

Dynamiques spatiales et temporelles des forçages climatiques et anthropiques sur le fonctionnement trophique et la productivité des écosystèmes marins

Spatial and temporal dynamics of climatic and anthropogenic forcings on the trophic functioning and productivity of marine ecosystems

Mots clés : Modèles trophiques, Changement climatique, Halieutique, Gestion écosystémique des pêches, Mer Celtique

Keywords: *Trophic models, Climate change, Ecosystem-based fisheries management, Celtic Sea*

Premier porteur du sujet : Didier GASCUEL, didier.gascuel@agrocampus-ouest.fr, Pole halieutique, Agrocampus ouest, 65 route de Saint Brieuc, CS 84 215, 35 042 RENNES

Second porteur du sujet : Marie SAVINA-ROLLAND, marie.savina.rolland@ifremer.fr, et Marianne ROBERT, marianne.robert@ifremer.fr, IFREMER, Laboratoire de Biologie Halieutique, 8 rue François Toullec, 56100 Lorient, France

Discipline de recherche : SDV

Unité de recherche principale : UMR Inrae/Agrocampus Ouest Ecologie et santé des écosystèmes

Unité de recherche associée : IFREMER, Unité Sciences et Technologies Halieutiques (STH)

Financement : Acquis (100 %) – Contrat de recherche Agrocampus Ouest sur financement du projet européen BG10 Seawise

Contexte et objectifs scientifiques de la thèse

Dans les écosystèmes marins, l'environnement influe sur la productivité des espèces marines et sur leur distribution spatiale, ainsi par conséquent que sur la co-occurrence des proies et prédateurs. Les couplages entre productions benthiques et pélagiques jouent notamment un rôle clé pour déterminer la dynamique trophique du système et la productivité des espèces d'intérêt halieutique. En retour, les activités humaines, et en particulier la pêche, influent sur l'abondance des espèces, ainsi que sur la structure des réseaux trophiques.

Comprendre ces interactions entre forçages environnementaux et forçages anthropiques est une étape clé pour représenter le fonctionnement trophique des écosystèmes marins, identifier les effets actuels du changement climatique, et anticiper les effets à venir. C'est également, et de manière plus appliquée, un préalable à la mise en œuvre d'une approche écosystémique et adaptative de la gestion des pêches. La thèse vise ainsi un double objectif, de compréhension écologique et de recherche halieutique plus finalisée.

La thèse s'appuiera sur des approches de modélisation trophique, qui permettent tout à la fois d'évaluer l'impact de l'exploitation sur l'ensemble des compartiments de l'écosystème, et de mettre en évidence les effets de l'environnement (et en particulier du changement climatique) sur la dynamique du système et sur les pêcheries elles-mêmes. Le couplage entre modèles trophiques et modèles climatiques permet notamment d'analyser les changements passés (hindcast) pour comprendre les impacts en cours du changement climatique, et de faire des projections (forecast) pour

différents scénarios de changement climatique et de gestion des pêches. Cette approche vise en particulier à identifier des schémas de gestion qui favorisent la résilience de l'écosystème et l'adaptation des pêcheries.

La thèse utilisera le modèle Ecopath with Ecosim (EwE) qui est aujourd'hui le standard le plus utilisé, et qui inclut en réalité trois modèles :

- Le modèle (et logiciel) Ecopath (Polovina 1984, Christensen & Pauly 1992), qui représente le fonctionnement de l'écosystème étudié dans une situation dite d'état stable.
- Le modèle dynamique Ecosim (Walter et al. 1997), utilisé soit pour reproduire et analyser les évolutions passées, soit pour simuler des évolutions futures sous différentes hypothèses de changement des paramètres de l'exploitation ou de l'environnement.
- Le modèle spatialisé Ecospace, (Walter et al. 1999), qui permet d'étudier la distribution dans l'espace des différentes espèces ou groupes trophiques, et leur évolution au court du temps.

Au cours de travaux précédents, menés en partenariat entre Ifremer et l'Institut Agro, un modèle Ecopath with Ecosim and Ecospace a été développé pour la mer Celtique (Moullec et al. 2017, Hervann 2020, Hervann and Gascuel 2019, Hervann et al. 2020). Ce modèle couvre la période 1985-2016 et a été utilisé notamment pour analyser la dynamique passée de l'écosystème et les effets attendus du changement climatique sur les ressources et sur les pêcheries. Le modèle s'appuie sur un jeu de données extrêmement riche et sur des développements méthodologiques avancés, concernant notamment la prise en compte de données satellitales sur le plancton, le forçage de la distribution des espèces par des modèles de niche, ou le couplage avec les paramètres du changement climatique. La représentation de la pression de pêche dans le modèle est en cours d'amélioration, de manière à pouvoir analyser séparément les effets des différentes flottilles sur les populations exploitées et sur le fonctionnement du réseau trophique.

