

Diagnostic de l'efficacité des politiques de planification spatiale maritime mises en œuvre en Manche-est en termes de fonctionnalités halieutiques dans le contexte de l'implantation d'une nouvelle activité, les EMR: Approche intégrée par la modélisation trophique des communautés

La planification spatiale maritime, mise en œuvre dans le cadre de la directive européenne du même nom, doit permettre de définir les enjeux associés à une zone d'activité pour garantir le bon usage du territoire maritime et préserver l'intégrité des écosystèmes marins. Cette directive, ainsi que la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) et la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), sont déclinées localement dans le Document Stratégique de Façade (DSF). Y sont explicités les résultats de gestion attendus en termes d'objectifs environnementaux associés aux impacts des différents usages et pour atteindre le Bon Etat Ecologique des écosystèmes marins.

La baie de Seine et l'estuaire de Seine représentent l'un des espaces les plus anthropisés au monde : l'intensité et la diversité des activités associées à cette zone géographique et au bassin versant de la Seine représentent 30% de la population française, 40% de l'industrie nationale et génèrent ¼ des bénéfices associés à l'agriculture française (AESN, 2019). La baie de Seine abrite également des zones dédiées à la protection des habitats marins (ZPS, ZSC, Natura 2000 en mer) et certaines zones sont interdites à la navigation pour des raisons de sécurité. Dans ce contexte de pressions multiples, l'accent est aujourd'hui mis sur la compréhension des interactions existantes au sein des écosystèmes marins. Ces interactions peuvent être comprises au sens physique (comment se cumulent les effets de différentes activités sur les écosystèmes ?) et au sens biologique (quels sont les impacts des différentes activités sur les écosystèmes, les espèces et/ou les individus ?). Cette distinction entre « effets » et « impacts » est essentielle en termes de planification spatiale des activités et en termes de préservation des fonctionnalités des écosystèmes, introduisant la notion de résilience.

L'estuaire de Seine et la baie de Seine orientale représentent un habitat privilégié dans le cycle de vie de nombreuses espèces d'intérêt halieutique de l'espace Manche-est, pour lesquelles elle assure la fonction de nurserie (Riou et al., 2001). L'efficacité de la fonction de nurserie est déterminée à la fois par la qualité de l'habitat et par la quantité d'habitat disponible, en affectant directement la condition des juvéniles de poissons et leur capacité de survie jusqu'à la première reproduction (Beck et al., 2001). Les apports exogènes ont historiquement générés d'importantes perturbations des cycles bio-chimiques de l'estuaire (Meybeck et al., 2018). Ces intrants réduisent la qualité des habitats de nurserie, générant des phénomènes d'hypoxie et se bio-accumulent dans les tissus des poissons (Burgeot et al., 2017). Les modifications physiques apportées à l'estuaire pour les besoins du développement portuaire ont générés une perte massive des surfaces de vase intertidale (Cuvilliez et al., 2009), qui représentent des zones de protection et d'alimentation pour les juvéniles et ont entraîné une chute de la capacité de nurserie estimée à 42% (Rochette et al., 2010). En raison de son importance écologique, l'estuaire de Seine fait aujourd'hui l'objet de programmes de recherche dont les résultats doivent permettre d'en améliorer la gestion¹. La compréhension des mécanismes qui sous-tendent l'efficacité de la fonction de nurserie et la restauration de cette fonction sont parmi les objectifs identifiés des programmes en cours.

