



UNIVERSITÉ  
CAEN  
NORMANDIE



## Proposition de sujet de stage de Master 2, 2022/2023

**Titre/Title :** Modélisation de l'effet des éoliennes offshore de Belgique sur le réseau trophique / Modelling the effect of Belgian offshore wind farms on the food web.

**Mots-Clefs :** écosystèmes marins, analyse inverse linéaire, fonctionnement du réseau trophique, analyse de sensibilité / **Keywords:** marine ecosystems, linear inverse modelling, food web functioning, sensitivity analysis

### 1) Encadrement et laboratoire d'accueil du stage / supervision and host laboratory :

#### Responsable du stage / main advisor :

Nom, prénom : Niquil, Nathalie

Grade : DR CNRS / senior scientist in CNRS

Adresse UMR 7208 BOREA Université de Caen,

Tel : 0(33)2 31 56 58 85

E-Mail : [nathalie.niquil@unicaen.fr](mailto:nathalie.niquil@unicaen.fr)

*Le stage sera basée à Caen (UMR BOREA avec passages réguliers à l'UMR LMNO) avec des missions à Bruxelles (Royal Belgian Institute of Natural Sciences) / The internship will be based in Caen (UMR BOREA with regular visits to the UMR LMNO) with assignments in Brussels (Royal Belgian Institute of Natural Sciences).*

**Co-encadrement / co-advisors :** Théo Grente (LMNO), Valérie Girardin (LMNO) et Steven Degraer (Royal Belgian Institute of Natural Sciences)

Merci d'envoyer vos CV et lettre de motivation à Nathalie Niquil ([nathalie.niquil@unicaen.fr](mailto:nathalie.niquil@unicaen.fr)) dès que possible. La sélection sera arrêtée dès que nous aurons reçu une candidature qui nous plaît. /

Please send a CV and letter of motivation to Nathalie Niquil ([nathalie.niquil@unicaen.fr](mailto:nathalie.niquil@unicaen.fr)) as soon as possible. The choice will be made as soon as a good candidate is found.

### 2) Profil de formation initiale souhaitée pour le candidat / Initial training profile desired for the candidate :

Ecologie, analyse numérique et/ou modélisation, programmation sous R / Ecology, numerical analysis and/or modelling, programming in R.

### 3) Dates de début et fin de stage/ starting and finishing dates : à définir avec l'étudiant / to be defined with the student

### 4) Support financier / funding : Le projet s'inscrit dans le cadre du projet Nestore (voir présentation ci-dessous) qui apportera un financement pour les déplacements. Un ordinateur de laboratoire sera disponible pour le stagiaire / The project is part of the Nestore project (see presentation bellow) that will bring funding for travelling. A laptop will be available for the trainee.

### 5) Descriptif du sujet de stage / description of the internship topic

#### Contexte

La gestion durable du milieu marin suppose de ne pas dépasser sa capacité de charge par les actions humaines sur les écosystèmes. Or, la multiplication des activités et des projets en mer augmente les impacts cumulés sur le milieu marin, ce qui a progressivement conduit les autorités européennes à produire un ensemble d'outils juridiques pour assurer un bon état écologique (UE 2008) et un cadre pour la planification de l'espace maritime (UE 2014) des eaux européennes.

L'adaptation des outils de modélisation trophique au contexte des parcs éoliens offshore (OWF) (i.e. modèle Ecopath de Courseulles-sur-mer, Raoux et al. 2017) a commencé avec le projet TROPHIK (ANR) qui a développé un modèle spatialisé (i.e. modèle Ecospace de la Baie de Seine étendue, Halouani et al. 2020) pour évaluer de nouveaux scénarios de gestion à plus grande échelle qu'une seule ferme éolienne. Le couplage des modèles trophiques et des modèles de niche écologique a été réalisé afin de simuler des scénarios combinés de changement climatique, d'effet récif et d'effet réserve (Ben Rais Lasram et al. 2020, Halouani et al. 2020, Bourdaud et al. 2021, Noguès et al. 2021). Ce projet a été suivi par différents projets développant des approches numériques de l'effet du développement des OWF sur les écosystèmes et les socio-éco-systèmes. Mais ce qui manque aujourd'hui est un outil numérique pour développer des modèles couplant les flux du réseau trophique et l'hydrodynamique à une échelle fine afin de décrire les échanges au sein des OWFs.

