

Thèse en Océanographie

Approche écosystémique des EMR : apport des forçages physiques haute-résolution dans la modélisation des réseaux trophiques

Localisation : UMR CNRS 6143 Morphodynamique Continentale et Côtière, Université de Caen Normandie

Directeur de thèse : Jean-Philippe PEZY, Chargé de Recherche CNRS (HDR), Responsable du groupe Benthos de l'UMR M2C. E-Mail : jean-philippe.pezy@unicaen.fr / Tél : 06 23 80 68 21

Co-directeur de thèse : Anne- Claire BENNIS (HDR), Professeure des Universités, Université de Caen Normandie. E-Mail : anne-claire.bennis@unicaen.fr / Tél : 06 63 60 71 33

Co-encadrante de thèse : Aurore RAOUX, Ingénieure de Recherche, Université de Caen Normandie. E-Mail : aurore.raoux@unicaen.fr / Tél : 06 49 66 38 64

Mots-clés : Éolien en mer, Mer de la Manche, Écosystèmes, Sédiments grossiers, Réseau trophique, Modélisation numérique

Contexte de l'étude :

La Manche, mer épicontinentale à forte marée, est un environnement marin soumis à nombreuses activités anthropiques historiques : pêche, dragages portuaires, dépôts de sédiments, extractions de granulats. Actuellement, avec le défi climatique, de nouvelles énergies renouvelables sont présentes en Manche avec le développement de parcs éoliens posés. Parmi les six parcs éoliens (1 construit, 3 en cours de construction, 2 en projet), le site de Dieppe-Le Tréport a fait l'objet de suivis environnementaux avant construction sur l'ensemble des compartiments biologiques. En effet, en 2022, a été mis en place une approche écosystémique sur deux saisons (hiver et été) afin de caractériser la structure et le fonctionnement de cet écosystème particulier. Les compartiments biologiques (du phytoplancton aux tops prédateurs (oiseaux et mammifères marins) ont été collectés au niveau de différentes stations sur ces deux habitats afin d'étudier leur variations spatio-temporelles. En addition, des prélèvements isotopiques ont été réalisés sur l'ensemble de ces compartiments biologiques. Ce site a la particularité d'être localisé au niveau de deux habitats sédimentaires distincts, les sédiments grossiers et les sables, avec la présence de dunes sous-marines de courant sur ces deux habitats.

L'objectif de la thèse porte sur la compréhension de la structure et du fonctionnement de cet écosystème avant la construction du parc éolien afin de définir un état initial ou non perturbé. La première partie de la thèse concernera l'utilisation successive de trois outils de la suite logicielle *Ecopath with Ecosim*, en libre accès, qui est largement utilisée par la communauté scientifique et qui a été reconnu par l'Administration Nationale Océanique et Atmosphérique des États-Unis (NOAA) comme l'une des dix plus grandes percées scientifiques de ses 200 ans d'histoire. Le module *Ecopath* donne une image instantanée des flux formant le réseau trophique. Le module *Ecosim* est un module dynamique qui peut prendre en compte la variabilité des facteurs par l'intégration de séries temporelles (Walters et al. 1997). Ce dernier peut servir de base au développement d'un modèle spatialisé, appelé ECOSPACE (Christensen & Walters 2004, Christensen et al. 2014) qui permet de projeter la dynamique du modèle *Ecosim* sur une grille à deux dimensions composées de cellules homogènes de taille égales. En effet, le modèle *Ecospace* intègre des ensembles de biomasses liées par des flux trophiques, distribuées sur une grille et ayant la capacité de se déplacer entre les cellules du domaine spatial (Christensen et al., 2008). Ainsi ce modèle contiendra un réseau trophique

(estimation de tous les flux de matière entre les groupes d'espèces de même comportement trophique, mêmes proies et mêmes prédateurs) dans chaque cellule de la grille spatiale couvrant la zone d'étude.

La construction du modèle ECOSPACE permettra d'analyser la réponse de l'écosystème face à différents scénarios de gestion à travers la mise en place de différentes mesures spatiales et temporelles en prenant en compte les interactions trophiques.