¹ <https://www.seine-aval.fr/publication/sa6/>

En parallèle des problématiques estuariennes, la baie de Seine est aujourd'hui l'un des sites privilégié du développement éolien en mer. Cette nouvelle activité représente une contrainte supplémentaire dans l'usage de l'espace maritime et vient s'ajouter aux usages historiques de la zone que sont la pêche, le trafic maritime, les activités d'entretien des chenaux de navigation (dragage et clapage), la conchyliculture et les extractions de granulats marins à destination du secteur du BTP (Dauvin et al., 2020). Afin d'anticiper les effets des énergies marines renouvelables (EMR) sur les écosystèmes marins, la baie de Seine a bénéficié des développements méthodologiques réalisés en modélisation trophique ; Ce type d'outil fournit un cadre d'analyse intégrateur, propice à la prise en compte de multiples pressions (Araignous et al., 2019). Développés pour les besoins de la gestion écosystémique des pêches, les modèles trophiques Ecopath-Ecosim-Ecospace (Gascuel et al., 2016; Pauly et al., 2000) sont utilisés pour diagnostiquer l'état écologique des écosystèmes marins (Bourdaud et al., 2016; Lynam et al., 2016). Dans le cadre du projet TROPHIK (ANR-FEM 2017-2020), le modèle Ecospace existant à l'échelle de la baie de Seine élargie a été optimisé pour affiner la prise en compte des paramètres environnementaux déterminants la distribution des espèces (e.g. hydrodynamisme, niche écologique). Cette stratégie a permis de générer des scénarios d'évolution de l'équilibre trophique de la zone dans le contexte du changement climatique (Araignous et al., 2019; Niquil et al., 2020), de poser un diagnostic sur les effets d'un parc éolien sur les communautés de la baie de Seine et de considérer les effets d'un tel parc conjointement aux effets d'autres activités anthropiques (Raoux et al., 2017)(Niquil et al., 2020).

A l'échelle internationale, les retours d'expérience sur l'impact des champs éoliens en mer identifient les principaux effets des éoliennes en mer comme les atteintes au fond marin (introduction de substrat dur, modifications liées à la mise en place des câbles), le bruit et les vibrations (travaux de mise en place et de maintenance, fonctionnement), et les champs électromagnétiques générés par les câbles en fonctionnement (Methratta, 2020). Dans les modèles trophiques écosystémiques, seuls les effets associés aux modifications de la nature du substrat peuvent être pris en compte sous forme de changement des abondances des espèces et/ou groupes d'espèces associés. Localement, les résultats obtenus à l'aide des scénarios de modélisation développés pour le parc éolien posé de Courseulles-sur-mer identifient un possible effet réserve associé à un effet récif, lié à l'introduction de substrat dur favorable à l'implantation de bivalves (Raoux et al., 2017). Pour les communautés halieutiques, les modèles prédisent une augmentation des biomasses d'un poisson de niveau trophique moyen caractéristique de la zone, le tacaud (*Trisopterus luscus*) et l'attraction potentielle de prédateurs supérieurs (Raoux et al., 2017, 2016). Ces résultats s'appuient sur l'analyse de l'évolution des fonctionnalités du système trophique (Fath et al., 2007) du parc lui-même à partir d'indicateurs donnés tels que le recyclage, l'omnivorie, le niveau trophique moyen, etc...

Néanmoins, les modèles existants n'intègrent pas les habitats essentiels au renouvellement des espèces que sont les nourriceries. Les travaux en cours en baie de Vilaine et en baie de Seine s'attachent à relier la dynamique des juvéniles des populations de poissons à la production benthique *via* des marqueurs trophiques (Rigolet et al., 2015). Des modèles complexes de type EwE ont également montré la complexité du fonctionnement de ces zones de transition entre les milieux estuariens et côtiers (Tecchio et al., 2016, 2015). Dans le cadre de l'approche écosystémique des pêches, et avec en gardant en tête l'importance des nourriceries de l'estuaire de Seine et de la baie de Seine orientale pour les ressources halieutiques, il est essentiel de développer des outils de diagnostic qui prennent en compte les interactions entre l'estuaire de Seine et la baie de Seine orientale, et qui intègrent l'ensemble des pressions s'exerçant sur l'écosystème marin. Cela nécessite d'utiliser un cadre d'analyse pouvant s'ajuster aux différents types de pressions et à leur répercussion en termes d'impact pour les communautés halieutiques.

Dans l'optique de poursuivre la compréhension des mécanismes reliant la dynamique des stocks de pêche à celle des juvéniles et celle des phénomènes d'impacts cumulés associés aux différentes pressions anthropiques, ce projet de thèse a pour objectif de coupler les modèles EwE existants sur les nourriceries de l'estuaire et de la baie de Seine orientale avec ceux existants à l'échelle de la baie de Seine élargie. Cette étape aboutie, le travail s'intéressera directement au diagnostic de l'efficacité des schémas de gestion existants à l'aide de méthodes de type DPSIR, qui permettent d'établir les sources de pressions, leurs impacts potentiels. La consultation des acteurs permettra, sur la base des schémas identifiés par ces méthodes, d'établir différents scénarii de gestion, puis d'en analyser les conséquences en termes de fonctionnement écologique de l'espace étudié. Les résultats obtenus devront permettre de fournir des scénarios pour la planification spatiale maritime des activités anthropiques en mer, en particulier concernant les EMR et la pêche.