La mer Celtique constituera donc le cas d'étude pris en compte dans la thèse. C'est un écosystème bien documenté et une zone de pêche importante pour les pays de l'ouest de l'Europe. Des espèces pélagiques, le maquereau (*Scomber scombrus*) et le chinchard (*Trachurus trachurus*), des espèces démersales, le merlu (*Merluccius merluccius*), l'églefin (*Melanogrammus aeglefinus*), la baudroie (*Lophius piscatorius*), et la cardine (*Lepidorhombus whiffiagonis*), ainsi que la langoustine (*Nephrops norvegicus*) y sont exploitées par la France, l'Irlande, le Royaume Uni, la Belgique et l'Espagne (Martinez et al. 2013, Mateo et al. 2017).

L'objectif de la thèse est ainsi de comprendre (et représenter dans le modèle EwE de mer Celtique) les dynamiques spatiales et temporelle des forçages environnementaux et anthropique sur la dynamique trophique de l'écosystème. Il s'agit ainsi d'étudier la capacité de l'environnement à soutenir la productivité des espèces d'intérêt halieutique, selon différents scénarios de changement climatique et de gestion de pêche. Une telle approche passe par un développement du modèle, notamment pour mieux prendre en compte les couplages entre chaînes trophiques benthiques et pélagiques et pour intégrer la dynamique saisonnière de l'écosystème.

La thèse se déroulera dans le cadre du projet européen SEAWise financé par le programme européen H2020. Ce projet a pour ambition d'opérationnaliser l'approche écosystémique de la gestion des pêches, en particulier en développant des outils de modélisation adaptés. Le la doctorant.e participera ainsi aux groupes de travail et à la dynamique scientifique de ce projet.

Programme de travail

- La première partie de la thèse consistera à mettre à jour le modèle EwE existant et à produire une simulation de référence validée (key run) sur la période 1985-2020. De ce key run seront notamment extraits des séries temporelles de mortalité naturelle pour un ensemble de poissons commerciaux qui pourront être testés dans les modèles d'évaluation. Dans cet objectif, il sera nécessaire de recalibrer le modèle après un ensemble d'améliorations :
 - Homogénéiser les forçages environnementaux utilisés pour les simulations en hindcast (simulations historiques) et forecast (scénarios prospectifs). Plusieurs modèles biogéochimiques pourront être envisagés, mais le modèle POLSCOM-ERSEM présente l'avantage de produire des séries spatio-temporelles de production primaire et secondaires pélagiques mais aussi benthiques (Copernicus Climate Change Service, 2020). Ce changement de forçage nécessitera d'adapter la définition des groupes fonctionnels de manière à ce qu'ils coïncident avec les groupes du modèle biogéochimique.
 - Affiner la description des stades de vie des espèces commerciales par l'utilisation des *multistanza* permettant en particulier d'estimer des mortalités naturelles par classes d'âge et de mieux représenter la sélectivité de la pression de pêche.

- Une deuxième partie de thèse visera à développer le modèle Ecospace dynamique, en spatialisant l'ensemble des informations, et notamment les données de captures et d'effort de pêche. On étudiera ici l'impact du changement climatique sur la productivité des espèces commerciales de la Mer Celtique. Des scénarios d'évolution des productions primaires et secondaires, pélagiques et benthiques, issues du modèle couplé climat/biogéochimique POLCOSM-ERSEM permettront de forcer le modèle Ecospace. On analysera ainsi les conséquences de différents scénarios climatiques (RCP4.5 et RCP8.5) sur le fonctionnement trophique de l'écosystème. Ces scénarios environnementaux seront combinés avec des scénarios d'évolution de la pression de pêche (statu quo des captures ou des mortalités par pêche, gestion au RMD...). Le modèle spatialisé sera également utilisé pour simuler des scénarios de gestion spatialisée, et pour étudier les effets combinés (cumulées, antagonistes) de la pêche et du climat à fine échelle spatiale. Cette partie doit déboucher sur l'identifier de schémas d'adaptation de la gestion des pêches au changement climatique.

