, 3)_sub_ZM, en relation avec la température de l'eau (station Courbey du réseau hydrologique ARCHYD, moyenne février-septembre).

Les herbiers bretons de zostères marines échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE (Grall *et al.*, 2018.) présentent des densités généralement beaucoup plus élevées que la population du Courbey (Figures 15 et 16).

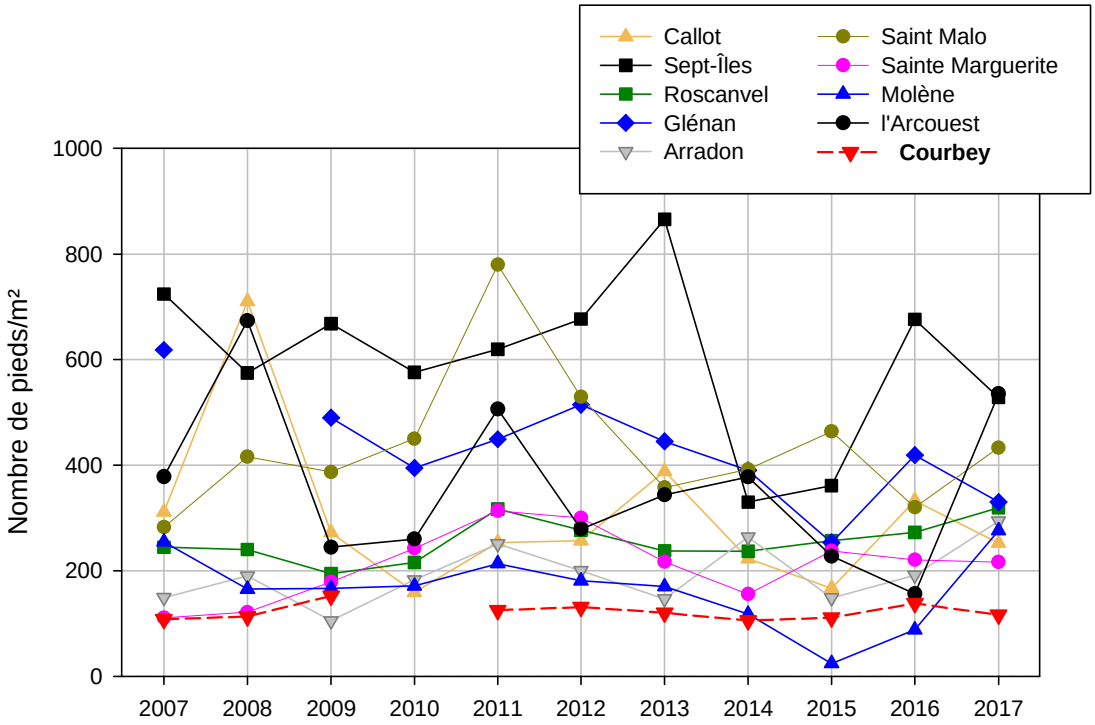


Figure 15 : Evolution des densités de pousses dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2017.

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 16).

