

Suivi stationnel des herbiers de zostères
(*Zostera noltii* et *Zostera marina*)
de la Masse d'eau côtière FRFC06
– Arcachon amont -
- District Hydrographique Adour-Garonne -
2006-2007-2008-2009



Suivi stationnel des herbiers de zostères
(*Zostera noltii* et *Zostera marina*)
de la Masse d'eau côtière FRFC06
– Arcachon amont -
- District Hydrographique Adour-Garonne -
2006-2007-2008-2009

Fiche documentaire

<p>Numéro d'identification du rapport : RST/LER/AR/11-002.</p> <p>Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/></p> <p>Validé par : <i>X. de Montaudouin – Université Bordeaux 1 – UMR EPOC 5805</i> <i>N. Lavesque - Université Bordeaux 1 – UMR EPOC 5805</i></p>	<p>Date de publication : Mars 2011</p> <p>Nombre de pages : 40</p> <p>Bibliographie: oui</p> <p>Illustration(s): oui</p> <p>Langue du rapport : Français</p>
<p>Titre et sous-titre du rapport :</p> <p style="text-align: center;">Suivi stationnel des herbiers de zostères (<i>Zostera noltii</i> et <i>Zostera marina</i>) de la Masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - - District Hydrographique Adour-Garonne - 2006-2007-2008-2009</p>	
<p>Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/></p>	
<p>Auteur(s) principal(aux) :</p> <p>Isabelle AUBY Gilles TRUT Claire BARBIER</p> <p>Stéphane BUJAN Marie-Ange CORDIER</p>	<p>Organisme / Direction / Service, laboratoire</p> <p>IFREMER - LER/Arcachon</p> <p>CNRS - UMR EPOC 5805</p>
<p>Collaborateur(s) : nom, prénom</p>	<p>Organisme / Direction / Service, laboratoire</p> <p>Station Ifremer Arcachon</p>
<p>Cadre de la recherche : PJ0504 Surveillance des peuplements benthiques A050404 REBENT Gascogne</p>	

sommaire

INTRODUCTION.....	9
1. PROTOCOLES	11
1.1. Stations et dates de prélèvement.....	11
1.2. Prélèvements et analyses du sédiment	12
1.3. Prélèvements et analyses des macroalgues	13
1.4. Prélèvements et analyses de la macrofaune benthique	13
1.5. Prélèvements et analyses des zostères.....	14
2. RESULTATS.....	17
2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères	17
2.2. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Estey Tort int HZN : herbier de <i>Zostera noltii</i>.....	19
2.2.1. Le sédiment	19
2.2.2. Les macroalgues	19
2.2.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs	20
2.2.4. Les épiphytes.....	21
2.2.5. Les zostères	21
2.3. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Station Afrique int HZN : herbier de <i>Zostera noltii</i>.....	23
2.3.1. Le sédiment	23
2.3.2. Les macroalgues	23
2.3.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs	24
2.3.4. Les épiphytes.....	24
2.3.5. Les zostères	25
2.4. Comparaison des caractéristiques des herbiers de zostères naines en 2006, 2007 et 2008 : intérêt de la fréquence annuelle	26
2.5. Masse d'eau FRFC06 – Arcachon amont - Stations Courbey (1,2,3)_ZM – Chenal du Courbey : herbier de <i>Zostera marina</i>	27
2.5.1. Le sédiment	27
2.5.2. Les macroalgues	27
2.5.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs	27
2.5.4. Les épiphytes.....	28
2.5.5. Les zostères	29
2.5.6. Indice de maladie - Wasting Index (WI)	30
CONCLUSION.....	35
BIBLIOGRAPHIE.....	37
ANNEXE 1.....	39

Introduction

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

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

Un réseau de sites de référence, par type de ME et par élément de qualité a été constitué. Le Bassin d'Arcachon (Masse d'eau "Arcachon amont") a été choisi comme site de référence pour l'herbier de zostère naine (*Zostera noltii*), 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).

A partir de 2007, a débuté le suivi stationnel des herbiers de *Zostera noltii* des autres sites du district Adour-Garonne. Dans ce district, 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:

- Masse d'Eau "Pertuis charentais" - FRFC02 (Sauriau, 2008a ; Sauriau 2008b ; Sauriau *et al.*, 2009);
- Masse d'Eau "Arcachon amont" – FRFC06 (Auby *et al.*, 2008 ; Auby *et al.*, 2009a ; Auby *et al.*, 2010b ; présent rapport);
- Masse d'Eau "Hossegor" – FRFC09 (Auby *et al.*, 2009b ; Auby *et al.*, 2010a)
- Masse d'eau "Estuaire de la Bidassoa"- FRFT8 (Sanchez *et al.*, 2007 ; de Casamajor *et al.*, 2008 ; Sanchez *et al.*, 2010).

Par ailleurs, les herbiers de *Zostera marina* du Bassin d'Arcachon (masse d'Eau "Arcachon amont" également), seul site du district sur lequel cette espèce est présente en abondance, ont également été échantillonnés à la fin des étés 2007 (Auby *et al.*, 2009a), 2008 (Auby *et al.*, 2010b) et 2009 (présent rapport). Les résultats de ces quatre campagnes sont présentés dans ce rapport.

Les herbiers de zostères de ces différents sites ont également fait l'objet de cartographies complètes en 2007-2008.

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

1. Protocoles

1.1. Stations et dates de prélèvement

Du fait de leur grande étendue dans la ME "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 noltii* a été réalisé sur deux sites, l'un sous influence océanique (Estey d'Afrique), et l'autre, sous influence plus continentale (Estey Tort). Chaque station est constituée de 9 points distants de quelques dizaines de mètres (Figure 1).

NB : Entre 2006 et 2007, la station Estey Tort a été déplacée d'une centaine de mètres vers le sud. En effet, l'herbier échantillonné en 2006 s'était très fortement dégradé, phénomène peut-être lié à une très forte exploitation de cette zone par les pêcheurs de palourdes.

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

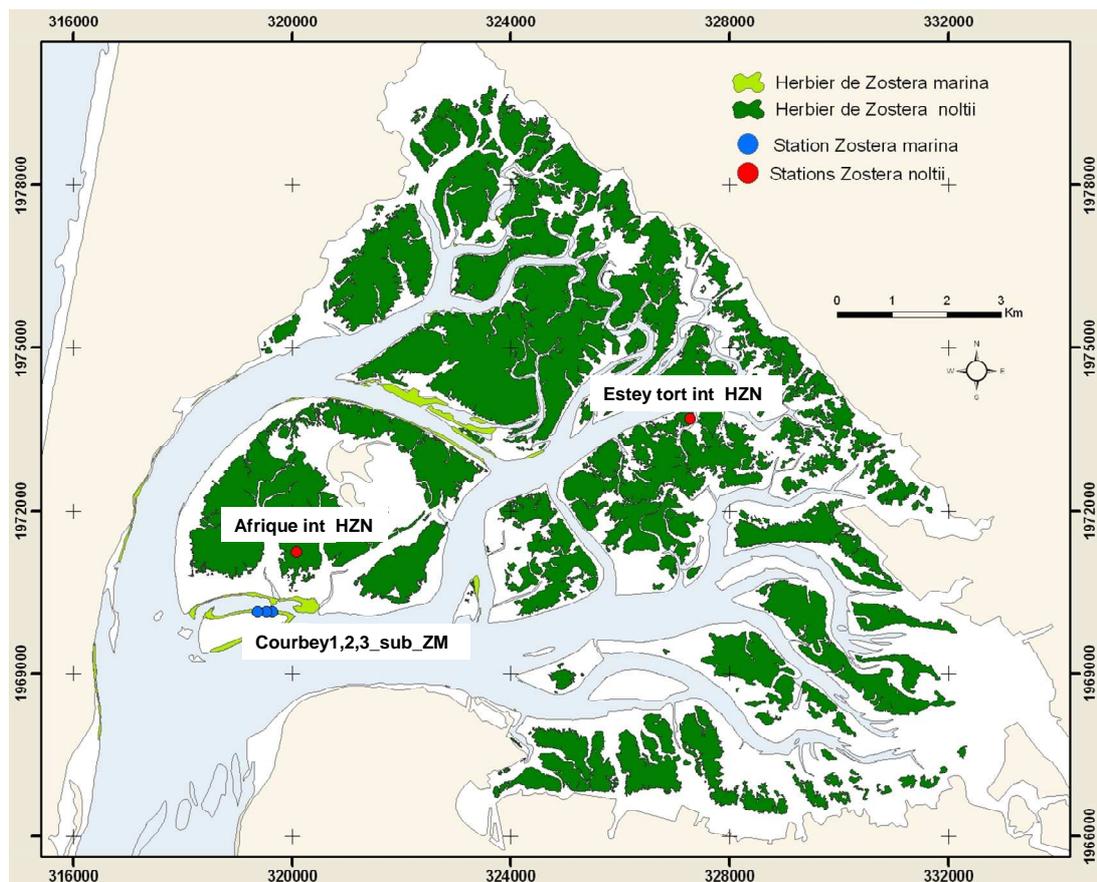


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements des deux espèces de zostères dans le Bassin d'Arcachon (Carte des herbiers d'après Plus *et al*, 2010).

