

Facteurs environnementaux contrôlant la croissance des herbiers de *Zostera noltei* dans un contexte de fort déclin (Bassin d'Arcachon, FRANCE)

Cognat M. ^{1*}, Auby I. ², Barraquand F. ³, Rigouin L. ², Sottolichio A. ¹, Ganthy F. ²

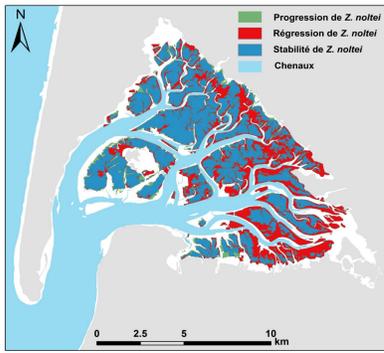
¹ Université de Bordeaux, EPOC, CNRS, Allée Geoffroy St Hilaire, CS50023, 33615 PESSAC Cedex, France

² Ifremer, LER-AR, F-33120 Arcachon, France

³ Chaire ETI Labex COTE, Université de Bordeaux, Bât. B2 - Allée Geoffroy St-Hilaire, FR33615 Pessac

Contexte et Objectifs

Le déclin des herbiers de *Zostera noltei* dans le Bassin d'Arcachon



- Vastes estrans colonisés par des herbiers de *Zostera noltei*
- Régression drastique de l'étendue de ces herbiers depuis 20 ans (Fig. 1)
- Les causes de cette régression restent méconnues (Auby *et al.*, 2011)

Fig. 1 : Evolution de l'extension des herbiers de *Z. noltei* entre 1989 et 2007 (Plus *et al.*, 2010)

Les facteurs contrôlant la croissance des *Z. noltei*

- La quantité de lumière disponible pour la photosynthèse est connue pour être le paramètre principal contrôlant la croissance des zostères
- D'autres facteurs peuvent impacter la croissance de cette espèce tel que la température, l'hydrodynamique, la qualité du substrat, le temps d'immersion, les apports en nutriments et le fractionnement de l'herbier

Objectifs :

Estimer les contributions relatives de différents paramètres environnementaux sur la croissance de *Z. noltei* à partir d'une approche expérimentale multi-site et d'un modèle statistique

Méthodes

Expérimentation de terrain

- Suivi de 9 sites d'herbiers contrastés (Nov. 2015 – Nov. 2016):
 - Mensuellement :
 - estimation du taux de recouvrement et de colonisation des zostères
 - prélèvements de zostères pour analyses biométriques, teneurs en C, N, P, chlorophylle
 - prélèvements de sédiments pour analyses granulométriques et de teneur en matière organique et en eau
 - Mesure à haute fréquence :
 - lumière disponible pour les plantes
 - température
 - hauteur d'eau
 - Paramètres complémentaires issus du modèle numérique MARS :
 - vitesses de courant
 - temps de renouvellement océanique et impact des rivières

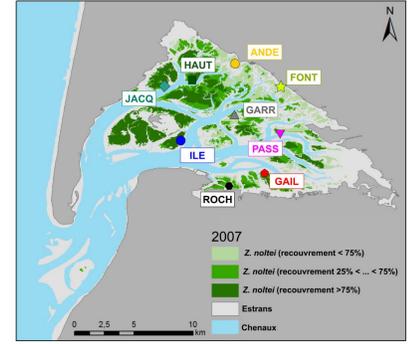


Fig. 1 : Localisation des sites étudiés

Modélisation statistique

- La contribution relative des facteurs environnementaux est estimée à l'aide d'un modèle statistique de croissance (logistique, trois paramètres) décrit par Paine *et al.* (2012) dans lequel différentes hypothèses biologiques sont testées (Table 1)
- Le modèle est défini tel que :

$$\frac{1}{B} \frac{dB}{dt} = r \left(1 - \frac{B}{K}\right)$$

où B est la biomasse foliaire, r est le taux de croissance maximum et K correspond à l'asymptote horizontale supérieure

Dont l'équation discrète peut s'écrire : $\ln\left(\frac{B_{t+1}}{B_t}\right) \approx r - \frac{r}{K} B_t$

Que l'on peut écrire : $y_{s,t} = \ln\left(\frac{B_{t+1}}{B_t}\right) = \ln(B_{t+1}) - \ln(B_t)$

Et qui peut être relié à B_t à travers $y_{s,t} = r_{s,t} - bB_{s,t} + \varepsilon_t$ avec $\varepsilon_t = N(0, \sigma^2)$

Avec r tel que $r_{s,t} = r_0 + c_1 L_{tot} + c_2 V_{2,t,s}$ où :
 r_0 est le taux de croissance maximum
 $V_{2,t,s}$ la variable testée
 c_i les coefficients de régression

