

Titre

Étude du lien plancton-poisson dans les modèles écosystémiques. Application d'un modèle couplé bas/hauts niveaux trophiques structuré en taille au Golfe de Gascogne.

Encadrement :

Directeur de thèse : Thomas Gorgues, IRD, LOPS

Co-directeurs de thèse : Mathilde Cadier, IFREMER, ODE DYNECO PELAGOS
Martin Huret, IFREMER, RBE HALGO LBH

Laboratoire d'accueil : ODE/DYNECO/Pelagos

École doctorale : ED Sciences de la Mer et de Littoral (EDSML)

Contacts : thomas.gorgues@ird.fr
mathilde.cadier@ifremer.fr
martin.huret@ifremer.fr

Résumé :

Le compartiment planctonique constitue le maillon de base du fonctionnement des écosystèmes côtiers. En particulier, la structure et la dynamique de population des petits poissons pélagiques, qui se nourrissent principalement sur des proies (zoo)-planctoniques, dépendent fortement de la quantité et de la qualité des ressources disponibles et donc de la composition du mésozooplancton, lui-même dépendant de la densité et la nature de ses propres proies de plus petite taille (protistes). En réponse aux gradients environnementaux physiques, chimiques, biogéochimiques (effet 'bottom-up') et/ou biologiques (compétition pour la ressource, prédation et effet 'top-down'), les communautés planctoniques, généralement caractérisées par une importante diversité fonctionnelle, se structurent dans l'espace et dans le temps de manière complexe. Une manière d'étudier la structure et la dynamique de ces communautés et leur lien avec les échelons trophiques supérieurs est l'utilisation de la modélisation écosystémique. Dans ce domaine, nous constatons une opposition entre les modèles biogéochimiques centrés sur le compartiment (phyto-)planctonique pour lesquels le mésozooplancton sert de terme de fermeture et les modèles de poissons qui nécessitent une connaissance de la distribution et de la qualité des proies mais se contentent souvent de leur biomasse totale, avec une méconnaissance de la structure de leur population. L'objet de cette thèse est de faire le lien entre le compartiment planctonique et les petits poissons pélagiques en se focalisant sur le mésozooplancton, sa structure en taille et son cycle de vie. En se basant sur des modèles existants, le doctorant proposera une modélisation intégrée, structurée en taille, de la chaîne trophique complète, comprenant les protistes, le mésozooplancton et les petits poissons pélagiques (anchois, sardines). Le couplage entre les deux compartiments fera d'abord l'objet d'une étude en 0D avec un forçage environnemental simplifié puis une modélisation réaliste de la région

Golfe de Gascogne sera réalisée avec un couplage en direct plancton/poisson. La question importante de la rétroaction de l'activité de prédation des poissons sur la structure et la dynamique du mésozooplancton sera abordée. Le/la doctorant(e) bénéficiera d'interactions avec le consortium du projet MEDIATION auquel est rattaché le projet de thèse.

Mots clés : couplage plancton/poissons pélagiques, traits, modèle en classes de taille, mésozooplancton, ontogénie, interactions trophiques, modélisation régionale, Golfe de Gascogne

Contexte :