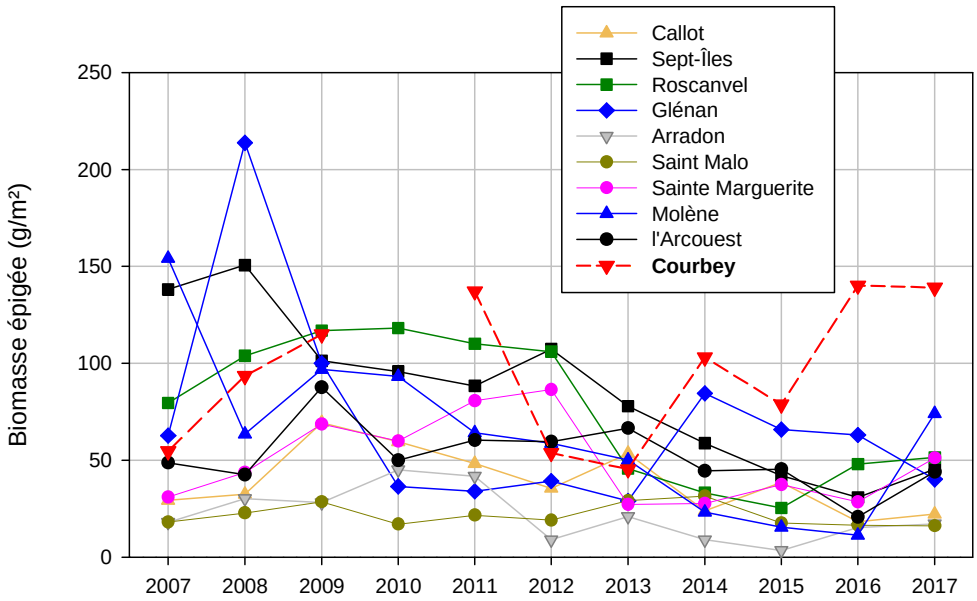


Figure 16 : Evolution de la biomasse épigée (feuilles et gaines) dans neuf herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2017

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 Etats-Unis au début des années 1980 (Short *et al.*, 1986, 1987). D'autres facteurs ont en effet été évoqués pour expliquer l'affaiblissement des populations de zostères (turbidité accrue, faibles niveaux d'insolation, compétition pour la lumière en raison du développement des macroalgues opportunistes), phénomène les rendant secondairement plus sensibles aux pathogènes.
Quoiqu'il en soit, d'après Hily *et al.* (2002), le niveau d'atteinte par cette maladie (pourcentage de signes de lésions des feuilles par le parasite) peut être considéré comme un bon indicateur du stress induit par les conditions environnementales.

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

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

- **indice "historique" (WI)** correspondant à la moyenne du maximum d'infestation par pied (Burdick *et al*., 1993),
- **indice "REBENT" (WIM)** résultant de la moyenne de l'infestation de l'ensemble des feuilles des 30 pieds,
- **indice par feuille (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 2017 (2010 exclus) (Tableau 13).

Tableau 13 : Valeur du Wasting Index (moyenne ± 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 ± 24,6	9,3 ± 8,4	0,2 ± 0,9	1,5 ± 2,6	12,3 ± 18,3	27,1 ± 25,1
2008	24,7 ± 16,0	9,8 ± 6,2	0,1 ± 0,3	5,1 ± 5,4	10,7 ± 10,6	17,5 ± 11,7
2009	14,5 ± 10,8	4,3 ± 7,6	0,1 ± 0,2	1,2 ± 3,0	1,5 ± 2,9	4,9 ± 7,8
2011	39,0 ± 22,9	14,5 ± 18,7	0,6 ± 2,0	4,0 ± 4,5	9,6 ± 6,2	18,3 ± 10,0
2012	18,9 ± 17,5	6,5 ± 12,6	0,4 ± 1,9	2,1 ± 3,8	7,4 ± 11,7	16,2 ± 18 ,0
2013	27,0 ± 18,4	11,1 ± 16,2	0,2 ± 0,4	5,0 ± 10,2	11,9 ± 12,0	26,5 ± 19,1
2014	9,1 ± 7,8	3,0 ± 5,7	0,5 ± 1,9	1,7± 4,2	2,8 ± 4,5	7, 2 ± 8,7
2015	30,3 ± 16,7	10,9 ± 14,8	0,2 ± 0,4	2,2 ± 3,8	8,0 ± 6,1	20,8 ± 11,9
2016	17,8 ± 14,2	6,8 ± 10,7	0,0 ± 0,2	0,4 ± 0,5	4,8 ± 5,3	13,4 ± 12, 2
2017	8,0 ± 5,3	2,8 ± 4,6	0,0 ± 0,0	0,6 ± 1,8	2,2 ± 3,4	7,3 ± 5,6

Les indices généraux (WI et WIM) présentent des valeurs maximales en **2011**, année où les biomasses épigées et la hauteur des pieds sont élevées et minimales en **2014** et **2017**, également caractérisées par de fortes biomasses et hauteurs. Néanmoins, l'examen des résultats obtenus feuille par feuille (figure 17), permet de constater que les années 2009-2014-2017, avec des feuilles faiblement atteintes, sont des années à forte biomasse épigée, tandis que 2007-2013, avec des feuilles fortement atteintes, présentent des faibles biomasses.