L'échantillonnage 2009 a été réalisé au mois de septembre. Les dates de prélèvements des différentes stations sont indiquées ci-dessous.

Masse d'eau	Station	Echantillonnage
FRFC06	Estey Tort int HZN	24 septembre 2009
FRFC06	Afrique int HZN	9 septembre 2009
FRFC06	Courbey1_sub_ZM Courbey2_sub_ZM Courbey3_sub_ZM	1 septembre 2009 ¹

1.2. Prélèvements et analyses du sédiment

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 noltii* 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 – Pesée du sédiment sec – Passage sur une colonne humide de 5 tamis de maille décroissante (1000 µm, 500 µm, 250 µm, 125 µm et 63 µm – Séchage – Pesée de chaque fraction – Teneur en pélites ² - Médiane obtenue par méthode graphique

Matière organique : *Zostera noltii* 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 Prélèvements réalisés en plongée

² Fraction du sédiment inférieure à 63 µm

1.3. Prélèvements et analyses des macroalgues

Les macroalgues ont été échantillonnées aux trois stations d'herbier de zostères, selon le protocole suivant.

Macroalgues : *Zostera noltii*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel dans un cadre
Dimensions échantillon	0,50 m x 1 m = 0,50 m ²
Nombre d'échantillons	3 échantillons
Analyse	Séparation par groupe (algues vertes, rouges et 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 groupe (algues vertes, rouges et brunes) Biomasse (poids sec PS : 48 h – 60°C)

1.4. Prélèvements et analyses de la macrofaune benthique

Dans les herbiers de *Zostera noltii* (Estey Tort int HZN et Estey d'Afrique int HZN), les gastéropodes brouteurs ont été échantillonnés selon deux protocoles différents, en fonction de leur taille.

Petits gastéropodes brouteurs³ (Herbiers de *Zostera noltii*)

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier plastique diamètre 9 cm
Dimensions échantillon	63,62 cm ²
Nombre d'échantillons	9 échantillons
Analyse	Séparation par espèce Dénombrement Biomasse (poids sec PS : 48 h – 60°C après décalcification)

³ Petites espèces : *Bittium reticulatum*, *Rissoa membranacea*, *Hydrobia ulvae*.

Gros gastéropodes brouteurs⁴ - (Herbiers de *Zostera noltii*) :

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Ramassage manuel dans un cadre
Dimensions échantillon	0,50 m x 1 m = 0,50 m ²
Nombre d'échantillons	3 échantillons
Analyse	Séparation par espèce Dénombrement Biomasse (poids sec PS: 48 h – 60°C après décalcification)

1.5. Prélèvements et analyses des zostères

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

Densités, biomasses, biométrie sur 10 pieds/échantillon : *Zostera noltii*

Méthode	
Engin d'échantillonnage	Carottier plastique diamètre 9 cm
Dimensions échantillon	63,62 cm ²
Nombre d'échantillons	9 échantillons
Analyse	Dénombrement des pieds Mesures des feuilles Biomasse des différents organes (poids sec PS: 48 h – 60°C)

Densités, biomasses, biométrie : *Zostera marina*

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

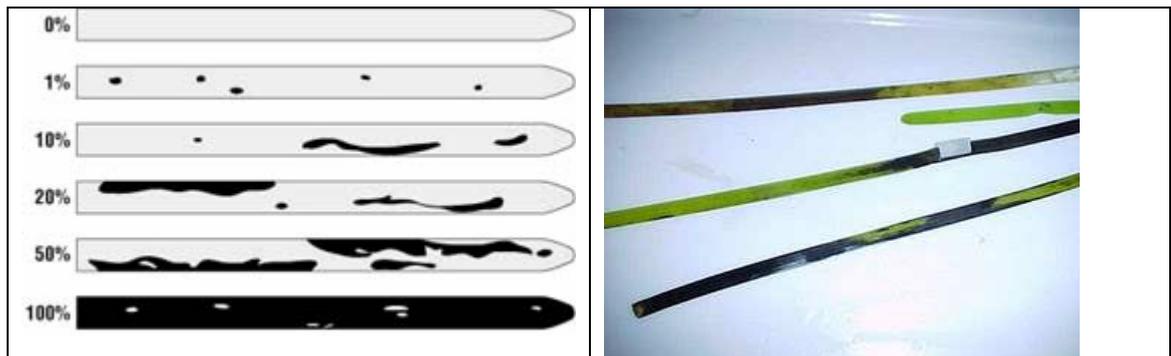
Epiphytes sur les feuilles de zostères : *Zostera noltii* et *Zostera marina*

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)

⁴ Grosses espèces : *Gibbula umbilicalis*, *Littorina littorea*.

Indice de maladie : *Zostera marina*

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



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

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

2. Résultats

2.1. Les oiseaux herbivores consommateurs de zostères

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

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

Les **canards siffleurs** sont dénombrés chaque hiver dans le cadre du Réseau « Oiseaux d'eau – Zones humides ». Leur abondance est relativement limitée sur le Bassin d'Arcachon (environ 1500 individus en moyenne pendant les derniers hivers) et ne présente pas d'évolution récente particulière. Leur impact sur les herbiers est donc probablement négligeable et constant.

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

Les données acquises par les deux réseaux de comptage au cours des dernières années révèlent que les effectifs de bernaches hivernant sur le bassin ont eu tendance à augmenter jusqu'à la saison 2005-2006. En effet, le bassin d'Arcachon est devenu le site national et européen majeur pour l'hivernage des bernaches au cours des 10 dernières années (Dalloyau, 2008).

Les abondances maximales de bernaches ont été très élevées pendant l'hiver **2005-2006**, ont progressivement décrû aux cours des deux saisons suivantes, et ont à nouveau augmenté en **2009** (Tableau 1 et Figure 2).

Tableau 1 : Résultats des comptages de bernaches cravant sur le Bassin d'Arcachon pendant les saisons d'hivernage 2005-2006 à 2007-2008 (Réseau LPO/Wetlands).

Saison	oct	nov	déc	janv	fév	mars
2005-2006	12000	19600	58668	73500	27550	1520
2006-2007	4150	37820	59830	23900	2376	200
2007-2008	4632	37755	47550	47302	4977	19
2008-2009	6065	36677	49119	62831	16415	8

Dénombrement des bernaches cravant sur le Bassin d'Arcachon

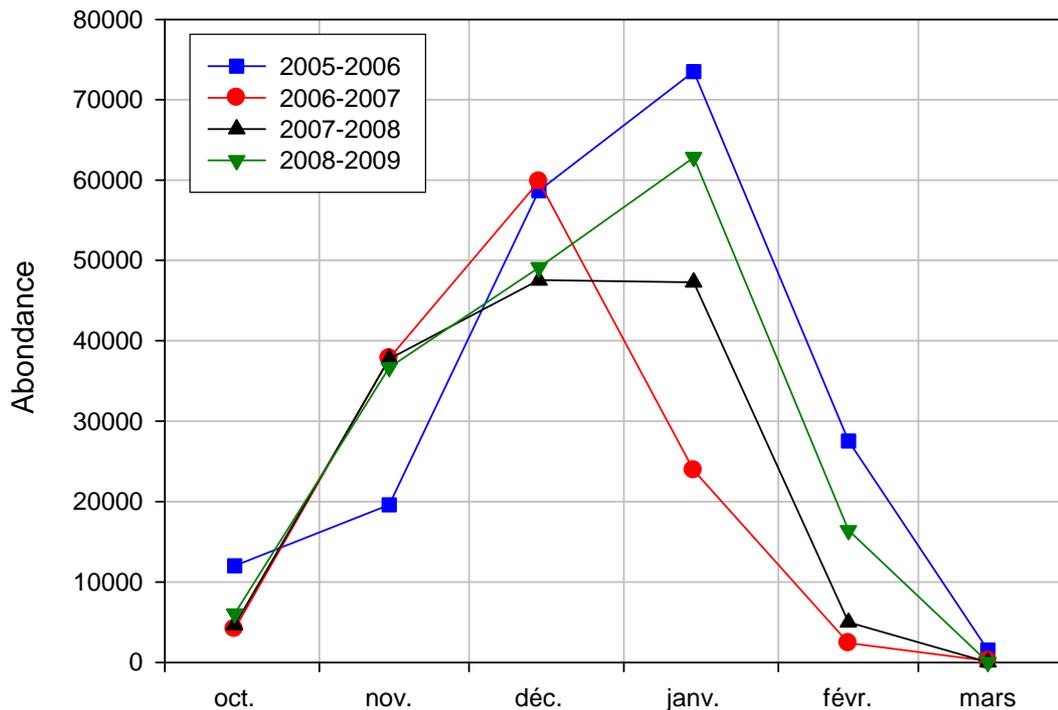


Figure 2 : Dénombrement des bernaches cravants dans le Bassin d'Arcachon au cours des saisons d'hivernage 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 et 2008-2009.