Groupe	Variable V2	Hypothèses
Climat	Température moyenne : $T_{mean(t,s)}$	Impact des températures?
Dessiccation	Temps d'immersion moyen : $I_{time(t,s)}$	Impact de la dessiccation?
Hydrodynamique	Vitesse des courants (Q75) : $V_{75(t,s)}$	Impact des courants ou des vagues?
	Indice d'exposition aux vagues : $REI_{75(t,s)}$	
Hydrologie	Temps de renouvellement océanique : $F_{sea(t,s)}$	Impact des eaux océaniques ou des rivières?
	Impact des rivières : $F_{riv(t,s)}$	
Sédiment	Taille médiane des grains : $D_{50(t,s,r)}$	Impact des caractéristiques sédimentaires ?
	Teneur en matière organique : $OM_{sed(t,s,r)}$	
Végétation	Surface végétalisée : $V_{area(t,s)}$	Impact de la fragmentation de l'herbier?

Table 1 : Les différentes hypothèses biologiques testées

Résultats et discussion

Aperçu des résultats de mesure

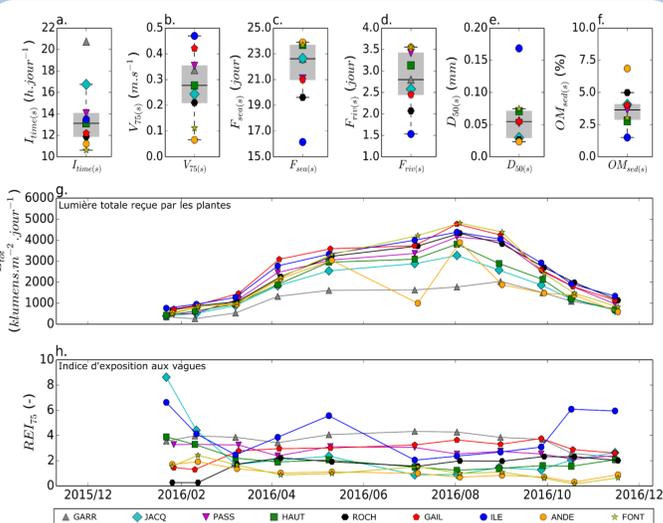


Fig. 3 : Présentation des principaux paramètres environnementaux mesurés

→ Importante variabilité des paramètres environnementaux entre les sites

Coefficients de régression du modèle

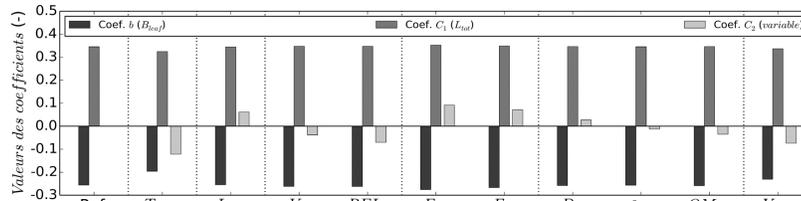


Fig. 4 : Valeurs des coefficients de régression obtenus pour chacun des paramètres environnementaux testés.

- Les coefficients b (biomasse foliaire) et C_1 (lumière totale) restent relativement constants quelque soit la modalité testée
- Les variables T_{mean} , V_{area} et ρ_{dry} ont un impact négatif sur la croissance ($C_2 < 0$) tandis que F_{sea} , F_{riv} , I_{time} et D_{50} ont un impact positif ($C_2 > 0$)

Estimation de la qualité des prédictions du modèle pour l'ensemble des sites

- La prise en compte de variables hydrologiques ou hydrodynamiques dans le modèle améliore (AIC et BIC plus faibles) les prédictions par rapport au modèle ne prenant en compte que la lumière (Ref.)
- Pour les autres variables testées, les prédictions obtenues sont moins bonnes (AIC et BIC plus élevés) que celles obtenues avec le modèle n'utilisant que la lumière (Ref.)

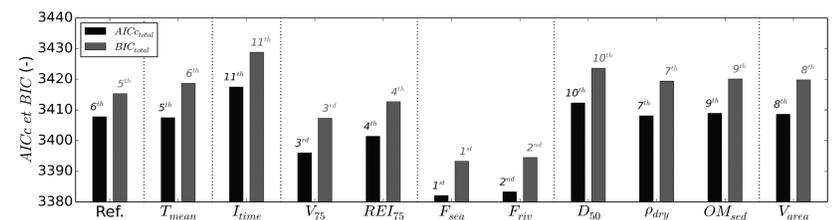


Fig. 5 : Critères d'information d'Akaike et Bayésien obtenus par comparaison entre les prédictions du modèle et les mesures de biomasse sur l'ensemble des sites. Les chiffres placés au-dessus des barres indiquent le classement des modalités testées