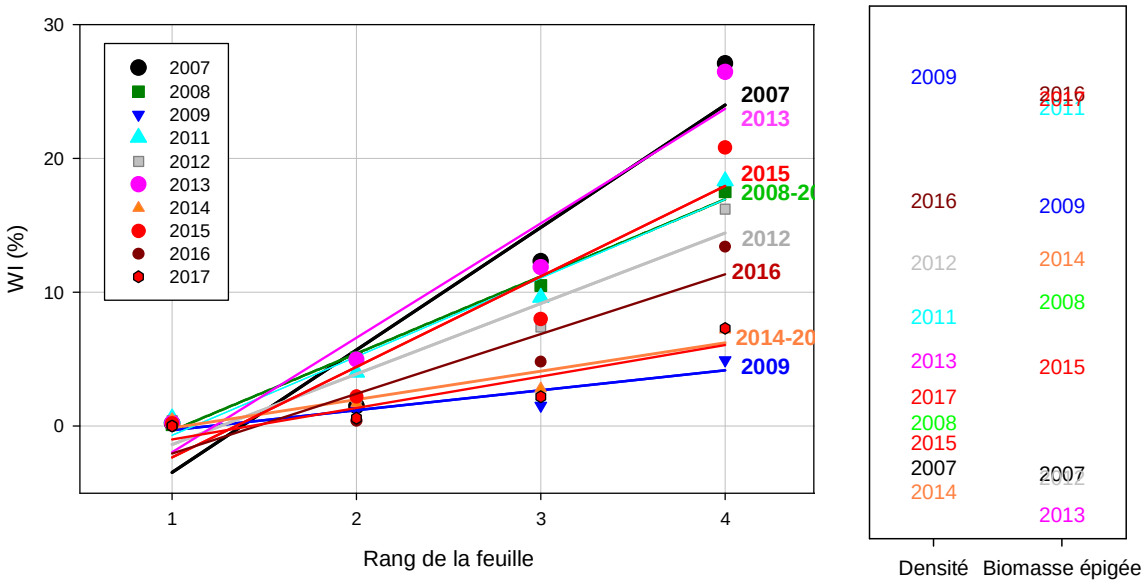


Figure 17 : Régression linéaire de WI (%) en fonction de l'age de la feuille au cours des différentes années dans l'herbier de zostères marines du Courbey (gauche) – Ordre des densités et biomasses épigées mesurées au mois de septembre (droite).

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 14,5 % en moyenne) de l'herbier arcachonnais au cours des 8 années se situent dans la gamme de valeurs des observations réalisées dans les six herbiers bretons échantillonnés au cours des printemps 2007 à 2017 dans le cadre du REBENT Bretagne (Grall *et al*., 2018.) (Figure 18). On peut d'ailleurs remarquer sur cette figure que les valeurs mesurées en 2017 dans tous ces herbiers étaient très faibles.

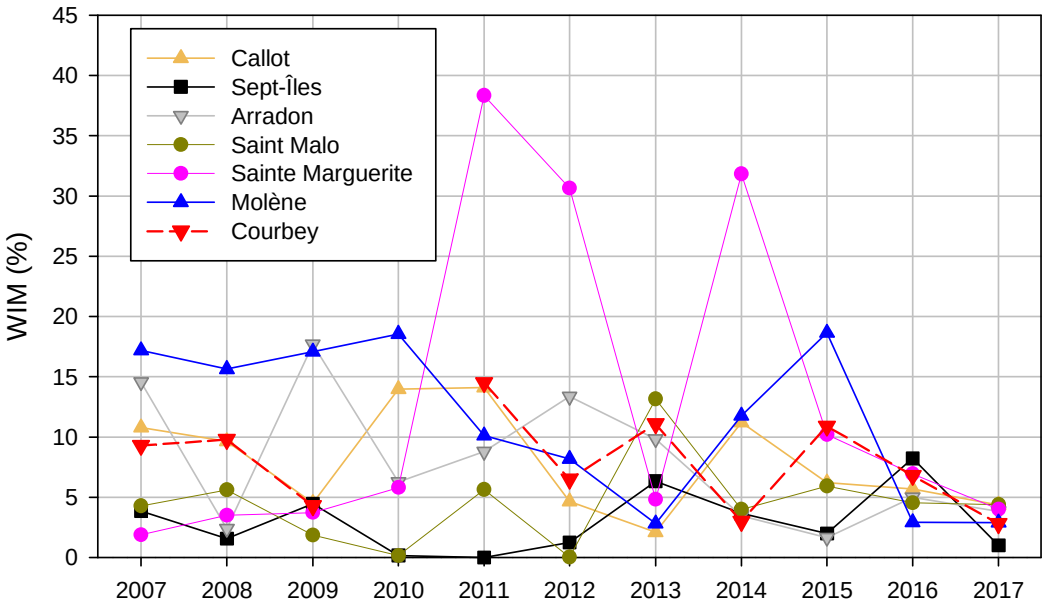


Figure 18 : Valeurs du WIM dans six herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT/DCE et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2017.