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

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

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

Depuis une quinzaine d'années, le Bassin d'Arcachon est devenu une zone de mue importante pour le cygne tuberculé. Des oiseaux d'origine inconnue viennent se joindre aux locaux aux alentours du 10 mai. Les observations les plus importantes se font en juillet et début août. À cette époque, les groupes sont très dispersés sur la zone intertidale et non plus sur les seuls domaines endigués (Péré *et al.*, 2010). Depuis l'été 2008, la Fédération des Chasseurs de la Gironde a entrepris un suivi mensuel de ces populations, destinés 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) (Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde, 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.

Ces trois espèces d'oiseaux herbivores fréquentent préférentiellement la partie orientale du Bassin (où se situe la station Estey Tort 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).

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

2.2.1. Le sédiment

Entre **2006** et **2009**, le sédiment de cet herbier a évolué, présentant une moindre proportion de pélites en 2007 et 2008 qu'en 2006 et 2009 (tableau 2). Ces fortes variations sont symptomatiques de l'hétérogénéité de la distribution spatiale des sédiments sur ces estrans et/ou de l'instabilité des sédiments dans cette zone du Bassin où l'herbier de zostères, fortement dégradé, ne joue plus son rôle de stabilisateur des sédiments fins.

Tableau 2 : Caractéristique du sédiment de l'herbier de *Zostera noltii* de la station Estey Tort int HZN.

	Moyenne ± ES			
	2006	2007	2008	2009
Médiane (µm)	< 63 µm	125	73	< 63 µm
Teneur en pélites (%)	70,2	20,06	20,85	64,15
Type de sédiment	Vase pure	Sable fin envasé	Sable fin envasé	Vase pure
Teneur en matière organique (%)	7,7 ± 0,42	8,46 ± 0,54	4,71 ± 0,75	6,67 ± 0,30

2.2.2. Les macroalgues

Sur cet herbier, seules des algues vertes avaient été observées en **2006**, et elles n'étaient présentes que dans un seul des trois quadrats échantillonnés.

Entre **2007** et **2009**, aucune macroalgue n'a été observée sur cette station à la fin de l'été (Tableau 3).

Tableau 3 : Biomasse (\pm Erreur Standard) des macroalgues dans l'herbier de *Zostera noltii* de la station Estey Tort int HZN.

	Moyenne \pm ES (n = 3)			
	2006	2007	2008	2009
Macroalgues vertes (g PS.m ⁻²)	1,15 \pm 1,15	0,00	0,00	0,00
Macroalgues brunes (g PS.m ⁻²)	0,00	0,00	0,00	0,00
Macroalgues rouges (g PS.m ⁻²)	0,00	0,00	0,00	0,00

2.2.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs

A cette station, en **2006**, les petits gastéropodes brouteurs étaient dominés numériquement par *Bittium reticulatum*, *Hydrobia ulvae* et *Rissoa membranacea* présentant des densités moitié moindres (Tableau 4).

Dans cet herbier (et plus encore dans celui de la station Afrique), *Bittium reticulatum* était en automne 2006 beaucoup plus abondant qu'au cours de l'année 1984 (Auby, 1991 ; Blanchet *et al.*, 2004) pendant laquelle l'abondance maximale de cette espèce sur les quatre herbiers échantillonnés s'élevait à 125 individus/m². Bien que cette espèce soit généralement associée aux champs d'algues (*Fucus*) et aux herbiers de zostères, il n'est pas clairement établi qu'elle consomme les épiphytes des thalles d'algues et des feuilles de zostères. En effet, Borja (1986) considère qu'elle se nourrit préférentiellement au niveau du sédiment fin accumulé au pied des plantes et qu'elle y consomme à la fois les diatomées et des débris.

Tableau 4 : Abondance et biomasse (\pm Erreur Standard) des gastéropodes brouteurs dans l'herbier de *Zostera noltii* de la station Estey Tort int HZN.

	Moyenne \pm ES			
	2006	2007	2008	2009
Densité petits gastéropodes brouteurs/m ²	768 \pm 195	14549 \pm 1414	4069 \pm 821	664 \pm 260
<i>Bittium reticulatum</i>	589 \pm 148	157 \pm 74	367 \pm 114	332 \pm 244
<i>Hydrobia ulvae</i>	288 \pm 39	14357 \pm 1420	3511 \pm 807	332 \pm 100
<i>Rissoa membranacea</i>	236 \pm 37	35 \pm 23	216 \pm 128	0 \pm 0
Densité gros gastéropodes brouteurs/m ²	29 \pm 23	43 \pm 11	12 \pm 2	75 \pm 22
<i>Gibbula umbilicalis</i>	20 \pm 13	3 \pm 2	4 \pm 0	16 \pm 8
<i>Littorina littorea</i>	16 \pm 12	41 \pm 10	8 \pm 2	59 \pm 20
Biomasse petits gastéropodes brouteurs (g PS/m ²)	2,16 \pm 0,46	16,74 \pm 2,47	8,31 \pm 1,64	0,77 \pm 0,38
Biomasse gros gastéropodes brouteurs (g PS/m ²)	2,72 \pm 2,32	1,53 \pm 0,25	0,49 \pm 0,10	2,07 \pm 0,78

En **2007, 2008 et 2009**, *Bittium reticulatum* était observé à des densités plus faibles qu'en 2006 et *Hydrobia ulvae* domine souvent le groupe des petits gastéropodes brouteurs, avec de fortes abondances classiquement mesurées dans les herbiers du Bassin au cours des années 1980 (Auby, 1991). Ces fortes variations temporelles de densité sont habituelles chez les espèces de ce genre, soumises à un transport passif par les courants en raison de leur capacité à emprisonner de l'air dans leur coquille.

Les plus grosses espèces (*Gibbula umbilicalis* et *Littorina littorea*) présentent des densités plus faibles et variables selon les années, les littorines dominant souvent ce peuplement.

La biomasse totale des gastéropodes « brouteurs » varie fortement selon les années.

2.2.4. Les épiphytes

En **2007 et 2009**, les feuilles de zostères de cet herbier étaient beaucoup moins colonisées par les épiphytes qu'en **2006 et 2008**, comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 5. Ce phénomène est également perceptible dans l'autre herbier suivi (Tableau 8). On peut remarquer que l'importance de cette colonisation est inversement proportionnelle à la hauteur des pieds (tableau 6). Ceci peut indiquer que le turn-over des feuilles était plus rapide au cours des étés 2007 et 2009 (plus chauds et plus ensoleillés – voir annexe 1), les feuilles les plus longues s'avérant être les plus vieilles et les plus épiphytées.

Aux quatre dates, les épiphytes sont en minorité (24 à 44 %) composés de matière organique.

Tableau 5 : Biomasses des épiphytes sur les feuilles de zostères de l'herbier de la station Estey Tort int HZN.

	Moyenne ± ES			
	2006	2007	2008	2009
Epiphytes (PS)/feuilles zostères (PS) %	42,25 ± 3,62	1,53 ± 0,18	54,31 ± 4,37	22,43 ± 2,33
Epiphytes (PS mg)/feuilles zostères (surf cm ²)	1,75	0,029	1,09	0,46
Epiphytes (AFDW)/feuilles zostères (AFDW) %	13,66 ± 0,78	0,84 ± 0,10	17,52 ± 1,18	7,24 ± 0,95
Epiphytes (AFDW/PS) %	24,43 ± 0,70	44,19 ± 0,35	24,78 ± 0,49	24,99 ± 0,79

2.2.5. Les zostères

A cette station, ainsi que dans les zones environnantes, aucun pied de la forme parvozostéride⁵ de *Zostera marina* n'a été observé dans les dépressions des herbiers intertidaux au cours des quatre années d'étude.

⁵ 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.

L'herbier de *Zostera noltii* de la station Estey Tort int HZN présentait, en septembre **2006**, un pourcentage de surface végétalisée de 90 % (tableau 6).

Les densités de zostères atteignaient environ 5000 pieds/m², valeurs assez faibles en comparaison avec celles observées dans les zones internes⁶ du bassin, à la même saison, en 1984 (Auby, 1991). Par contre, la biomasse épigée (maximale, à cette saison), était du même ordre que celle mesurée en automne 1984, sans doute en raison d'une plus grande hauteur des pieds en 2006 qu'en 1984.