Données disponibles

Pour permettre d'étudier l'évolution de l'écosystème, des programmes de suivi des différents compartiments biologiques et bio-chimiques de l'écosystème estuarien et marin sont mis en œuvre. Ils constituent des bases de données importantes qui couvrent la qualité des eaux, les successions phytoplanctoniques, les habitats benthiques et les ressources halieutiques. Une large partie des données disponibles ont été intégrées dans les modèles EwE et Ecospace existants. Cependant, des améliorations sont envisageables en intégrant plus précisément le microphytobenthos et les vasières intertidales par exemple, moteurs essentiels du fonctionnement trophique de l'estuaire.

La généralisation des moyens d'observation à haute fréquence ou à large échelle géographique, respectivement via les observatoires en mer et les satellites, augmente également les capacités de diagnostic des scientifiques sur les liens existants entre les paramètres physico-chimiques de l'environnement marin et les communautés biologiques. En synthétisant ces informations grâce à l'analyse multi-variée, il est possible de définir des patterns d'occupation des zones de nourriceries par les espèces et des patterns structurants l'espace baie de Seine en termes physico-chimique.

Projets de rattachement du sujet de thèse

Le projet WindServ (AO 2019 ANR-FEM) applique une approche intégrée à l'évaluation des impacts cumulés dans le cadre du développement des EMR sur les différentes façades maritimes françaises, en généralisant l'approche développée dans le cadre du projet APPEAL (2018-2021, ANR-FEM) à l'ensemble des compartiments biologiques et physiques des écosystèmes marins. En Manche-est, ce projet s'appuie sur les résultats obtenus au cours de travaux antérieurs (projet TROPHIK, projet CHARM) et s'attache à poursuivre l'intégration dans un modèle EwE de différentes activités anthropiques et du changement global afin d'établir des scénarios d'évolution des écosystèmes marins vus par le spectre des relations trophiques.

Le projet H2020 Emfasis (soumis) poursuit ce même type d'approche à un niveau européen, en se focalisant sur la gestion écosystémique des pêches et en l'inscrivant dans un cadre transdisciplinaire. Différents outils de modélisation écosystémique seront utilisés (Princeton Ocean Model, ERSEM, MIZER, GADGET, EwE and ECOSPACE), avec pour objectif de garantir une meilleure intégration des acteurs dans les processus de planification des activités, de proposer un cadre analytique opérationnel pour la réduction des impacts anthropiques, et de développer des outils d'aide à la décision pour les ressources halieutiques et les habitats en s'appuyant sur les indicateurs de la DCSMM. Les travaux conduits généreront de nouvelles connaissances sur les habitats marins, les caractéristiques biologiques de ces habitats et des réseaux trophiques associés.

Approche méthodologique

- Modèles trophiques existants à l'échelle de la baie de Seine élargie et pour l'estuaire de Seine. Intégration du processus estuarien et du rôle de nourricerie.
- Planification spatiale maritime. Consultation des acteurs pour la co-construction de scénarii de gestion. Mise en perspectives des attentes du DSF et objectifs environnementaux de la DCSMM. Quels usages et quelles priorités ? Outils de gestion (i.e. Natura 2000) et réalité des mesures ERC ? Conséquences pour le fonctionnement trophique ?
- Outils de diagnostic : ENA, autres indicateurs à définir

