

## Thèse en océanographie côtière : modélisation couplée écologie et environnement physique

<b>Titre</b>	<b>Modélisation de la dynamique régionale des herbiers sous l'effet du changement climatique et des pressions anthropiques avec une approche hybride</b>
<b>Structure d'accueil</b>	<b>IFREMER Département ODE (Océanographie et Dynamique des Écosystèmes), Unité DYNECO (DYNamiques des Ecosystèmes COTiers), Laboratoire DHYSED (Dynamique HYdro-SEDimentaire) &amp; Laboratoire LEBCO (Laboratoire d'Ecologie Benthique COTière)</b>
<b>Localisation</b>	<b>IFREMER Centre Ifremer Bretagne, Plouzané Université de Queensland, Brisbane (Australie)</b>
<b>Ecole doctorale</b>	<b>Ecole Doctorale des Sciences de la Mer et du Littoral (EDSML)</b>
<b>Directeur de thèse</b>	<b>Romarc Verney</b>
<b>Co-encadrants</b>	<b>Héloïse Muller, Paul Wu, Martin Marzloff</b>
<b>Contact</b>	<b>heloise.muller@ifremer.fr</b>

### L'Institut et la structure d'accueil

- Présentation de l'Institut

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, l'Ifremer contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et littoral et au développement durable des activités maritimes. L'Ifremer est source de connaissances, d'innovation, de données de surveillance et d'expertise pour le monde de la mer, à la fois en matière de politique publique et d'activité socio-économique. Il est la seule structure de ce type en Europe.

Fondé en 1984, l'Ifremer est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et du ministère de la Transition écologique et solidaire.

- Présentation de la structure d'accueil

Le doctorant sera principalement accueilli au sein du laboratoire DHYSED de l'unité DYNECO de l'Ifremer. Il interagira également fortement avec le laboratoire LEBCO de la même unité.

L'objectif de l'unité DYNECO est d'étudier la réponse des écosystèmes côtiers à un certain nombre de pressions anthropiques et naturelles. L'approche générale repose sur l'analyse des processus physiques et biogéochimiques moteurs de l'écosystème et sur la mise en œuvre d'une démarche

intégratrice basée sur l'expérimentation, l'observation in situ et la modélisation. Ses axes de recherche portent sur : i) les flux de matières dans le continuum homme-terre-mers côtières, ii) les dynamiques spatiales et temporelles des interactions Homme-Habitats-Biodiversité et iii) les méthodes pour l'analyse des écosystèmes en croisant observation, expérimentation et modélisation.

Au sein de l'unité DYNECO :

- le laboratoire DHYSED étudie les processus hydro-sédimentaires en interaction avec le biotope et les activités anthropiques à différentes échelles spatiales (i.e. des façades métropolitaines aux estuaires) et temporelles (de la marée au pluri décennal).
- Le laboratoire LEBCO s'intéresse à la diversité et au fonctionnement des écosystèmes marins côtiers et plus particulièrement aux réponses des espèces et des communautés face aux pressions naturelles et anthropiques

Au cours de ce travail, le doctorant sera également accueilli au Data Sciences Centre de Queensland University of Technology à Brisbane (Australie). Ce centre s'intéresse à la compréhension des systèmes environnementaux naturels via le développement d'outils numériques et de méthodes statistiques pour l'écologie et la gestion des espaces naturels.

## Résumé de la thèse.

La régression mondiale des herbiers est préoccupante, car comme d'autres espèces dites ingénieuses (ex: coraux), ils forment des habitats côtiers d'importance écologique majeure. Plusieurs initiatives de conservation, allant de l'échelle locale à l'échelle mondiale, ont été mises en œuvre depuis trente ans dans l'objectif d'enrayer le recul de ces écosystèmes. Dans ce contexte, prédire la dynamique des herbiers (croissance, extension, régression) en fonction des perturbations naturelles et anthropiques impactant leur environnement physico-chimique dans un contexte de changement climatique est essentiel pour anticiper et améliorer l'efficacité des mesures de conservation. Cependant, cette dynamique est complexe à appréhender du fait de rétroactions multiples entre dynamique écologique et hydrodynamique sédimentaire. Si la modélisation représente un outil unique pour comprendre ces dynamiques complexes, combiner modèles écologique et hydro-sédimentaire dans le contexte d'une application concrète à un écosystème régional associé à l'herbier demeure un défi à la fois conceptuel et méthodologique. Cette thèse s'inscrit dans cet objectif et a pour but de comprendre et simuler la dynamique long terme de ces habitats remarquables en développant une approche hybride de modélisation couplant un modèle côtier d'hydrodynamique sédimentaire et des réseaux bayésiens dynamique décrivant la dynamique des herbiers.