En septembre **2007**, l'herbier de cette station présentait un pourcentage de surface végétalisée de 60 %. Rappelons que l'herbier de l'ancienne station Estey Tort int HZN, située de l'autre côté d'un petit chenal, avait quasiment disparu à cette date (pourcentage de surface végétalisée de 5 %).

Les pieds de zostères présentaient une densité environ 3 fois plus importante qu'en 2006, mais leur hauteur était sensiblement plus faible. Les biomasses épigées atteignaient des valeurs moyennes un peu plus élevées qu'en 2006, mais la différence entre les deux années n'est pas significativement différente.

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

Tableau 6 : Caractéristiques des zostères de l'herbier de la station Estey Tort int HZN.

	Moyenne ± ES			
	2006	2007	2008	2009
Surface végétalisée (%)	90	60	95	30
Densité pieds zostères (N.m ⁻²)	5083 ± 897	13850 ± 644	8838 ± 1079	9920 ± 1009
Biomasse épigée (g PS.m ⁻²)	153,4 ± 55,1	183,2 ± 26,2	82,3 ± 8,0	67,4 ± 6,2
Biomasse épigée (g AFDW.m ⁻²)	144,4 ± 54,0			
Biomasse hypogée (g PS.m ⁻²)	162,0 ± 56,7	113,6 ± 25,1	49,4 ± 5,2	47,4 ± 4,1
Biomasse hypogée (g AFDW.m ⁻²)	147,9 ± 53,9			
Biomasse épi/hypo (PS)	1,1 ± 0,2	2,2 ± 1,5	1,8 ± 0,3	1,5 ± 0,1
Nb feuilles/pied	2,9 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Hauteur pieds (cm)	23,3 ± 1,3	18,8 ± 0,9	21,3 ± 1,7	15,8 ± 0,9
Largeur feuilles (mm)	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,0	1,1 ± 0,0	1,0 ± 0,0
Rapport surface feuilles/poids sec (cm ² /g)	241,7 ± 82,9	535,1 ± 56,3	496,5 ± 95,4	485,3 ± 30,1

⁶ Toutefois, aucune des stations échantillonnées en septembre 2004 n'était proche de la station arc 108.

En septembre **2009**, cet herbier s'est fortement dégradé, avec un pourcentage de surface végétalisée ne s'élevant plus qu'à 30 %. Dans les zones végétalisées, les densités des pieds étaient comparables à celles des autres années, mais présentaient une hauteur plus faible, si bien que les biomasses de feuilles avaient encore diminué par rapport à 2008.

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

2.3.1. Le sédiment

Le sédiment de l'herbier de la station Afrique (sable fin envasé) montre peu de variation entre les quatre années (tableau 7). Ce sédiment contient moins de pélites et de matière organique que celui de l'herbier de l'Estey Tort.

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

	Moyenne± ES			
	2006	2007	2008	2009
Médiane (µm)	169	156	118	128
Teneur en pélites (%)	13,4	17,7	11,7	18,8
Type de sédiment	Sable fin envasé	Sable fin envasé	Sable fin envasé	Sable fin envasé
Teneur en matière organique (%)	3,4 ± 0,3	2,43 ± 0,3	2,0 ± 0,1	2,1 ± 0,1

2.3.2. Les macroalgues

Dans cet herbier, aucune macroalgue libre n'a été observée ni en **2006**, ni en **2007**, comme l'indiquent les résultats du tableau suivant. Par contre, en **2008** et **2009**, des entéomorphes (et des gracilaires, en 2008) colonisaient cette station. Cette situation ne reflète pas une eutrophisation de cette zone, située à distance des apports de nutriments dans la Baie, mais plutôt une modification physique de cette station au cours du temps. En effet, depuis 2008, une dépression s'est formée dans cette zone d'herbier et la présence permanente d'eau y est favorable au développement des algues pendant l'été.

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

	Moyenne± ES (n = 3)			
	2006	2007	2008	2009
Macroalgues vertes (g PS.m ⁻²)	0,0	0,0	16,6 ± 3,4	7,4 ± 0,3
Macroalgues brunes (g PS.m ⁻²)	0,0	0,0	0,0	0,0
Macroalgues rouges (g PS.m ⁻²)	0,0	0,0	3,3 ± 0,8	0,0

2.3.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs

Dans cet herbier, en **2006**, seules deux espèces de gastéropodes brouteurs avaient été observées : *Bittium reticulatum* et *Gibbula umbilicalis* (tableau 9).

Comme évoqué précédemment, les abondances de *Bittium reticulatum* étaient à l'automne 2006 beaucoup plus élevées qu'en 1984.

Tableau 9 : Abondance et biomasse (\pm Erreur Standard) des gastéropodes brouteurs dans l'herbier de *Zostera noltii* de la station Afrique int HZN.

	Moyenne \pm ES			
	2006	2007	2008	2009
Densité petits gastéropodes brouteurs /m ²	4331 \pm 1627	4000 \pm 699	2131 \pm 234	821 \pm 185
<i>Hydrobia ulvae</i>		576 \pm 198	245 \pm 129	227 \pm 65
<i>Bittium reticulatum</i>	4331 \pm 1627	3406 \pm 575	1781 \pm 244	594 \pm 211
<i>Rissoa membranacea</i>		17 \pm 17	105 \pm 74	0
Densité gros gastéropodes brouteurs /m ²	1 \pm 1	3 \pm 1	53 \pm 2	5 \pm 3
<i>Gibbula umbilicalis</i>	1 \pm 1	3 \pm 1	53 \pm 2	1 \pm 1
<i>Littorina littorea</i>	0	0	0	4 \pm 2
Biomasse petits gastéropodes brouteurs (g PS/m ²)	6,34 \pm 1,72	7,39 \pm 1,08	5,19 \pm 0,82	1,31 \pm 0,43
Biomasse gros gastéropodes brouteurs (g PS/m ²)	0,02 \pm 0,02	0,07 \pm 0,02	0,76 \pm 0,10	0,13 \pm 0,09

En **2007**, **2008** et **2009**, *Bittium reticulatum* dominait encore numériquement ce peuplement, avec toutefois des abondances décroissant d'année en année, mais des *Hydrobia ulvae* (et quelques *Rissoa membranacea* en 2007 et 2008) avaient rejoint le peuplement. Les gibbules (de petite taille) colonisent cet herbier en abondance en **2008**.

Les biomasses de gastéropodes brouteurs varient peu entre les trois années et l'essentiel de cette biomasse est constitué par *Bittium reticulatum*, dont on n'est pas sûr qu'il consomme significativement les épiphytes présents sur les feuilles de zostères.

2.3.4. Les épiphytes

Les feuilles de zostères de cette station, en grande partie située dans une zone assez basse de l'estran, sont colonisées par des macroalgues vertes épiphytes.

Ceci explique à la fois que les épiphytes présentent ici une plus forte biomasse et que cette biomasse soit constituée d'une plus forte proportion de matière organique que les épiphytes de la station de l'Estey Tort (Tableau 10).

Comme dans l'herbier oriental, les épiphytes étaient beaucoup moins abondants sur les feuilles de zostères en **2007** et **2009** qu'en **2006** et **2008**, sans que cette différence s'explique par une variation d'abondance des gastéropodes brouteurs.

Tableau 10 : Biomasses des épiphytes sur les feuilles de zostères de l'herbier de la station Afrique int HZN.

	Moyenne ± ES			
	2006	2007	2008	2009
Epiphytes (PS) /feuilles zostères (PS) %	141,96 ± 62,74	19,72 ± 1,57	82,15 ± 42,38	27,78 ± 5,52
Epiphytes (PS g) / feuilles zostères (surf cm ²)	317,27	0,39	1,56	0,55
Epiphytes (AFDW)/ feuilles zostères (AFDW) %	137,85 ± 74,45	10,66 ± 0,81	65,95 ± 50,44	10,32 ± 1,01
Epiphytes (AFDW/PS) %	59,55 ± 16,04	41,96 ± 1,74	44,35 ± 15,52	30,50 ± 2,05

2.3.5. Les zostères

A cette station, la plupart des cuvettes intertidales sont colonisées par un mélange de *Zostera noltii* et de la forme parvozostéride de *Zostera marina*.