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 2016 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 2016, 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 2017.

Tableau 14 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « composition taxinomique». Valeur du RQE en 2017

Changement de la composition taxonomique par rapport aux conditions de référence et RQE	**RQE 2017**
Espèces apparues ou aucune espèce disparue (1)	**1**
Disparition de *Zostera marina* (0,7)	
Disparition de *Zostera noltei (0,5)*	
Perte des deux espèces (0)	

2.6.2. Extension

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

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

Année	*Z. marina*	*Z. noltei*	Source
1989	381 ha	6 846 ha	Auby (1991)
2008	104 ha	4 569 ha	Plus *et al.* (2010)
2012	(104 ha)*	4 259 ha	Lafon (com. pers.)
2016	56,2	(4 259 ha)*	Trut *et al.* (2018)
Evolution 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 3.

Tableau 16: Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « extension ». Valeur du RQE en 2017.

Modification de l'extension par rapport aux conditions de référence et RQE	***Zostera noltei*** **RQE 2017**	***Zostera marina*** **RQE 2017**	***Zostera* spp *** **RQE 2017**
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. Les résultats indiquent, sauf pour la station « Estey Tort », des abondances plus élevées en 2016 qu'au cours des années précédentes.

Tableau 17 : Evolution 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 Estey Tort int HZN (%)	Recouvrement moyen sur la station Afrique int HZN (%)	Recouvrement moyen sur la station Hautebelle int HZN (%)	Densité moyenne sur la station Courbey sub ZM (n/m²)
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
Evolution par rapport à la densité maximale	-100%	-22%	-10%	-26%

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 2017.

Tableau 18 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur de RQE pour la métrique « abondance ». Valeurs des RQE en 2017.

	Zostera noltei				***Zostera marina***	***Zostera spp****
Changement de l'abondance par rapport aux conditions de référence et RQE	**Estey tort** **RQE 2017**	**Afrique** **RQE 2017**	**Hautebelle** **RQE 2017**	***Z. noltei*** **RQE 2017**	**Courbey** **RQE 2017**	**RQE 2017** **(moyenne Zm et Zn)**
0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96… 10% perte = 0,80			**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		**0.58**			**0,54**	**0,50**
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, … 50% perte = 0,30				**0,46**		
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, …100% perte = 0,00	**0,00**					

2.6.4. L'indicateur angiosperme

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

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

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

Statut écologique	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**

Il faut souligner que l'intercalibration de cet indicateur entre les pays membres de l'Europe a conduit à modifier le seuil entre état moyen et bon état, qui passe de 0,60 à 0,65.

Pour la masse d'eau « Arcachon amont », en 2017, l'indicateur « angiosperme » indique de ce fait un « état moyen», avec un RQE de 0,59 (tableau 20). Ce classement s'explique à la fois par la faible valeur de la métrique « extension », due notamment à la forte régression des herbiers de zostères marines dans les zones orientales du Bassin et à la forte dégradation de l'abondance dans l'herbier situé dans la zone orientale médiane du Bassin.

Tableau 20 : Résultats pour l'élément de qualité « angiospermes » en 2017 dans la masse d'eau « Arcachon amont »

Arcachon amont	Indices			Indicateur
	Composition	**Extension**	**Densité**	**Angiosperme**
EQR	1	*Zostera noltei* : 0,42 *Zostera marina* : 0,09 Zostères : 0,26	*Zostera noltei* : 0,46 *Zostera marina* : 0,54 Zostères : 0,50	0,59
Etat	**Très bon état**	**Etat médiocre**	**Etat moyen**	**Etat moyen**

Conclusion

Zostera marina

Les observations réalisées entre 2007 et 2017 révèlent une faible variabilité des densités de pieds dans les herbiers de zostères marines du chenal du Courbey. Les variations inter annuelles des caractéristiques des plantes (hauteur et largeur des feuilles, déterminant la biomasse épigée et la surface utile) sont par contre assez importantes mais semblent pouvoir s'expliquer par celles d'un facteur naturel : la température de l'eau s'appliquant sur ces herbiers de la fin de l'hiver à la fin de l'été.