Pour ce faire, le doctorant devra s'attacher aux trois objectifs suivants :

- **Objectif 1** : construction d'un modèle *Ecopath* (non spatialisé, non dynamique) de l'ensemble de la zone d'étude intégrant toutes les données acquises sur les différents compartiments au cours de cette étude.
- **Objectif 2** : construction d'un modèle *Ecosim* (non spatialisé, dynamique) de la zone d'étude. Toutes les séries temporelles de la zone d'étude seront utilisées pour cela, aussi bien celle concernant les compartiments phytoplanctonique, benthique, suprabenthique, halieutique que celles concernant les compartiments oiseaux et mammifères marins.
- **Objectif 3** : construction d'un modèle *Ecospace* (spatialisé, dynamique) de la zone d'étude prenant en compte les deux habitats sédimentaires. Ce modèle reposera sur les cartographies de la zone d'étude qui existent pour les différents compartiments biologiques.
- **Objectif 4** : évaluation de l'impact de la courantologie et de la température/salinité à différentes échelles spatio-temporelles sur la dynamique du réseau trophique, en utilisant une approche multi-échelles et de couplage de modèles numériques. Pour cela, le modèle ECOSPACE sera forcé par les courants calculés par un modèle hydrodynamique régional forcé par le vent, la marée et les vagues (e.g. CROCO ou MARS3D) à différentes résolutions spatiales (échelle intra-parc et échelle du parc). Les effets hydrodynamiques (sur la colonne d'eau et le fond) des fondations éoliennes seront pris en compte dans le modèle hydrodynamique à l'aide d'une paramétrisation sous-maille développée initialement par Rivier et al., 2016 et leurs impacts sur le réseau trophique pourront être ainsi évalués. L'évolution temporelle de la température/salinité calculée par le modèle hydrodynamique pourra également être intégrée au modèle ECOSPACE afin de caractériser son influence sur le réseau trophique et mettre en évidence les effets saisonniers de la stratification. Les deux échelles (intra-parc et parc) nous permettront de discriminer les effets locaux afin de mieux les prendre ensuite en compte dans les simulations de plus grande emprise.

La structure et le fonctionnement de l'écosystème modélisés seront étudiés à l'aide d'indices écologiques qui permettront de caractériser le fonctionnement de ces écosystèmes et notamment les liens indirects entre les différents compartiments de l'écosystème (Ulanowicz, 2004). Ces indices font partie de ce qu'on nomme l'analyse des réseaux écologiques (ENA).

En fonction de de l'avancement de l'étudiant(e), la construction d'un modèle d'Analyse Inverse Linéaire en Monte Carlo Markov Chain (Niquil et al., 2012 ; Saint-Béat et al., 2013) avec intégration des données isotopiques pourrait être envisagée afin de préciser l'intervalle autour du pourcentage pour lequel une proie participe au régime alimentaire d'un prédateur.

Références:

- Christensen, V., Coll, M., Steenbeek, J., Buszowski, J., Chagaris, D., Walters, C.J. 2014. Representing variable habitat quality in a spatial food web model. *Ecosystem*. 17, 1397-1412.
- Christensen, V., Walters, C.J., Pauly, D., Forrest, R., 2008. *Ecopath with Ecosim version 6 User Guide*. Lensfest Ocean Futures Project. 235 pp.
- Christensen, V., Walters, C.J., 2004. *Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations*. *Ecol. Model.* 172, 109-139.
- Niquil, N., Chaumillon, E., Johnson, G. a., Bertin, X., Grami, B., David, V., Bacher, C., Asmus, H., Baird, D., Asmus, R., 2012. The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: Comparison across estuarine ecosystems. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 108, 132-143
- Saint-Béat, B., Vézina, A.F, Asmus, R., Asmus, H., Niquil, N. 2013. The mean function provides robustness to linear inverse modelling flow estimation in food webs: A comparison of functions derived from statistics and ecological theories. *Ecol. Model.* 258: 53-64.
- Ulanowicz, R.E., 2004. Quantitative methods for ecological network analysis. *Comput. Biol. Chem.* 28, 321-339.
- Walters, C., Christensen, V., Pauly, D., 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish Biol. Fish.* 7, 139–172.

Date limite de candidature : Lundi 05 août 2024 à 12h00

Informations Générales :

Lieu de travail : Université de Caen (laboratoire M2C)
Type de contrat : CDD
Durée du contrat : 3 ans
Date d'embauche prévue : novembre 2024 (selon validation de l'ANRT)
Quotité de travail : Temps complet
Rémunération : 2200 (brut)
Niveau d'études : Bac+5

Profil et compétences recherchées

- Connaissance en modélisation des réseaux trophiques et modélisations numériques
- Connaissance en bio-analyse
- Intérêt pour l'océanographie
- Capacité à travailler en équipe et, plus particulièrement dans un milieu pluridisciplinaire.
- Autonomie, initiative, capacité d'organisation, bon esprit d'analyse et de synthèse.
- Bon niveau d'anglais (lu, parlé et écrit).
- Maîtrise des techniques de présentation écrite et orale.