## Contexte

Les herbiers forment des habitats côtiers de grande valeur écologique et patrimoniale car ils jouent le rôle d'espèces ingénieurs abritant une biodiversité riche, contribuent à la qualité de l'eau ainsi qu'à la protection des côtes contre l'érosion, les tempêtes et les inondations et participent au piégeage du carbone (Programme des Nations unies pour l'environnement 2020). Ils sont en déclin depuis près d'un siècle avec une perte mondiale annuelle estimée à 7% (Programme des Nations Unies pour l'Environnement 2020). La France est également très touchée par ce déclin. Dans le bassin d'Arcachon, la surface totale des herbiers de zostère a considérablement diminué entre 1988 et 2008 : de 33 % pour *Z. noltei* et de 72 % pour *Z. marina*, respectivement (Plus et al., 2010). Les causes d'un tel déclin ne sont pas bien connues mais les facteurs suspectés sont l'eutrophisation, les pesticides, la turbidité, les maladies et le réchauffement climatique. Dans le bassin d'Arcachon, la régression des herbiers

pourrait avoir été initiée par les effets combinés des périodes de canicule et des herbicides. De plus, des travaux récents ont identifié que la résilience des herbiers à ces facteurs de stress est largement conditionnée par une rétroaction complexe entre l'hydrodynamique, la concentration de particules en suspension et l'étendue des herbiers (Ganthy 2017, Cognat et al., 2018a, et 2018b).

Par conséquent, les herbiers sont classés comme espèces sentinelles car ils indiquent clairement les changements environnementaux marins à l'échelle locale, régionale et mondiale. Ainsi, ils sont considérés comme un indicateur de la qualité de la masse d'eau dans la Directive Cadre sur l'Eau. De plus, ils font l'objet de plusieurs initiatives de conservation (Directive Habitat Flore Faune, Convention OSPAR,...) et de projets de recherche dont le but est de concevoir des outils qui aideront à prévenir leur dégradation. La compréhension limitée de la dynamique des herbiers dans le cadre d'une approche écosystémique intégrée motive le développement de modèles efficaces pour comprendre les moteurs du déclin local des herbiers.

Deux approches de modélisation complémentaires sont développées en Australie par la Queensland University of Technology (QUT) et en France par l'Ifremer : un modèle probabiliste basé sur les données et l'expertise (Wu et al., 2017) et un modèle déterministe basé sur les processus (Plus et al., 2003, 2010 ; Ganthy et al., 2013 ; Kombiadou et al., 2014) respectivement. L'Ifremer a une forte expérience dans la modélisation de la dynamique des herbiers en utilisant des approches déterministes qui capturent les processus clés et les interactions entre les différents compartiments (hydrodynamique, dynamique sédimentaire, cycles bio-géochimiques et croissance des herbiers). Cependant, même si ces approches sont très précises car elles tiennent compte explicitement d'un certain nombre de processus détaillés, elles ont un coût de calcul élevé et sont spécifiques au site géographique. QUT et Edith Cowan University (ECU) ont collaboré pour développer un réseau bayésien dynamique (DBN) à partir d'observations et de dire-d'expert, pour décrire la résilience des herbiers à l'échelle d'une prairie, sous l'effet de différentes conditions de dragage.

Le projet de thèse proposé bénéficiera de la collaboration de recherche initiée entre QUT et Ifremer en janvier 2019 pour développer un modèle de dynamique des herbiers à partir d'une approche hybride basée sur la combinaison des approches de modélisation des deux instituts. Ce modèle hybride permettra de simuler l'étendue et la biomasse des herbiers marins à long terme dans un contexte de changement global.

## Objectifs

L'objectif de cette thèse est d'évaluer et d'anticiper l'évolution et la résilience des herbiers marins en réponse au changement global et aux scénarios de conservation/restauration, en se basant sur le développement d'une stratégie de modélisation hybride innovante. Cela implique de comprendre le fonctionnement de l'écosystème associé à l'herbier dans son ensemble : à travers les échelles (individuelle, patch, locale, régionale, globale) et à travers les dimensions (physique, écologique, économique, sociale/culturelle, gestion) (Melbourne-Thomas et al., 2017). L'hybridation entre le modèle hydro-sédimentaire basé sur les processus MARS-MUSTANG 3D développé à l'Ifremer et le DBN de résilience des herbiers développé par QUT et ECU permettra de paramétrer les interactions entre les herbiers et leur environnement multi-dimensions. Il permettra d'étendre considérablement notre capacité à simuler des scénarios d'évolution spatio-temporelle des herbiers (biomasse et distribution spatiale) sur des périodes à long terme (horizon 2100), en relation avec des facteurs de stress anthropiques et naturels. Les impacts des scénarios du GIEC (augmentation de la température et élévation du niveau de la mer), des scénarios des réalités locales (issus de l'analyse des données du projet ARCADE) et des actions comme la replantation des herbiers pourront être analysés par cette