A l'échelle de l'océan global, les zones côtières constituent le réservoir principal de ressources marines exploitées et de biodiversité (Reygondeau, 2019). Elles sont en outre des régions océaniques privilégiées auxquelles pour les activités humaines elles contribuent directement ou indirectement en produisant des services écosystémiques et en participant de manière significative au fonctionnement global de la planète (Constanza, 1999). Cependant, la santé des écosystèmes côtiers est aujourd'hui menacée à la fois par le changement global et par l'évolution des pratiques humaines (pêche, utilisation des bassins versants, eutrophisation etc.). Afin de pouvoir prédire la trajectoire des écosystèmes sous l'effet de forçages multiples, et notamment dans un but de gestion des ressources biologiques, il est nécessaire de prendre en compte la totalité du socio-écosystème. Pour ce faire, la modélisation intégrée multi-compartiments constitue un outil intéressant mais est aujourd'hui confrontée à plusieurs verrous notamment associés à la diversité des modèles utilisés pour chacun des compartiments en jeu (hydrodynamique, biogéochimie, écologie du plancton, dynamique des poissons pélagiques, halieutique, sociosystème) et la question de leur interconnexion. Le projet MEDIATION vise à lever certains de ces verrous en construisant un outil numérique transversal prenant en compte différents compartiments qui pourra être appliqué en océan côtier (ici le Golfe de Gascogne) et servir de référence pour les gestionnaires afin notamment de pouvoir évaluer l'état de l'écosystème futur (50 prochaines années). Au sein de ce projet, le sujet de thèse proposé occupe une place centrale et va se focaliser sur le lien entre le compartiment planctonique et les petits poissons pélagiques. Pour le compartiment planctonique, un modèle de plancton basé sur les traits et structuré en taille, le modèle NUM (*'Nutrient-Unicellular-Multicellular'*) (Chakraborty *et al.*, 2017 ; Cadier *et al.*, 2020 ; Serra-Pompei *et al.*, 2020) sera utilisé. Ce modèle repose sur une approche mécaniste, qui permet de s'affranchir d'un grand nombre de groupes fonctionnels et de jeux de paramètres complexes et difficiles à quantifier en prenant en compte les processus à l'échelle de la cellule (pour les protistes; Andersen et Visser, 2022) ou de l'individu (pour les métazoaires; Serra-Pompei *et al.*, 2020). La composition et la structure des communautés planctoniques en termes de traits (taille, stratégies trophiques, mode de nutrition et dynamique de populations pour le mésozooplancton) sont des propriétés émergentes du

modèle NUM qui considère l'ensemble du spectre de taille du plancton (des bactéries au métazoaires).

En ce qui concerne les petits pélagiques, la thèse reposera sur un modèle DEB (Dynamic Energy Budget)-IBM (Individual Based Model) existant pour les anchois et les sardines. Ce modèle permet de connaître l'abondance, la biomasse et l'état énergétique des poissons en fonctions de leur dynamique de population (croissance, mortalité, recrutement et migration) (Bueno-Pardo *et al.*, 2020). Il a déjà été utilisé pour prédire et expliquer les patrons de distribution spatiaux et temporels des populations de petits poissons pélagiques et leur état physiologiques (modèle DEB) à différentes échelles (Huret *et al.*, 2010; Huret *et al.*, 2019). Pour cela, le modèle DEB-IBM est couplé à un modèle hydrodynamique et à un modèle biogéochimique lui fournissant le champs de nourriture des poissons. Le travail du doctorant sera de mettre en place une chaîne complète de modélisation fonctionnelle en permettant aux deux modèles présentés de fonctionner de manière couplée (modélisation '2-ways') afin d'améliorer le couplage entre les deux compartiments. Le modèle intégré constituera une plateforme de modélisation interdisciplinaire qui sera utilisable pour des simulations régionales (Golfe de Gascogne), à la fois historiques et futures, sur la base de scénarii de changements climatiques et d'activités humaines (pêches).

Objectifs scientifiques

Durant les vingt dernières années, il a été observé une diminution de l'abondance, de la taille et du poids des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne, associée à une modification de leur contenu énergétique et de leur état physiologique (Doray *et al.*, 2018). Dans le même temps, la distribution spatiale des sardines notamment a également été modifiée (Pettitgas *et al.*, 2020). Ces modifications des traits de l'anchois et de la sardine dans cette région pourraient être expliquées par des variations de la saisonnalité et de la structure des communautés de leurs proies (zooplancton; Gatti *et al.*, 2018). Ce travail de thèse représentera la première modélisation couplée plancton/petits pélagiques qui prend en compte la structure en taille et le cycle de vie (ontogénie) des proies. Il devrait donc permettre de combler un manque dans les modèles d'écosystème et le couplage inter-compartiment (i) en fournissant un champs de proies réaliste pour les poissons et (ii) en considérant la rétroaction due à la prédation des poissons sur le mésozooplancton (Daewel *et al.*, 2014). L'application du modèle complet développé par le doctorant au Golfe de Gascogne constitue une des étapes clés du projet MEDIATION qui vise à fournir un outil de modélisation intégrée de l'écosystème qui pourra servir d'aide à la décision dans cette zone où les anchois et les sardines sont la principale ressource exploitée.