Merci d'envoyer votre candidature (CV, références d'au moins deux personnes pouvant éclairer le jury sur votre candidature ainsi qu'une lettre de motivation) avant le lundi 05 août 2024 à 12h00:

Jean-Philippe PEZY, 24 rue des Tilleuls, F-14000 Caen

Mobile: 33 (0)6 23 80 68 21

E-mail : jean-philippe.pezy@unicaen.fr

Mettre en copie : anne-clairee.bennis@unicaen.fr ; aurore.raoux@unicaen.fr

Une audition des candidatures sera réalisée (en présentiel ou en visio) du 07 au 09 août 2024.

PhD in Oceanography

Ecosystem approach to Marine Renewable Energy: Contribution of High-Resolution Physical Forcings in Trophic Network Modeling.

Localisation : UMR CNRS 6143 Morphodynamique Continentale et Côtière, Université de Caen Normandie

Supervisor : Jean-Philippe PEZY, Chargé de Recherche CNRS (HDR), Responsable du groupe Benthos de l'UMR M2C. E-Mail : jean-philippe.pezy@unicaen.fr / Tél : 06 23 80 68 21

Co-supervisor : Anne- Claire BENNIS (HDR), Professeure des Universités, Université de Caen Normandie. E-Mail : anne-claire.bennis@unicaen.fr / Tél : 06 63 60 71 33

Co-supervisor : Aurore RAOUX, Ingénieure de Recherche, Université de Caen Normandie. E-Mail : aurore.raoux@unicaen.fr / Tél : 06 49 66 38 64

Key words: Offshore Wind Farm, English Channel, Ecosystems, Coarse Sediments, Trophic Network, Numerical Modeling

Context:

The English Channel, a continental shelf sea with strong tides, is subject to numerous historical human activities: fishing, port dredging, sediment deposits, and aggregate extraction. Currently, with the climate challenge, new renewable energies are present in the English Channel with the development of fixed offshore wind farms. Among the six wind farms (1 built, 3 under construction, 2 planned), the Dieppe-Le Tréport site underwent environmental monitoring before construction across all biological compartments. This site is unique in being located on two distinct sedimentary habitats, coarse sediments and sands, with the presence of current-driven underwater dunes on both habitats. In 2022, an ecosystem-based approach was implemented over two seasons to characterize the structure and functioning of this particular ecosystem. Biological compartments (from phytoplankton to Top predators (marine mammals and seabirds) were collected at different stations on the two habitats to study their spatiotemporal variations. In addition, isotopic samples were taken from all these biological compartments.

The aim of the PhD is to understand the structure and functioning of this ecosystem before the construction of the wind farm to define an initial or undisturbed state. The first part of the thesis will involve the successive use of three tools from the Ecopath with Ecosim software suite, which is open-source software widely used by the scientific community. It has been recognized by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of the United States as one of the ten greatest scientific breakthroughs in its 200-year history. The Ecopath module provides an instantaneous snapshot of the flows within the trophic network. The Ecosim module is a dynamic module that can account for variability by integrating time series (Walters et al., 1997). The latter can serve as the basis for developing a spatial model called ECOSPACE (Christensen & Walters, 2004, Christensen et al., 2014), which projects the dynamics of the Ecosim model onto a two-dimensional grid composed of homogeneous cells of equal size. Indeed, the Ecospace model integrates biomass sets linked by trophic flows, distributed on a grid and capable of moving between cells in the spatial domain (Christensen et al., 2008). Thus, this model will contain a trophic network (estimation of all material flows between

groups of species with the same trophic behavior, same prey, and same predators) in each cell of the spatial grid covering the study area.

The construction of the ECOSPACE model will allow for analyzing the ecosystem's response to various management scenarios through the implementation of different spatial and temporal measures, taking into account trophic interactions.

Building the Ecospace model will allow for the analysis of the ecosystem's response to different management scenarios through the implementation of various spatial and temporal measures, considering trophic interactions.