Le stage s'inscrit dans le cadre du projet NESTORE : NESTed modeling approach for ORE (offshore renewable energies) development and cumulative impact assessment considering local to regional environmental and socio-economic stakes. Ce projet vise à aider le secteur des énergies renouvelables à long terme à faire face aux obligations légales prévues en matière d'évaluation des impacts cumulatifs en produisant un ensemble d'outils adaptés. Ces derniers devraient informer sur l'état de conservation des enjeux environnementaux et socio-économiques locaux et régionaux majeurs du développement des énergies marines.

/

Sustainable management of marine environment presupposes not exceeding its carrying capacity by human actions on ecosystems. However, the multiplication of activities and projects at sea increases the cumulative impacts on the marine environment which has progressively led the European authorities to produce a set of legal tools to ensure a Good Environmental Status (EU 2008) and a framework for the Maritime Spatial Planning (EU 2014) of European waters.

The adaptation of trophic modeling tools to the OWF (offshore wind farms) context (i.e. Ecopath model of Courseulles-sur-mer, Raoux et al. 2017) started with the project TROPHIK (ANR) that developed a spatialised model (i.e. Ecospace model of the extended Bay of Seine, Halouani et al. 2020) to assess new management scenarios at larger scale than only one OWF. Coupling trophic models and Ecological Niche Models was conducted in order to simulate combined scenarios of climate change, reef effect and reserve effect (Ben Rais Lasram et al. 2020, Halouani et al. 2020, Bourdaud et al. 2021, Noguès et al. 2021). This project was followed by different projects developing numerical approaches of the effect of OWF development on ecosystems and socio-eco-systems. But what is missing today is a numerical tool to develop models coupling food web flows and hydrodynamics at a fine scale in order to describe the exchanges within OWFs.

The internship will be part of the NESTORE project : NESTed modeling approach for ORE development and cumulative impact assessment considering local to regional environmental and socio-economic stakes. This project aims to support the ORE sector in the long term in coping with foreseen legal obligations of conducting cumulative impacts assessment by producing an adapted set of tools. The latest should inform about the conservation status of local to regional environmental and socio-economic major stakes with ORE development.

## **Objectifs du stage de M2**

### **Développer un modèle linéaire inverse avant/après la construction de parcs éoliens offshore dans les eaux belges pour étudier les impacts cumulés sur le fonctionnement des écosystèmes.**

Le principal avantage de la méthode Linear Inverse Modelling - Monte Carlo Markov Chain LIM-MCMC (Van Oevelen et al 2010) est 1) la possibilité de caractériser très précisément les flux microbiens et 2) le fait que les contraintes définies sont optimisées par une approche MCMC qui donne des intervalles de confiance des flux. Le principal inconvénient de cette méthode est le temps de calcul très long qui limite son utilisation dans une grille spatiale ou avec des compartiments trophiques détaillés et donc nombreux. C'est pourquoi la première priorité de NESTORE sera de tester de nouveaux algorithmes permettant de gagner du temps de calcul. Un algorithme alternatif est actuellement testé par l'Université de Caen. Sur la base de l'ensemble des données établies par le suivi de l'OWF dans la partie belge de la mer du Nord au cours des 13 dernières années (Degraer et al., 2019, 2020, 2021), l'objectif du stage sera d'établir deux modèles LIM précis de l'OWF belge, avant la construction et après 10 ans (après stabilisation des communautés). Le nouvel algorithme pour remplacer le LIM-MCMC sera testé avec l'aide du postdoc qui développe le nouvel algorithme (Théo Grente).

L'OWF belge est décrit très précisément avec des données de terrain. Le suivi enregistré depuis les années précédant la construction de l'OWF jusqu'à aujourd'hui (c'est-à-dire pendant 13 ans) concerne 1) les données sur les

changements physiques des courants et les processus de sédimentation 2) la biomasse de toutes les espèces principales dans l'eau, sur les sédiments et sur les turbines et dans l'air (oiseaux) et 3) les processus dans le réseau alimentaire en utilisant par exemple des analyses d'isotopes stables. Un tel ensemble complet de données permettra de réaliser une analyse de sensibilité des données. L'ensemble des données sera utilisé pour construire les modèles de flux avant et après construction du parc éolien belge. Ensuite, le même calcul sera effectué en ne considérant qu'une partie des données de sortie. Pour ce faire, une dégradation systématique sera effectuée en croisant les entrées associées supprimées. L'analyse des résultats sera quantitative, afin de déterminer le niveau d'information nécessaire pour un niveau d'incertitude acceptable. A partir de cette analyse quantitative, une courbe de réponse de la largeur de l'intervalle de confiance à la quantité de données disponibles sera construite. Elle sera également qualitative, en recherchant le type de données le plus sensible. Ensuite, nous tirerons de cette étude de cas des recommandations pour le futur suivi des OWF en France, par exemple : les données d'enquête collationnées lors des études d'impact sont-elles suffisantes pour obtenir des scénarios de projection suffisamment robustes prévus pour la gestion ? Devrions-nous ajouter un échantillonnage pour capturer le processus en plus de la biomasse (par exemple, des informations sur le régime alimentaire telles que l'analyse des isotopes stables) ? Comment peut-on être sûr de limiter les incertitudes des interactions trophiques pour des espèces particulières telles que les espèces protégées ?