Tableau 11 : Caractéristiques des zostères de l'herbier de la station Afrique int HZN

	Moyenne± ES			
	2006	2007	2008	2009
Pourcentage de surface végétalisée (%)	100	100	100	100
Densité pieds zostères (N.m ⁻²)	5659 ± 1309	12226 ± 1199	9204 ± 708	9641 ± 590
Biomasse épigée (g PS.m ⁻²)	71,6 ± 17,4	104,4 ± 16,5	104,5 ± 10,3	79,4 ± 5,6
Biomasse épigée (g AFDW.m ⁻²)	61,6 ± 15,3			
Biomasse hypogée (g PS.m ⁻²)	61,9 ± 12,6	119,1 ± 30,4	106,5 ± 11,9	63,3 ± 2,3
Biomasse hypogée (g AFDW.m ⁻²)	50,8 ± 10,3			
Biomasse épi/hypo (PS)	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,3	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,1
Nb feuilles/pied	3,1 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,1 ± 0,1	2,9 ± 0,1
Hauteur pieds (cm)	27,3 ± 1,7	14,3 ± 0,8	21,7 ± 1,1	17,4 ± 0,8
Largeur feuilles (mm)	1,3 ± 0,1	1,0 ± 0,0	1,2 ± 0,0	1,0 ± 0,0
Rapport surface feuilles/poids sec (cm ² /g)	447,4 ± 17,6	500,9 ± 68,9	526,9 ± 83,0	502,7 ± 42,3

Dans cet herbier très homogène au cours des 4 années (100 % de pourcentage de surface végétalisée), l'évolution inter annuelle des densités et de hauteur des pieds est similaire à celle de l'herbier de l'Estey Tort, avec une densité de pieds plus élevée et moins hauts en **2007** qu'à la fin de l'été des trois autres années. Les biomasses épigées et hypogées ont peu varié entre **2007** et **2009**, de même que la largeur des feuilles, leur nombre par pied et le rapport surface des feuilles/poids sec.

2.4. Comparaison des caractéristiques des herbiers de zostères naines en 2006, 2007 et 2008 : intérêt de la fréquence annuelle

La comparaison des résultats du suivi des deux herbiers de *Zostera noltii* du Bassin à la fin des étés 2006 à 2009 permet de mettre en évidence une forte variabilité interannuelle de leurs caractéristiques démographiques, y compris lorsque les observations sont réalisées à la fin de l'été, période au cours de laquelle leur biomasse épigée présente un développement maximal. L'exemple arcachonnais est frappant de ce point de vue (Figure 3), mais de telles variations sont fréquemment rapportées dans la littérature lorsque des herbiers sont suivis pendant plusieurs années (voir par exemple Laugier *et al.*, 1999).

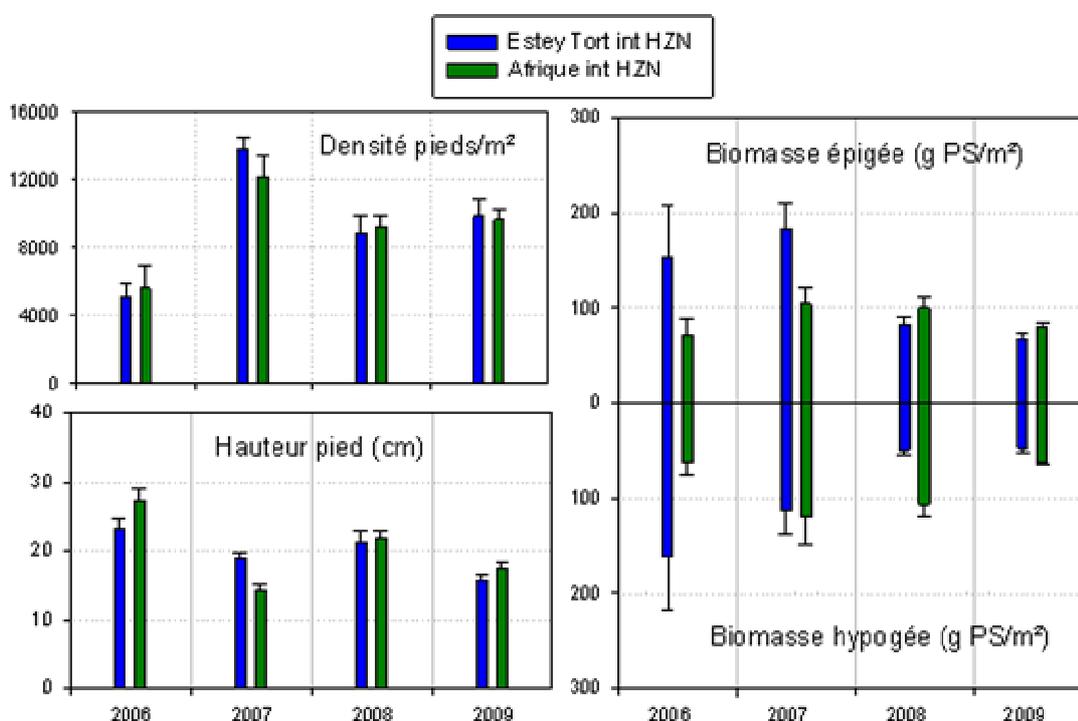


Figure 3 : Caractéristiques des deux herbiers de *Z. noltii* de la masse d'eau "Arcachon amont" à la fin des étés 2006, 2007, 2008 et 2009.

Cette différence entre les trois années, notamment en ce qui concerne la densité des pieds et leur hauteur, s'explique probablement par la dissemblance des conditions météorologiques entre 2007 et les autres années : le printemps et l'été 2007 ont été beaucoup plus venteux que les mêmes saisons des autres années (Annexe 1).

Comme le suggèrent Vermaat *et al.* (1987), l'augmentation des densités de *Zostera noltii* peut constituer une réponse adaptative à l'accroissement des contraintes hydrodynamiques. La forte agitation de l'eau générée par les vents exceptionnellement violents de 2007 explique ainsi peut être que les densités observées en été 2007 étaient plus élevées que les autres années.

Alors que les biomasses épigées ont peu varié entre 2006 et 2009 dans la station Afrique, située dans une zone où les herbiers sont stables (Plus *et al.*, 2010), on

observe dans le même temps une forte diminution de ces biomasses dans la station Estey Tort, située dans une zone du Bassin où les herbiers présentent une forte régression.

Ces observations illustrent l'intérêt de recueillir ce type de données avec une fréquence annuelle, et, lorsque les herbiers sont étendus, sur différents sites d'une même masse d'eau, pour caractériser les variations "naturelles" de ces populations. Ces données constituent une base de connaissance nécessaire en préalable à l'interprétation de l'évolution à moyen et/ou long terme de ces paramètres comme reflétant l'état de santé des herbiers.

Cette fréquence annuelle permet également de réaliser des observations régulières à méso échelle sur le taux de recouvrement des herbiers, donnant des indications sur l'évolution à court terme de leur état de fractionnement.

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

*NB : Les observations réalisées sur les herbiers de *Zostera marina* dans le cadre de la DCE en 2007 constituent les premières données acquises sur cette espèce dans le Bassin d'Arcachon.*

2.5.1. Le sédiment

Le chenal dans lequel se développent ces herbiers est relativement envasé et cet envasement est particulièrement marqué en 2009 (Tableau 12).

Tableau 12 : Caractéristiques du sédiment de l'herbier de *Zostera noltii* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Moyenne ± ES		
	2007	2008	2009
Médiane (µm)	136	68	76
Teneur en pérites (%)	17,8	18,4	40,93
Type de sédiment	Sable fin envasé	Sable fin envasé	Vase sableuse
Teneur en matière organique (%)	3,04 ± 1,04	6,09 ± 2,12	3,48 ± 0,47

2.5.2. Les macroalgues

Aucune macroalgue n'a été observée dans ces herbiers aux mois de septembre des trois années.

2.5.3. La macrofaune benthique : les gastéropodes brouteurs

Le prélèvement des gastéropodes brouteurs s'avère compliqué dans les herbiers de *Zostera marina* immergés.

Plusieurs solutions se présentent pour récolter ces organismes :

- Pêche au haveneau tel que pratiqué dans les herbiers bretons qui sont échantillonnés à pied (difficilement réalisable en plongée) ;
- Ramassage manuel dans les cadres (prélèvement limité aux espèces les plus grosses) ;
- Prélèvement de tout le contenu des carottes (zostères, sédiment, débris végétaux et gastéropodes présents sur les feuilles, à la surface du sédiment et enfouis dans la vase). Ce type de prélèvements génère des volumes importants de refus de tamis et un effort de tri trop important vis-à-vis de l'intérêt de ce paramètre complémentaire.

Pour cette raison, en septembre **2007** et **2008**, nous avons utilisé la seconde méthode, ignorant volontairement les très nombreux *Bittium reticulatum* présents dans ces herbiers. A ces dates, seules des Gibbules (espèce non déterminées) ont été observées dans ces herbiers, ce peuplement présentant des abondances et des biomasses moyennes plus faibles en 2007 qu'en 2008 (Tableau 13). D'après de Montaudouin (com. pers.), trois espèces de gibbules fréquentent les herbiers de zostères marines du chenal du Courbey : *Gibbula cineraria* (la plus fréquente), *G. magus* et *G. albida*, récemment introduite dans le bassin. Dans ces herbiers, les gibbules présenteraient des abondances extrêmement variables.