Déroulé de la thèse

	Année	1		2		3		4	
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S1	Analyse de données relatives aux populations de juvéniles de l'estuaire de seine								
S1	prise en main de l'outil de modélisation et formation								
S1/S2	Article 1 : variabilité de la croissance et de la condition des juvéniles en estuaire de Seine, phénomènes densité dépendants et capacité trophique								
S2	définition des processus à intégrer selon la littérature et les objectifs								
S2/S3	Evolution du modèle Ecospace pour l'intégration des nourriceries (option 1 : structure en taille et régime alimentaire en fonction ; option 2 : le fractionnement spatial tel qu'identifié par Tecchio et al. ; collecte, mise en forme et intégration des données manquantes)								
S3	Poursuite de l'évolution de l'outil de modélisation : outils de diagnostic de l'intégration des processus spécifiques au fonctionnement de la nourricerie								
S3/S4	Article 2 : De l'intégration des processus estuariens soutenant la fonction de nourricerie dans un modèle trophique à plus grande échelle de temps et d'espace								
S4	Exploration de modèles SHS pouvant être intégré dans le cadre d'analyse Ecospace								
S4	Concertation avec les acteurs pour la définition de scénarii pour l'implantation des EMR en baie de Seine/Manche – identification d'un modèle SHS simple pouvant être intégré dans un cadre spatial								
S5	Création et ajout d'une couche d'information SHS dans Ecospace								
S5	Article 3 : des es politiques de gestion mise en œuvre en estuaire de Seine et baie de Seine : activités et perceptions – quel compromis pour la planification des activités ?								
S6	Réalisation de différents scénarios de gestion sous Ecospace avec une perspective historique : bilan de l'existant								
S6/7	Article 4: Diagnostic du fonctionnement trophique de l'écosystème Baie de Seine/Manche est selon différents scénarii d'implantation des champs EMR : de l'importance de la concertation et du transfert de connaissance								
S7	Rédaction d'un manuscrit de thèse,								
S8	Soutenance et finalisation des travaux								

Bibliographie

- AESN, 2019. Agence de l'Eau Seine Normandie - Rapport d'activité 2019. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Rouen.
- Araignous, E., Beaugrand, G., Ben Rais Lasram, F., Bourdaud, P., Champagnat, J., Dauvin, J.-C., Grangeré, K., Halouani, G., Haraldsson, M., Hattab, T., Le Loch, F., Leroy, B., Lejart, M., Niquil, N., Nogues, Q., Pagot, J.-P., Raoux, A., Safi, G., Villanueva, C.-M., 2019. Recommandations pour une approche écosystémique des aires d'implantation d'énergies marines renouvelables. Cas d'étude du parc éolien offshore de Courseulles-sur-mer.
- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F., Weinstein, M.P., 2001. The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *BioScience* 51, 633–641. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)
- Bourdaud, P., Gascuel, D., Bentorcha, A., Brind'Amour, A., 2016. New trophic indicators and target values for an ecosystem-based management of fisheries. *Ecol. Indic.* 61, 588–601. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.010>
- Burgeot, T., Akcha, F., Ménard, D., Robinson, C., Loizeau, V., Brach-Papa, C., Martínez-Gómez, C., Le Goff, J., Budzinski, H., Le Menach, K., Cachot, J., Minier, C., Broeg, K., Hylland, K., 2017. Integrated monitoring of chemicals and their effects on four sentinel species, *Limanda limanda*, *Platichthys flesus*, *Nucella lapillus* and *Mytilus* sp., in Seine Bay: A key step towards applying biological effects to monitoring. *Mar. Environ. Res.*, The ICON Project (the trans-European research project on field studies related to a large-scale sampling and monitoring 124, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.10.009>
- Cuvilliez, A., Deloffre, J., Lafite, R., Bessineton, C., 2009. Morphological responses of an estuarine intertidal mudflat to constructions since 1978 to 2005: The Seine estuary (France). *Geomorphology* 104, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.010>
- Dauvin, J.-C., Raoux, A., Pezy, J.-P., Baux, N., Niquil, N., 2020. The Bay of Seine: A Resilient Socio-Eco-System Under Cumulative Pressures, in: Ceccaldi, H.-J., Hénocque, Y., Komatsu, T., Prouzet, P., Sautour, B., Yoshida, J. (Eds.), *Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Global Changes*. Springer International Publishing, Cham, pp. 95–109. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43484-7_7
- Fath, B.D., Scharler, U.M., Ulanowicz, R.E., Hannon, B., 2007. Ecological network analysis: network construction. *Ecol. Model.*, Special Issue on Ecological Network Theory 208, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>
- Gascuel, D., Coll, M., Fox, C., Guénette, S., Guitton, J., Kenny, A., Knittweis, L., Nielsen, J.R., Piet, G., Raid, T., Travers-Trolet, M., Shephard, S., 2016. Fishing impact and environmental status in European seas: a diagnosis from stock assessments and ecosystem indicators. *Fish Fish.* 17, 31–55. <https://doi.org/10.1111/faf.12090>
- Lynam, C.P., Uusitalo, L., Patrício, J., Piroddi, C., Queirós, A.M., Teixeira, H., Rossberg, A.G., Sagarminaga, Y., Hyder, K., Niquil, N., Möllmann, C., Wilson, C., Chust, G., Galparsoro, I., Forster, R., Veríssimo, H., Tedesco, L., Revilla, M., Neville, S., 2016. Uses of Innovative Modeling Tools within the Implementation of the Marine Strategy Framework Directive. *Front. Mar. Sci.* 3. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00182>
- Methratta, E.T., 2020. Monitoring fisheries resources at offshore wind farms: BACI vs. BAG designs. *ICES J. Mar. Sci.* 77, 890–900. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa026>
- Meybeck, M., Lestel, L., Carré, C., Bouleau, G., Garnier, J., Mouchel, J.M., 2018. Trajectories of river chemical quality issues over the Longue Durée: the Seine River (1900S–2010). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 23468–23484. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7124-0>