/

### **Develop a Linear Inverse Model before/after the building of offshore wind farms in belgian waters to study the cumulative impacts on ecosystem functioning.**

The main advantage of the Linear Inverse Modelling – Monte Carlo Markov Chain LIM-MCMC (Van Oevelen et al 2010) is 1) the possibility to characterize very precisely microbial flows and 2) the fact that the constraints defined are optimized using a MCMC approach that gives confidence intervals of the flows. The main drawback of this method is the very long calculation time which limits its use in a spatial grid or with detailed and hence numerous trophic compartments. This is why the first priority of NESTORE will be to test new algorithms to gain calculation time. One alternative algorithm is currently tested by the University of Caen. Based on the data set established through the monitoring of the OWF in the Belgium part of the North Sea in the last 13 years (Degraer et al., 2019, 2020, 2021), the objective of the trainee will be to establish two precise LIM models of the Belgian OWF, before the building and after 10 years (after stabilization of the communities). The new algorithm to replace the LIM-MCMC will be tested with the help of the postdoc developing the new algorithm (Théo Grente).

The Belgian OWF is very precisely described with field data. The monitoring recorded from the years before the OWF building to now (i.e. during 13 years) concern 1) Data on physical changes of currents and sedimentation processes 2) Biomass of all the main species within the water, on the sediment and on the turbines and in the air (birds) and 3) Processes within the food web through e. g. using stable isotopes analyses. Such a complete data set will allow to conduct a sensitivity analysis of the data. The complete data set will be used to build the before and after OWF flow models of the Belgian OWF. Then the same calculation will be done considering only a portion of the output data. To do so, a systematic degradation will be carried out crossing the associated inputs suppressed. The analysis of the results will be quantitative, to determine the level of information needed for an acceptable level of uncertainty. From this quantitative analysis, a response curve of the confidence interval width to the quantity of available data will be built. It will be also qualitative, looking for the most sensitive type of data. Then we will derive recommendations from this case study for the future monitoring of the OWF in France, e.g. is the survey data collated during environmental studies sufficient to obtain sufficiently robust projection scenarios foreseen for management? Should we add sampling to capture process in addition to biomass (e.g. diet information such as stable isotope analysis)? How can we be sure to limit the uncertainties of the trophic interactions for particular species such as protected species?

### **Références bibliographiques**

Ben Rais Lasram et al. 2020. An open-source framework to model present and future marine species distributions at local scale. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101130>

Bourdaud et al. 2021. Impacts of climate change on the Bay of Seine ecosystem: Forcing a spatio-temporal trophic model with predictions from an ecological niche model. *Fisheries Oceanography*. 30:471-489. <https://doi.org/10.1111/fog.12531>

EU 2008. Directive 2008/56/ EC of the European parliament and of the Council of 17June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (marine strategy framework directive). Off. J. Eur. Com L164, 19e4

EU 2014 Directive 2014/89/ EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning. Off. J. Eur. Com L257

Halouani et al. 2020. A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103434>

Halouani et al. 2020. A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103434>

Nogues et al. 2021. Cumulative effects of marine renewable energy and climate change on ecosystem properties: Sensitivity of ecological network analysis. *Ecological Indicators*. 121: 107-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107128>

Nogues et al. 2022. Spatialized ecological network analysis for ecosystem-based management: effects of climate change, marine renewable energy, and fishing on ecosystem functioning in the Bay of Seine. *ICES Journal of Marine Science*. 0:1-15. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac026>

Raoux et al. 2017. Benthic and fish aggregation inside an offshore wind farm: Which effects on the trophic web functioning? <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.037>

Van Oevelen et al. 2010. Quantifying Food Web Flows Using Linear Inverse Models. *Ecosystems* 13 (février): 32-45. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9297-6>.