approche de modélisation hybride. Le bassin d'Arcachon sera le site pilote en raison de la disponibilité d'une base de données étendue (données physiques telles que les courants, la température, la lumière et les données biologiques relatives aux herbiers). Il bénéficie également d'une configuration de modèle hydrodynamique validée et calibrée.

### Intérêts scientifiques

L'originalité du travail consiste en l'élaboration d'un modèle hybride couplant des approches basées sur des processus, des données, des statistiques et du dire-d'expert. Cette méthode permettra de modéliser des processus partiellement résolus ou même inconnus et également de faire des prédictions à long terme. En effet, nous ne sommes pas en mesure de paramétrer tous les processus décrivant un écosystème et les modèles déterministes basés sur les processus sont rapidement limités par le temps de calcul. Le couplage de ces approches fournira également l'écart-type associé aux variables caractérisant les herbiers comme l'étendue, la biomasse, etc... De plus, la structure du DBN permettra d'intégrer facilement des mesures de gestion et de modéliser leur impact sur l'ensemble de l'écosystème. Un des résultats les plus importants de ce travail sera la disponibilité d'un outil efficace d'aide à la décision.

### Partenariat

Le projet sera un partenariat entre IFREMER/DYNECO DHYSED et LEBCO, le LERAR Arcachon, QUT et ECU. Le co-encadrement avec QUT impliquera un séjour d'au moins 10 mois pour le doctorant afin d'adapter le DBN au bassin d'Arcachon et de convertir les sorties du DBN en entrée pour MARS3D MUSTANG et vice versa avec Paul Wu.

### Références

**Cognat M., Auby I., Rigouin L., Sottolichio A., Ganthy F., (2018a).** Spatio-temporal analysis of co-evolution between seagrass beds distribution and hydro-morphological changes in Arcachon Bay (France). XVIth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay, ISOBAY 16, 5-7 June 2018, Anglet, France.

**Cognat M., Ganthy F., Auby I., Barraquand F., Rigouin L., Sottolichio A., (2018b).** Environmental factors controlling biomass development of seagrass meadows of *Zostera noltei* after a drastic decline (Arcachon Bay, France). *Journal of Sea Research*, 140:87-104.

**Gamain P., Feurtet-Mazel A., Maury-Brachet R., Auby I., Pierron F., Belles A., Budzinski H., Daffe G., Gonzalez P., (2018).** Can pesticides, copper and seasonal water temperature explain the seagrass *Zostera noltei* decline in the Arcachon Bay? *Marine Pollution Bulletin*, 134:66-74.

**Ganthy F., (2017).** Modification de l'asymétrie tidale en réponse à la régression des herbiers de zostères dans le Bassin d'Arcachon. *EVOLECO – Evolutions à Long terme des Ecosystèmes Côtiers ; Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés*, 5-7 Décembre 2017, Campus de l'Université de Bordeaux, France.

**Kombiadou K., Ganthy F., Verney R., Plus M., Sottolichio A., (2014).** Modelling the effects of *Zostera noltei* meadows on sediment dynamics: application to the Arcachon lagoon. *Ocean Dynamics*, 64:1499-1516.

Melbourne-Thomas J., Constable A. J., Fulton E. A., Corney S. P., Trebilco R., Hobday A.J., Blanchard J.L., Boschetti F., Bustamante R.H., Cropp R., Everett J.D., Fleming A., Galton-Fenzi B., Goldsworthy S.D., Lenton A., Lara-Lopez A., Little R., Marzloff M.P., Matear R., Mongin M., Plagányi R., Proctor R., Risbey J.S., Robson B.J., Smith D.C., Sumner M.D., van Putten E.I. (2017), Integrated modelling to support decision-making for marine social-ecological systems in Australia, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 74, Issue 9, November/December 2017, Pages 2298–2308, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx078>

**Plus M., Dalloyau S., Trut G., Auby I., de Montaudouin X., Emery E., 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*, 87:357-366.



**Wu P P-Y., Mengersen K., McMahon K., Kendrick G A., Chartrand K., York P H., Rasheed M A., Caley J., (2017).** Timing anthropogenic stressors to mitigate their impact on marine ecosystem resilience. *Nature Communications*, 8, Article number 1263.