- Niquil, N., Raoux, A., Haraldsson, M., Araignous, E., Halouani, G., Leroy, B., Safi, G., Noguès, Q., Grangeré, K., Dauvin, J.-C., Riera, F., Mazé, C., Le Loc'h, F., Ching Villanueva, M., Hattab, T., Bourdaud, P., Champagnat, J., Lasram, F.B.R., 2020. Toward an Ecosystem Approach of Marine Renewable Energy: The Case of the Offshore Wind Farm of Courseulles-sur-Mer in the Bay of Seine, in: Nguyen, K.D., Guillou, S., Gourbesville, P., Thiébot, J. (Eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water. Springer, Singapore, pp. 137–148. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2081-5_9
- Pauly, D., Christensen, V., Walters, C., 2000. Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 697–706. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0726>
- Raoux, A., Pezy, J.-P., Dauvin, J.-C., Tecchio, samuele, Degraer, S., Wilhelmsson, D., Niquil, N., 2016. Modelling impacts of offshore wind farms on trophic web: the Courseulles-sur-Mer case study. Presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts, p. 14432.
- Raoux, A., Tecchio, S., Pezy, J.-P., Lassalle, G., Degraer, S., Wilhelmsson, D., Cachera, M., Ernande, B., Le Guen, C., Haraldsson, M., Grangeré, K., Le Loc'h, F., Dauvin, J.-C., Niquil, N., 2017. Benthic and fish aggregation inside an offshore wind farm: Which effects on the trophic web functioning? *Ecol. Indic.* 72, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.037>
- Rigolet, C., Thiébaud, E., Brind'Amour, A., Dubois, S.F., 2015. Investigating isotopic functional indices to reveal changes in the structure and functioning of benthic communities. *Funct. Ecol.* 29, 1350–1360. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12444>
- Riou, P., Le Pape, O., Rogers, S.I., 2001. Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using generalized linear models and a geographic information system. *Aquat. Living Resour.* 14, 125–135. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(01\)01110-X](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(01)01110-X)
- Rochette, S., Rivot, E., Morin, J., Mackinson, S., Riou, P., Le Pape, O., 2010. Effect of nursery habitat degradation on flatfish population: Application to *Solea solea* in the Eastern Channel (Western Europe). *J. Sea Res., Proceedings of the Seventh International Symposium on Flatfish Ecology, Part I* 64, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2009.08.003>
- Tecchio, S., Chaalali, A., Raoux, A., Tous Rius, A., Lequesne, J., Girardin, V., Lassalle, G., Cachera, M., Riou, P., Lobry, J., Dauvin, J.-C., Niquil, N., 2016. Evaluating ecosystem-level anthropogenic impacts in a stressed transitional environment: The case of the Seine estuary. *Ecol. Indic.* 61, Part 2, 833–845. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.036>
- Tecchio, S., Rius, A.T., Dauvin, J.-C., Lobry, J., Lassalle, G., Morin, J., Bacq, N., Cachera, M., Chaalali, A., Villanueva, M.C., Niquil, N., 2015. The mosaic of habitats of the Seine estuary: Insights from food-web modelling and network analysis. *Ecol. Model.* 312, 91–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.05.026>