En **2009**, il a été décidé d'arrêter le suivi de ce compartiment, en raison de la difficulté à l'échantillonner correctement et des résultats douteux qui en résultent.

Tableau 13 : Abondance et biomasse (\pm Erreur Standard) des gastéropodes brouteurs dans l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Moyenne \pm ES	Moyenne \pm ES
	2007	2008
Densité gros gastéropodes brouteurs/m ²	5,78 \pm 2,41	24,89 \pm 7,42
<i>Gibbula spp.</i>	5,78 \pm 2,41	24,89 \pm 7,42
Biomasse gros gastéropodes brouteurs g PS/m ²	0,45 \pm 0,17	1,53 \pm 0,61

2.5.4. Les épiphytes

Les feuilles de zostères des herbiers de Zostères marines de cette partie du chenal du Courbey sont relativement peu colonisées par les épiphytes en **2007** et **2008**, et un peu plus en **2009** comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau 14.

Ces épiphytes sont minoritairement composés de matière organique (22 à 28 %), en raison de leur colonisation importante par de nombreux tubes d'annélides à tube calcaire de la famille des spirorbes (Serpulidae).

Tableau 14 : Biomasses des épiphytes sur les feuilles de zostères de l'herbier de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Moyenne± ES		
	2007	2008	2009
Epiphytes (PS)/zost(PS) (%)	16,29 ± 6,14	13,42 ± 6,25	32,28± 14,53
Epiphytes (PS mg)/zost(surf cm ²)	0,49 ± 0,18	0,38 ± 0,18	1,06 ± 0,48
Epiphytes AFDW/PS (%)	22,00 ± 0,30	27,68 ± 2,40	22,27 ± 3,27

2.5.5. Les zostères

Les caractéristiques des zostères du chenal du Courbey aux mois de septembre **2007**, **2008** et **2009** sont présentées dans le tableau 15.

Tableau 15 : Caractéristiques des zostères de l'herbier de *Zostera marina* de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Moyenne± ES		
	2007	2008	2009
Densité pieds zostères (n.m ⁻²)	108 ± 31	113 ± 17	152 ± 25
Biomasse épigée (g PS.m ⁻²)	54,6 ± 6,12	93,4 ± 18,4	114,9 ± 9,7
Biomasse hypogée (g PS.m ⁻²)	34,1 ± 10,3	37,5 ± 8,5	89,3 ± 11,6
Biomasse épi/hypo (PS)	2,2 ± 1,0	2,8 ± 0,4	1,5 ± 0,4
Nb feuilles/pied	3,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,0 ± 0,1
Hauteur pieds (cm)	58,4 ± 5,3	85,2 ± 3,4	60,6 ± 2,2
Largeur feuilles (mm)	7,2 ± 0,2	8,9 ± 0,1	8,2 ± 0,1
Rapport surface feuilles/poids sec (cm ² /g)	333,7 ± 12,2	354,0 ± 18,2	305,4 ± 12,3
Surf feuilles (m ²)/m ² sédiment	1,06 ± 0,31	1,71 ± 0,31	1,91 ± 0,17

Par rapport aux données de la littérature concernant les populations de Zostères marines pour la plupart plus septentrionales, les densités et les biomasses épigées des zostères marines du Courbey sont faibles.

En effet, d'après la revue proposée par Olesen et Sand-Jensen (1994), concernant 29 herbiers de *Zostera marina* distribués entre 30 et 56°N en Europe, ainsi qu'au x USA et au Japon, les densités estivales moyennes s'élèvent à 905 pieds/m² (min : 257 – max : 2193). Dans ces mêmes populations, les biomasses épigées estivales s'élèvent en moyenne à 245 g PS/m² (min : 111 – max : 391). De même, les trois herbiers bretons de zostères marines échantillonnés par Hily *et al.* (2002) en 1997-98 présentent des densités moyennes annuelles comprises entre 360 et 396 pieds/m².

Les densités et biomasses épigées observées à Arcachon sont par contre assez proches des valeurs estivales observées dans le bassin de Thau par Laugier *et al.* (1999). Ces auteurs rapportent pour ces populations des biomasses épigées et des

densités maximales s'élevant respectivement à 93 ± 76 g PS/m² et 140 ± 127 pousses/m².

Ces auteurs attribuent ces faibles densités aux conditions de turbidité régnant dans l'étang de Thau. Dès lors, il est possible que le même facteur explique les faibles densités mesurées dans le chenal du Courbey.

On remarque toutefois un accroissement des densités, des biomasses épigées et de la surface utile (Surf feuilles (m²)/m² sédiment) de ces zostères entre **2007** et **2009**, peut être à mettre en relation avec une élévation des températures et de l'éclairement entre ces 3 années (annexe 1).

2.5.6. Indice de maladie - Wasting Index (WI)

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

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

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

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

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

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

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

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

Ces différents indices ont été calculés pour la population de la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM échantillonnée à la fin des étés 2007 , 2008 et 2009 (Tableau 16)

Tableau 16 : Valeur du Wasting Index pour *Zostera marina* à la station Courbey (1,2,3)_sub_ZM.

	Moyenne \pm ES		
	2007	2008	2009
WI (%)	27,2 \pm 4,5	24,7 \pm 2,9	14,5 \pm 2,0
WIM (%)	9,3 \pm 1,5	9,8 \pm 1,1	4,3 \pm 0,3
WI feuille 1 (la plus jeune)	0,2 \pm 0,2	0,1 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1
WI feuille 2	1,5 \pm 0,5	5,1 \pm 1	1,2 \pm 0,5
WI feuille 3	12,3 \pm 3,4	10,7 \pm 1,9	1,5 \pm 0,6
WI feuille 4	27,1 \pm 5,5	17,5 \pm 2,6	4,9 \pm 0,9

La comparaison des valeurs atteintes par ces différents indices avec les observations réalisées dans d'autres sites doit être réalisée avec prudence. En effet, le suivi mensuel des herbiers bretons réalisé par Hily *et al.* (2002) et les observations bi annuelles (printemps et automne) réalisées dans le cadre du REBENT Bretagne (Hily, com. pers.) ont montré une forte variabilité temporelle de cet index, y compris au cours d'un cycle annuel.

Les valeurs du **WIM** (4,3 à 9,8 % en moyenne) de l'herbier arcachonnais au cours des trois années se situent dans la gamme de valeurs des observations réalisées dans les six herbiers bretons échantillonnés au cours des printemps 2007 à 2009 dans le cadre du REBENT Bretagne (Hily, com. pers.) (Figure 4). On observe une forte diminution de cet indice en 2009.

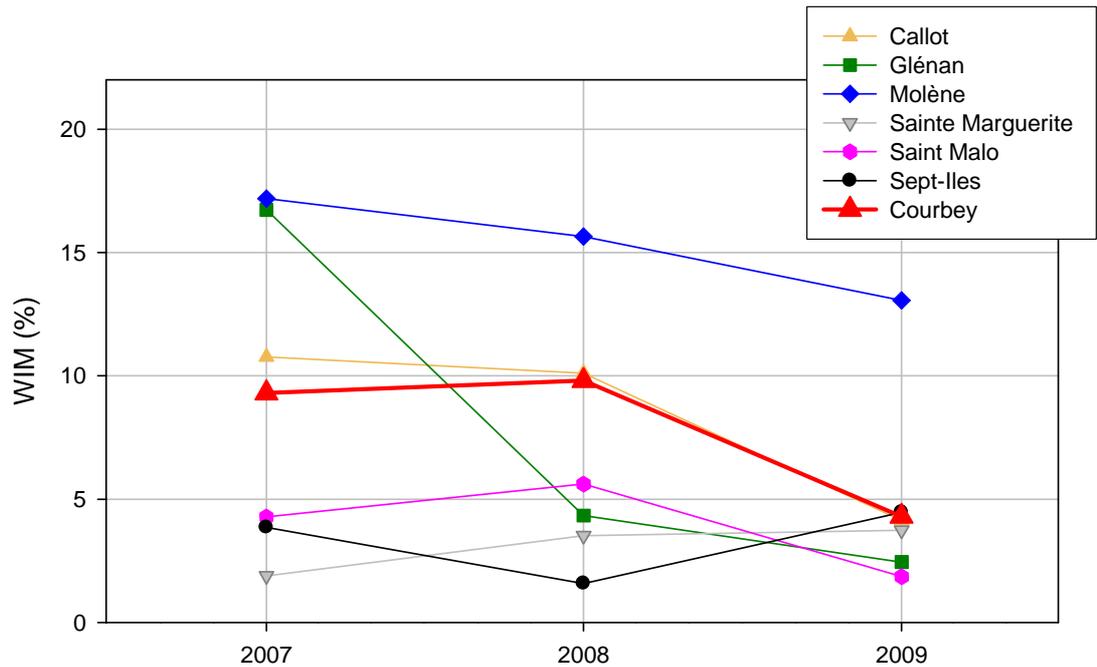


Figure 4 : Valeurs de WIM dans six herbiers bretons échantillonnés dans le cadre de REBENT et dans l'herbier du Courbey, entre 2007 et 2009.