La régression de l'emprise de cette espèce, déjà importante entre 1988 et 2008 (Plus *et al.,* 2010) s'est poursuivie jusqu'en 2016-17 (Trut e*t 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 campagnes sur les deux stations suivies depuis 2006 indiquent une forte régression des recouvrements dans le centre de la partie orientale du Bassin (Estey Tort), phénomène constant depuis ces dernières années. De plus, depuis 2012, l'herbier situé dans la partie ouest du Bassin (Afrique) semble présenter un déclin par rapport aux années précédentes.

Par contre, l'herbier échantillonné pour la première fois en 2012 (Hautebelle) présente un meilleur taux de recouvrement que les deux autres stations, et qui s'avère plus élevé en 2016-2017 qu'en 2015.

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

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

Les causes de la régression des deux espèces de zostères ont été étudiées dans le cadre d'une étude réalisée en 2010-2011 (Auby *et al*., 2011). Les conclusions de ce travail ont permis d'innocenter les oiseaux herbivores (canards siffleurs, cygnes et bernaches) comme cause de ce déclin. Parmi les facteurs pouvant expliquer le début du déclin, 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 canicules 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 angiospermes

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 (Figure 19).

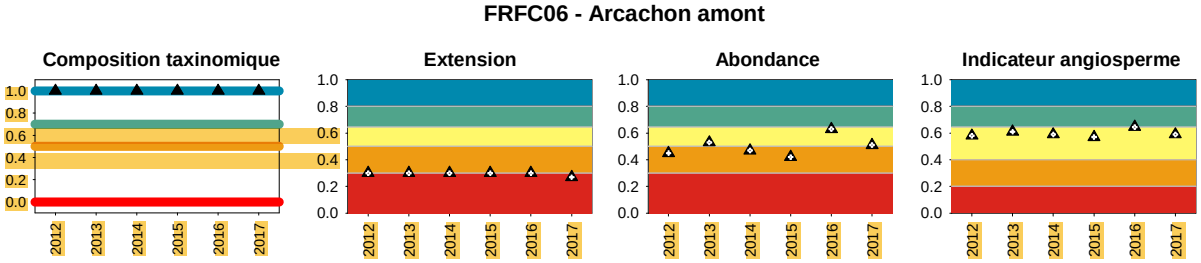


Figure 19 : Evolution temporelle du RQE des 3 métriques et de l'indicateur

Ce mauvais classement, qui en 2016 s'appliquait à cette seule masse d'eau du littoral Manche-Atlantique au regard des règles d'agrégation rapportées dans Auby *et al.* (2018), s'explique principalement par la diminution de l'emprise des herbiers des deux espèces de zostères dans cette masse d'eau.

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 LIENs), 57 p.

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., 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., Ganthy F., Gouriou L., Rigouin L., Rumebe M., Tournaire M-P., Trut G., Oger-Jeanneret H., Guesdon S., Derrien A., Chabirand J-M., Genauzeau S., Schmidt A., Geairon P., Grizon J., Seugnet J-L., Thomas G., Bechemin C., Soudant D., Lamoureux A., Provost C., Beaugrand P., Noureau B., 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 2011-2016. Rapport Ifremer RST/ ODE/LITTORAL/LER/AR/17.011, 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., Rigouin L., Trut G., Oger-Jeanneret H. (2017). Suivi stationnel (2007-2016) de l'herbier de zostères naines (*Zostera noltei*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2016) dans la masse d'eau côtière FRFC09 – Lac d'Hossegor. Rapport Ifremer RST/ODE/UL/LER/AR/17-008, 27 p.

Auby I., Rigouin L., Trut G., Oger-Jeanneret H., Ganthy F., Cognat M., Gouriou L., Bujan S., Devaux L., Dalloyau S., Feigne C., Pere C. (2017). Suivi stationnel (2006-2016) des herbiers de zostères (*Zostera noltei* et *Zostera marina*) et calcul de l'indicateur « Angiospermes » (2016) dans la masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - - Bassin Hydrographique Adour-Garonne. Rapport Ifremer RST /ODE/UL/LER/AR/17-010, 54 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.