To achieve this, the doctoral student will need to focus on the following tasks:

- **Task 1:** Construct a non-spatial, non-dynamic Ecopath model of the entire study area integrating all data acquired on the different compartments during this study.
- **Task 2:** Build a non-spatial, dynamic Ecosim model of the study area. All-time series data from the study area will be used, including those related to phytoplankton, benthic, suprabenthic, fish, marine mammals and birds compartments.
- **Task 3:** Develop a spatial, dynamic Ecospace model of the study area considering the two sedimentary habitats. This model will be based on existing mappings of the study area for the different biological compartments.
- **Task 4:** Evaluation of the impact of ocean currents and temperature/salinity at different spatio-temporal scales on the dynamics of the trophic network, using a multi-scale approach and coupling of numerical models. For this purpose, the ECOSPACE model will be driven by currents calculated by a regional hydrodynamic model forced by wind, tides, and waves (e.g. CROCO or MARS3D) at various spatial resolutions (intra-park scale and park scale). The hydrodynamic effects of offshore wind turbines will be considered in the hydrodynamic model using a sub-grid parameterization initially developed by Rivier et al., 2016, and their impacts on the trophic network can thus be evaluated. The temporal evolution of temperature/salinity calculated by the hydrodynamic model can also be integrated into the ECOSPACE model to characterize its influence on the trophic network and highlight seasonal effects of stratification. The two scales (intra-park and park) will allow us to discriminate local effects in order to better consider them in larger-scale simulations

The ecosystem structure and functioning will be studied using the Ecological Network Analysis indices also called ENA (Ulanowicz, 2004).

Depending on the student's progress, the construction of a Linear Inverse Analysis model using Monte Carlo Markov Chain (Niquil et al., 2012; Saint-Béat et al., 2013) with integration of isotopic data could be considered to quantify the uncertainty around each trophic flow.

References:

- Christensen, V., Coll, M., Steenbeek, J., Buszowski, J., Chagaris, D., Walters, C.J. 2014. Representing variable habitat quality in a spatial food web model. *Ecosystem*. 17, 1397-1412.
- Christensen, V., Walters, C.J., Pauly, D., Forrest, R., 2008. *Ecopath with Ecosim version 6 User Guide*. Lensfest Ocean Futures Project. 235 pp.
- Christensen, V., Walters, C.J., 2004. *Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations*. *Ecol. Model.* 172, 109-139.
- Niquil, N., Chaumillon, E., Johnson, G. a., Bertin, X., Grami, B., David, V., Bacher, C., Asmus, H., Baird, D., Asmus, R., 2012. The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: Comparison across estuarine ecosystems. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 108, 132-143
- Saint-Béat, B., Vézina, A.F, Asmus, R., Asmus, H., Niquil, N. 2013. The mean function provides robustness to linear inverse modelling flow estimation in food webs: A comparison of functions derived from statistics and ecological theories. *Ecol. Model.* 258: 53-64.
- Ulanowicz, R.E., 2004. Quantitative methods for ecological network analysis. *Comput. Biol. Chem.* 28, 321-339.
- Walters, C., Christensen, V., Pauly, D., 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish Biol. Fish.* 7, 139–172.

Application Deadline : Monday 05 August 2024 at 12h00

General informations

Workplace : University of Caen (M2C laboratory)

Contract Period : 3 years

Expected date of employment : **November 2024 (according to ANRT validation)**

Proportion of work : Full time

Remuneration : **2200 euros (raw)**

Level of education : Master 2

Profile and skills

- Knowledge in trophic network modeling and numerical modeling
- Knowledge in bio-analysis
- Interest in oceanography
- Ability to work in a team, especially in a multidisciplinary environment.
- Autonomy, initiative, organizational skills, good analytical and synthesis skills.
- Good level of English (reading, speaking, and writing).
- Good written and oral communication skills

Please send your application (CV, references from at least two individuals who can provide insight to the jury about your application, and a cover letter) before Monday 05 August 2024 at 12h00:

Jean-Philippe PEZY, 24 rue des Tilleuls, F-14000 Caen

Mobile: 33 (0)6 23 80 68 21

E-mail : jean-philippe.pezy@unicaen.fr

To copy : anne-claire.bennis@unicaen.fr ; aurore.raoux@unicaen.fr

Candidate interviews will be conducted (in person or via video conference) from 07 to 09 August 2024.