Prédictions du modèle : contributions relatives des paramètres pour chaque site

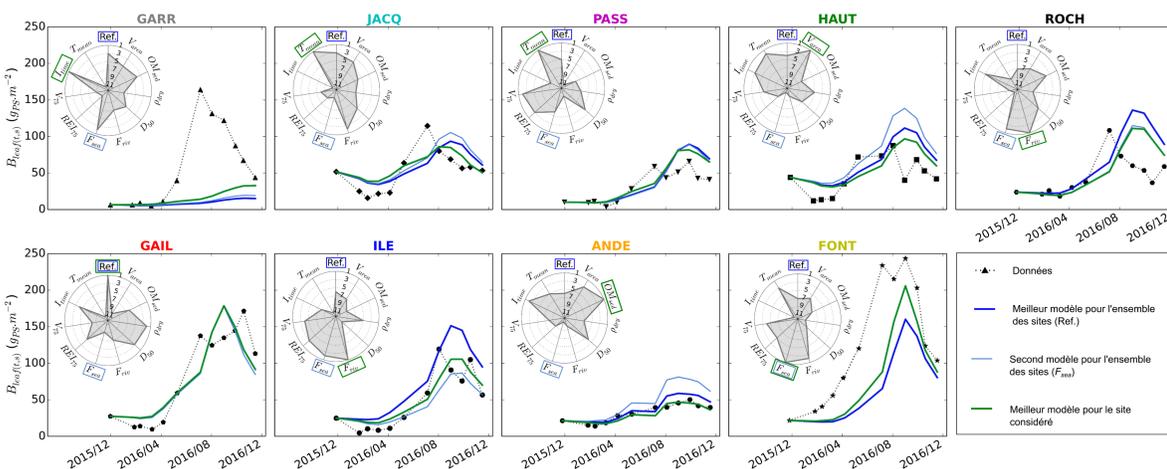


Fig. 6 : Biomasses mesurées et prédites par le modèle pour chacun des sites et représentation radar de l'impact relatif des paramètres environnementaux testés

- Les différents sites ne répondent pas aux paramètres de la même manière :
 - La meilleure prédiction pour GAIL est obtenue en utilisant la lumière seule
 - Les variables hydrologiques améliorent les prédictions pour ROCH, ILE et FONT
 - Les variables hydrodynamiques améliorent la prédiction pour ILE
 - T_{mean} est la variable qui permet de mieux prédire les sites JACQ et PASS

- Les sites GARR et FONT, qui sont les sites extrêmes en terme d'hypsométrie, présentent les prédictions les plus mauvaises (sous-estimation)
- Quelque soit la variable testée, GARR est toujours largement sous-estimé par le modèle. Bien que ce site profond reçoive peu de lumière, les biomasses mesurées sont élevées : une adaptation des plantes à ces conditions est suspectée. En effet, on observe des relations inverses entre teneur en chlorophylle et quantité de lumière reçue (ensemble des sites) et entre longueur de feuilles et quantité de lumière (sites situés sous le niveau marin moyen).

Conclusions et perspectives

Ces résultats montrent une importante variabilité de la dynamique saisonnière de *Z. noltei* dans le bassin d'Arcachon. Le modèle statistique de croissance permet de mettre en évidence, qu'outre la lumière, l'hydrologie et l'hydrodynamique contrôlent globalement la croissance de cette espèce. Il s'avère cependant, qu'à une échelle locale, d'autres facteurs peuvent prédominer (température, teneur en matière organique des sédiments, ...). Enfin, certains résultats suggèrent une adaptation possible aux faibles conditions d'éclairement (mauvaise prédiction par le modèle, teneurs en chlorophylle et longueurs de pieds inversement proportionnelles à la quantité de lumière). D'autres analyses (marqueurs génétiques de stress, typologie de l'évolution spatiale des herbiers, modélisation numérique) sont en cours afin de mieux comprendre les interactions entre les herbiers et leur environnement dans le Bassin d'Arcachon.

References: Auby I., Bost C.A., Budzinski H., Belles A., Trut G., Plus M., Péré C., Couzi L., Feigné C. and Steinmetz J. (2011). Régression des herbiers de zostères dans le Bassin d'Arcachon : état des lieux et recherche des causes. *Rapport d'étude Ifremer*, 155 pp. + Annexes. Paine, C., Matthews, T.R., Vogt, D.R., Purves, D., Rees, M., Hector, A. & Turnbull, L.A. (2012). How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 245-256. Plus M., Dalloyau S., Trut G., Auby I., de Montaudouin X., Emery E., Noël C. and Viala C. (2010). Long-term evolution (1988-2008) of *Zostera* spp. Meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 87, 357-366.

Remerciements : Cette étude a été menée avec le support financier de l'Ifremer et de l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) dans le cadre du Programme pour les Investissements d'Avenir du Laboratoire d'Excellence (LabEx) COTE (ANR-10-LABX-45).