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., 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 metropolitaines. 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., Huber M., Le Garrec V. (2018). Contrat UBO – Ifremer 2017. 17/1212954/S. Rapport final - Année 2017, 45 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.

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.

Ribaudo C. Plus M., Ganthy F., Auby I. (2016) Carbon sequestration loss following *Zostera noltei* decline in the Arcachon Bay (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 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.C. (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.

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., Cajeri P., Curti C., Latry L., Leguay D., Pineau P. (2012). Contrôle de surveillance 2012 DCE de la flore benthique et de la faune benthique de substrat meuble de la masse d'eau côtière Pertuis Charentais FRFC02 : herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. Rapport LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, 41 p.

Sauriau P.G., Aubert F., 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). Reccurence 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 2017

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

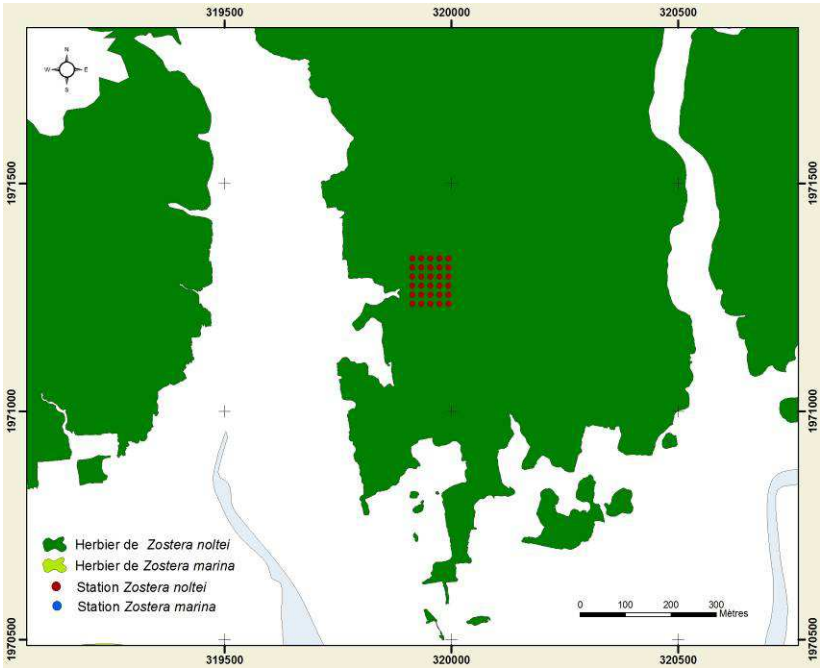


Figure B : Position de la grille dans l'herbier de la station Afrique int HZN

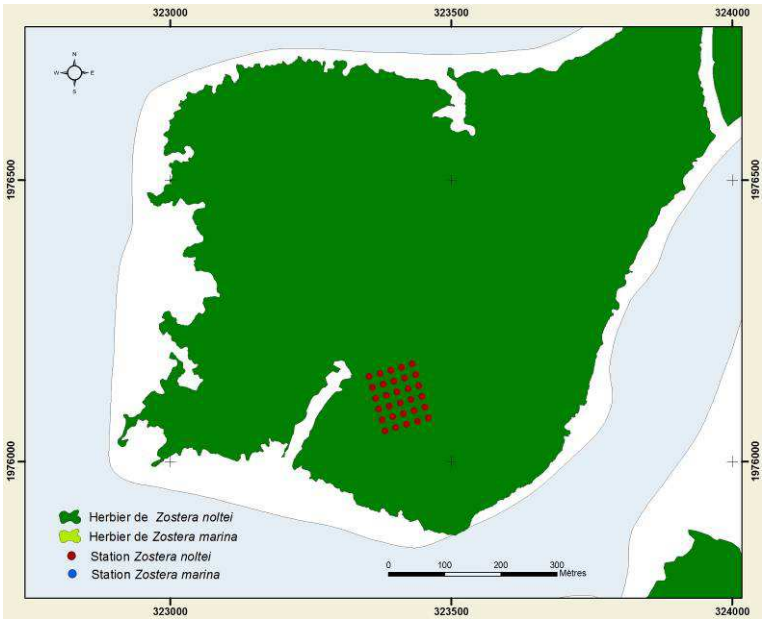


Figure C : Position de la grille dans l'herbier de la station Hautebelle int HZN