Le profil d'infestation en fonction de l'âge des feuilles ($WI_{1\text{à}4}$) de l'herbier d'Arcachon mesuré au cours des mois de septembre 2007 à 2009 présente une pente décroissante au cours des années (Figure 5).

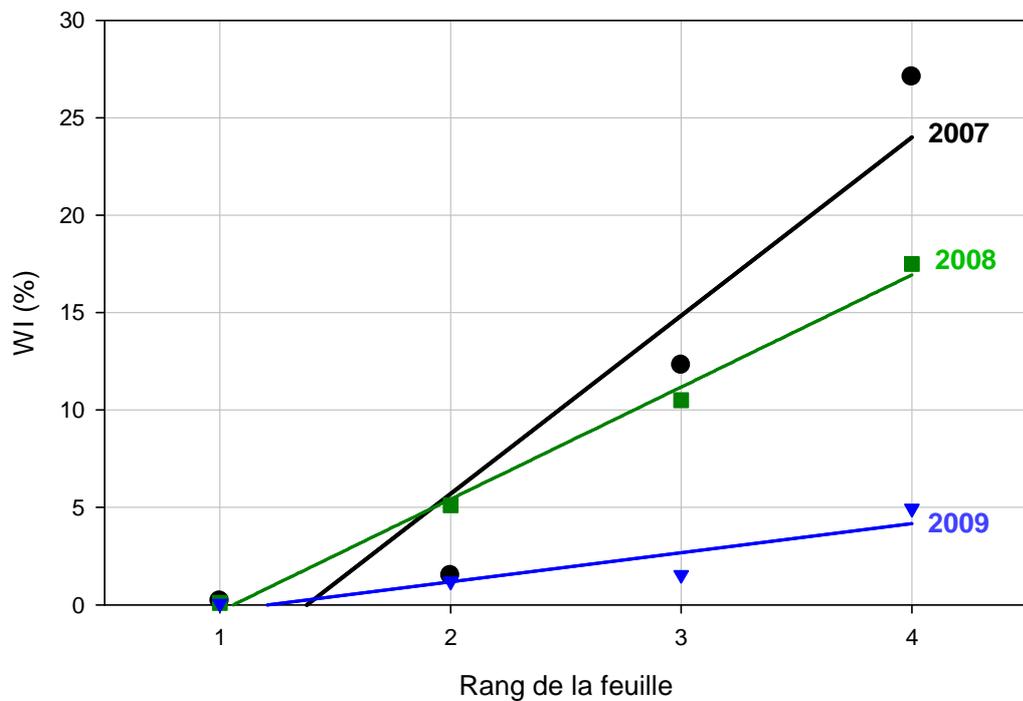


Figure 5 : Régression linéaire de WI (%) en fonction de l'âge de la feuille (noir : Courbey 2007 ; vert : Courbey 2008 ; bleu : Courbey 2009).

L'infestation des Zostères marines du chenal du Courbey par *Labyrinthula zosterae* a diminué entre 2007 et 2009, ce qui peut indiquer que les conditions de milieu ont été moins stressantes pour les plantes au cours de cette dernière année.

Conclusion

Zostera noltii

Les résultats acquis au cours des campagnes 2006 à 2009 au sujet des deux herbiers de zostères naines de la masse d'eau "Arcachon amont" apportent un certain nombre d'informations.

Les observations à méso échelle, telle la surface végétalisée des deux stations étudiées donnent une bonne image de la situation mise en évidence au cours de la cartographie réalisée en 2007-2008 (Dalloyau *et al.*, 2009). Elles révèlent en effet la forte stabilité des herbiers les plus occidentaux (ouest de l'île aux Oiseaux, dans lequel l'herbier était très homogène au cours des trois campagnes), la précarité des herbiers les plus orientaux : la station la plus interne a été déplacée, en raison de la disparition brutale de l'herbier échantillonné en 2006.

Le suivi des paramètres démographiques des zostères (densité et hauteur des pousses notamment) rend compte d'une forte variabilité interannuelle et les fluctuations mises en évidence sont similaires dans les deux herbiers. Il est probable que ces variations puissent être interprétées comme une réponse à des phénomènes naturels d'ordre climatique (température, insolation, agitation de l'eau générée par les vents).

Par contre, on peut noter que les biomasses épigées présentent une stabilité beaucoup plus importante dans l'herbier de l'île aux Oiseaux que dans celui du fond du Bassin, les biomasses sur ce dernier point ayant fortement diminué entre 2006-2007 et 2008-2009.

Ces observations « inquiétantes » sur l'évolution de l'état des herbiers des zones orientales du Bassin (régression de l'extension et diminution des biomasses) méritent de poursuivre les observations sur ces sites.

La fréquence annuelle d'observation adoptée pour l'instant dans le district Adour Garonne se justifie donc pleinement, afin d'obtenir un jeu de données "objectif" qui permettra ensuite de proposer des indicateurs de qualité.

Zostera marina

D'après les observations réalisées dans le cadre de la cartographie des herbiers du Bassin au cours de l'été 2008 (Dalloyau *et al.*, 2009), le chenal du Courbey, dans lequel se situe la station suivie dans le cadre de la DCE est l'une des deux zones ⁷ dans laquelle les zostères marines constituent encore des herbiers conséquents.

Pour cette raison, on peut penser que les herbiers de ce chenal présentent les densités et les biomasses maximales des zostères marines de cette masse d'eau.

Comme évoqué précédemment, ces densités et biomasses sont faibles par rapport à la plupart des valeurs rapportées dans la littérature pour cette espèce, à l'exception de

⁷ Avec le chenal de l'île, au nord de l'île aux Oiseaux.

la lagune de Thau. Toutefois, les densités et les biomasses épigées ont augmenté au cours des 3 années du suivi. Par ailleurs, l'indice de maladie (caractérisant le degré de stress environnemental) semble avoir diminué entre 2007 et 2009.

Les observations ultérieures permettront de préciser l'état de ces populations dans la masse d'eau "Arcachon amont", et de préciser si cette amélioration de « l'état de santé » des herbiers de zostères marines se poursuit dans les prochaines années.

Bibliographie

Auby I (1991) Contribution à l'étude écologique des herbiers de *Zostera noltii* dans le Bassin d'Arcachon: dynamique, production et dégradation, macrofaune associée. Thèse, Université Bordeaux I.

Auby I., Trut G., Blanchet H., Gouilleux B., Lavesque N., Pothier A. (2008). Echantillonnage des sites de référence DCE pour les paramètres "faune invertébrée benthique" et "végétation" – District hydrographique Adour-Garonne. Rapport Ifremer, RST/LER/AR/08-001, 33 p.

Auby I., Trut G., Dalloyau S. (2010a). Suivi stationnel de l'herbier de zostères naines (*Zostera noltii*) de la Masse d'eau côtière FRFC09 – Lac d'Hossegor - District Hydrographique Adour-Garonne - 2007-2008. Rapport Ifremer, RST /LER/AR/10-001, 15 p.

Auby I., Trut G., Plus M., Vignon A., Bujan S. (2010b). Suivi stationnel des herbiers de zostères (*Zostera noltii* et *Zostera marina*) de la Masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - - District Hydrographique Adour-Garonne - 2006-2007-2008. Rapport Ifremer - RST /LER/AR/10-002, 40 p.

Blanchet H., de Montaudouin X., Lucas A., Chardy, P. (2004). Heterogeneity of macrozoobenthic assemblages within a *Zostera noltii* seagrass bed: diversity, abundance, biomass and structuring factors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61 (1), 111–123.

Borja A. (1986) La alimentación y distribución del espacio en tres moluscos gasteropodos : *Rissoa parva* (da Costa), *Barleeia unifasciata* (Montagu) y *Bittium reticulatum* (da Costa). *Cah. Biol. Mar.*, **27**(1), 69-76.

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.

Dalloyau S. (2008). Réponse fonctionnelle et stratégies d'hivernage chez un anséridé en lien avec la disponibilité de la ressource alimentaire. Cas de la Bernache cravant à ventre sombre (*Branta bernicla bernicla*) en hivernage sur le littoral atlantique (île d'Oléron, Charente-Maritime 17). Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Science de la Vie et de la Terre, Université de Montpellier II.

Dalloyau S., Trut G, Plus M., Auby I. Emery E. (2009). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers de *Zostera noltii* et *Zostera marina* du Bassin d'Arcachon. Rapport Ifremer RST /LER/AR/09-003, 52 p.

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

Den Hartog C. (1987). "Wasting disease" and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. *Aquat. Bot.*, **27**, 3-14.