- La troisième partie de la thèse portera sur l'importance de la saisonnalité dans les réponses de l'écosystème au changement global. Le modèle sera développé sur une base mensuelle (forçage saisonnier de la production primaire et de la pêche), avec l'objectif d'en améliorer le réalisme en se rapprochant du fonctionnement réel de l'écosystème. Cette approche sera utilisée pour analyser le couplage entre les chaînes de production benthique et pélagique et identifier les périodes et/ou zones où la productivité joue un rôle limitant. Cette partie s'intéressera ainsi à des questions écologiques plus théoriques, en analysant les fonctions de contrôle entre proies et prédateurs, leur évolution spatio-saisonnière, et la manière dont elles pourraient être modifiées par le changement climatique.

Profil souhaité, calendrier et contacts

Le.la candidat.e devra posséder de solides connaissances en écologie théorique notamment trophique et en écologie quantitative. La thèse faisant appel à de l'analyse de données spatiales, temporelles et à diverses approches de modélisation, le.la candidat.e devra avoir une maîtrise avérée de l'analyse des données et une aisance en programmation (langage R) ainsi que de fortes aptitudes rédactionnelles.

Date clôture de réception des candidatures : selon calendrier Ecole doctorale des Sciences de la mer et du littoral (EDSML)

Recrutement : 1^{er} Octobre 2021

Organisation : La thèse se déroulera pour partie à Rennes et pour partie à Lorient. Elle inclut la participation à certains groupes de travail du projet européen SeaWise, ainsi possiblement qu'au groupe de travail WGSAM du CIEM. Sous réserve de financements, une mobilité internationale sera mise en place en cours de thèse.

Informations et contacts : didier.gascuel@agrocampus.fr, marie.savina.rolland@ifremer.fr, marianne.robert@ifremer.fr

Références

- Christensen V. & Pauly D. (1992) ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61, 169–185.
- Copernicus Climate Change Service. (2020). Marine biogeochemistry data for the Northwestern European shelf and Mediterranean Sea from 2006 up to 2100 derived from climate projections [Data set]. ECMWF. <https://doi.org/10.24381/CDS.DCC9295C>
- Hervann P-Y. (2020) Améliorer le réalisme écologique des modèles trophiques afin de mieux comprendre les impacts passés et présents de la pêche sur les écosystèmes marins et de prédire leur réponse future au changement climatique. Le cas d'étude de la Mer Celtique. Thèse Agrocampus Ouest. 267 pp + Annexes
- Hervann P.-Y., & Gascuel D. (2020) Exploring the impacts of fishing and environment on the Celtic Sea ecosystem since 1950. *Fisheries Research*, 225, 105472. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105472>
- Hervann P-Y., Gascuel D., Grüss A., Druon J-N., Kopp D., Perez I., Piroddi C., Robert T M. (2020) The Celtic Sea through time and space: ecosystem modeling to unravel fishing and climate change impacts on food-web structure and dynamics. *Frontiers in Marine Science* 7:578717. Doi: 10.3389/fmars.2020.578717
- Martinez I., Ellis JR., Scott B., Tidd A. (2013) The fish and fisheries of Jones Bank and the wider Celtic Sea. *Progress in Oceanography*, 117: 89-105.
- Mateo M., Pawlowski L., Robert M. (2017) Highly mixed fisheries: fine-scale spatial patterns in retained catches of French fisheries in the Celtic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 74: 91–101, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw129>
- Moullec F., Gascuel D., Bentorcha K., Guénette S., Robert M. (2017) Trophic models: What do we learn about Celtic Sea and Bay of Biscay ecosystems? *Journal of Marine Systems*, 172: 104–117.
- Polovina J.J. (1984) Model of a coral reef ecosystem. The ECOPATH model and its application to French Frigate Shoals. *Coral Reefs* 3: 1-11.
- Walters C., Christensen V., and Pauly D. (1997) Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7: 139–172. *Indicators under the Marine Strategy Framework Directive : from complexity to simplicity ? Ecological Indicators* 29, 246-254.
- Walters C., Pauly D. & Christensen V. (1999) Ecospace: prediction of mesoscale spatial patterns in trophic relationships of exploited ecosystems, with emphasis on the impacts of marine protected areas. *Ecosystems*, 2, 539–554.