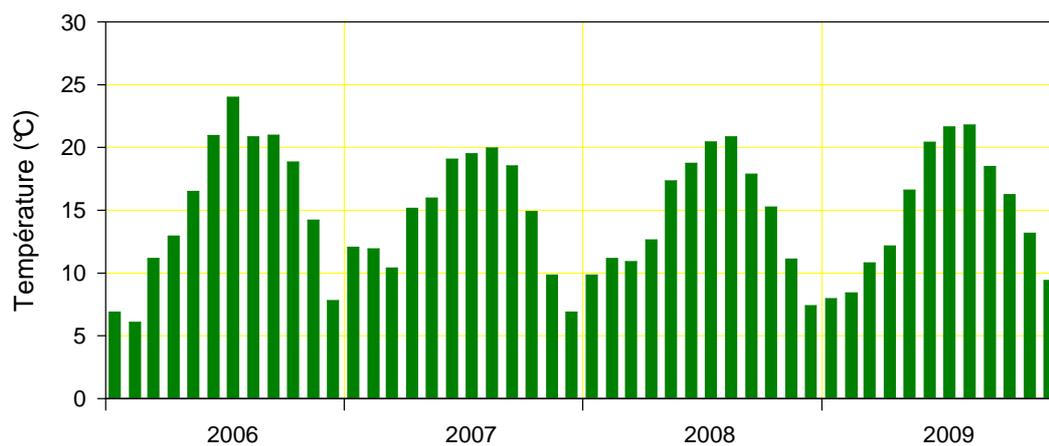
Fédération Départementale des Chasseurs de la Gironde (2010). Espèces protégées. Le cygne tuberculé : Encore bien présent en été. Tableau de bord 2010, 32-33.

Hily C., Raffin C., Brun A., Den Hartog C. (2002). Spatio-temporal variability of wasting disease symptoms in eelgrass meadows of Brittany (France). *Aquat. Bot.*, **72**, 37-53.

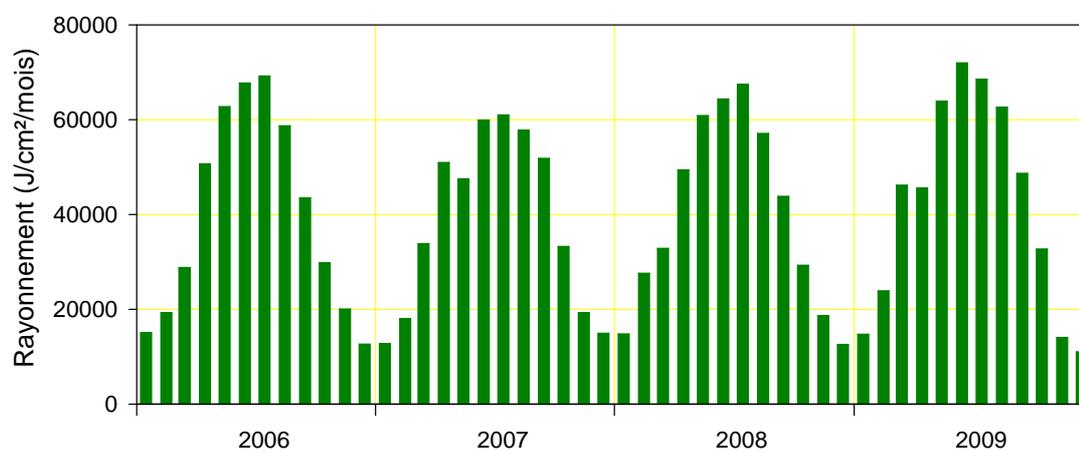
- Laugier T., Rigollet V., de Casabianca M.L.** (1999). Seasonal dynamics in mixed eelgrass beds, *Zostera marina* L. And *Zostera noltii* Hornem., in a Mediterranean coastal lagoon (Thau lagoon, France). *Aquat. Bot.*, **63**, 51-69.
- Lissardy M., de Casamajor M.N., Sanchez F.** (2007). Cartographie de l'herbier de *Zostera noltii* dans la Baie de Txingudi. Rapport CERECA-ADERA, 12 p.
- Lubet P.** (1956). Considérations écologiques sur les herbiers du Bassin d'Arcachon. *P.V. Soc. lin. Bordeaux*, **96**, 95-103.
- Olesen B., Sand-Jensen K.** (1994). Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations—shoot dynamics and biomass development. *J. Ecol.* **82**, 379–390.
- Péré C., Haas J., Veiga J.** (2010). Nouvelles données sur le statut du cygne tuberculé (*Cygnus olor*) sur le Bassin d'Arcachon (Gironde). Faune sauvage, bulletin technique et juridique de l'ONCFS, 287, 8-15.
- Plus M., Dalloyau S., Trut G., Auby I., Montaudouin de X., Emery C., Noël C., Viala C.** (2010). Long-term evolution (1988–2008) of *Zostera* spp. meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **87** (2010) 357–366.
- 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., 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 noltii*. Rapport Ifremer. R.INT.DCN/HGS/LRHA 10-001, 31 p.
- Sauriau P.G.** (2008a). Surveillance faune et flore benthique DCE. Vitalité herbier de *Zostera noltii* 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 noltii* masse d'eau FRFC02 Pertuis charentais Prospection 2008. Rapport CNRS, 27 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 noltii*. Partie 2 : herbier de *Zostera noltii*. Rapport CNRS, 35 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.
- Sigalas R.** (1933). A propos de *Zostera marina*. *P.V. Soc. linn. Bordeaux*, **85**, 49-50.
- Trut G., Dalloyau S., Auby I.** (2009). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers à *Zostera noltii* et *Zostera marina* du Lac d'Hossegor MEC FRFC09. Rapport Ifremer RST/LER/AR/09-008, 21 p.

Annexe 1

Température moyenne mensuelle de l'air Cap Ferret (source Météo France)

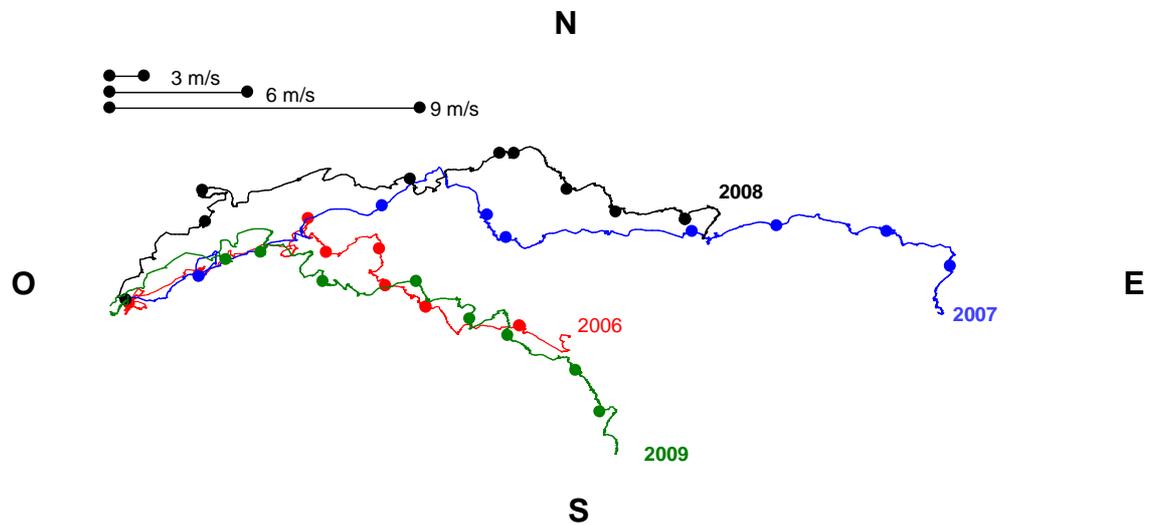


Rayonnement solaire Cap Ferret (source Météo France)



Vent au Cap Ferret (source Météo France)

(données début janvier à fin septembre)



Légende

Les hodographes intégrés sont des représentations combinées de la direction et de la tension du vent. Le vent agit par la tension qu'il exerce sur la surface de la mer. Cette tension est proportionnelle au carré de la vitesse du vent et respecte la direction. Le traçé de l'hodographe intégré consiste à mettre bout à bout les vecteurs trihoraires de tension calculée. Il permet de décrire l'évolution de la direction du vent dans le temps en respectant la chronologie.

Le premier jour de chaque mois, affecté des coordonnées (0,0) est figuré par des cercles.

Direction : dans chaque figure si le tracé se dirige vers le côté droit, cela signifie que le vent vient de l'ouest. Si le tracé se dirige vers le bas, le vent vient du nord.

Vitesse : plus la distance entre deux points est importante, plus la tension du vent est élevée ce jour là.