Méthodologie / Organisation des travaux

Dans un premier temps, le doctorant travaillera sur le couplage entre le modèle complet de plancton (compartiments unicellulaires et métazoaires) et le modèle DEB-IBM de poissons. Des simulations 0D seront réalisées afin de mieux comprendre et les interactions entre les deux compartiments et les processus écologiques associés.

Par la suite, le doctorant devra prendre en main une configuration existante du Golfe de Gascogne (CROCO, MANGA, résolution 2.5 km) dans laquelle l'implémentation du modèle de plancton sera réalisée. Les résultats obtenus sur la période historique (2000-2020) pourront être analysés et comparés avec les données disponibles (campagnes halieutiques PELGAS, pluri-annuelles, au printemps et à l'automne).

Dans un troisième temps, le modèle DEB-IBM sera utilisé en 3D avec un forçage 'offline' en utilisant les sorties des simulations 3D avec le modèle couplé physique/biogéochimie/plancton comme champs d'entrée.

Finalement, le couplage 'online' two-ways sera réalisé, constituant la chaîne complète de modélisation. Des simulations sur l'ensemble de la période historique 2000-2020 seront produites puis analysées.

Environnement technique et humain – Collaboration

Le doctorant bénéficiera de l'expertise de l'équipe encadrante dans les différentes disciplines auxquelles fait appel ce sujet de thèse. Thomas Gorgues dispose d'une expérience dans les modèles couplés physique/biogéochimie et les cycles biogéochimiques, Mathilde Cadier utilise des modèles d'écologie du plancton (modèles basés sur les traits) similaires à celui qui servira de base au travail de thèse et Martin Huret possède les compétences pour le développement et l'application des modèles DEB-IBM de petits poissons pélagiques. En complément de l'équipe encadrante, le doctorant sera amené à interagir avec d'autres collaborateurs. En particulier, Ken Andersen (DTU Aqua, Copenhague, Danemark) est à l'origine des développements sur le modèle de plancton et sera un interlocuteur privilégié pour le doctorant, qui sera amené à effectuer un ou plusieurs séjours à DTU Aqua afin de collaborer et d'améliorer son expertise sur le modèle. Cette collaboration donne une dimension internationale à la thèse qui est intéressante pour le doctorant. D'autres collaborations sont également envisagées au niveau local, au sein de DYNECO Pelagos: avec Marc Sourisseau pour la partie données zooplancton, et avec Martin Plus pour la partie couplage et modèle de biogéochimie.

Par ailleurs, l'intégration de la thèse dans le projet MEDIATION permettra à l'étudiant de bénéficier d'un environnement scientifique riche avec un consortium important (simulations couplées CROCO-Sédiment-Biogéochimie, expertise sur la zone du Golfe de Gascogne (DYNECO DHYSED), campagnes et données *in situ* (HALGO, LBH)).

Enfin, une autre thèse de doctorat débutera à l'automne sous la direction de Martin Huret et portera sur le paysage alimentaire des dauphins dans le Golfe de Gascogne. Cette thèse vise à produire un champs de proies (petits pélagiques) réaliste pour comprendre le régime alimentaire et la distribution des dauphins et utilisera le même modèle 3D DEB-IBM pour les anchois et les sardines que dans cette thèse. Des interactions scientifiques entre les doctorants pourront donc être envisagées.

Pour son travail de thèse, le doctorant disposera d'un ordinateur personnel et du supercalculateur DATARMOR pour la réalisation des simulations 3D.

Résultats attendus et valorisation

Le principal résultat attendu de la thèse est la production d'un modèle complet d'écosystème allant des bactéries (0,5 μm) aux petits poissons pélagiques (10-15 cm) et prenant en compte de manière explicite à la fois les protistes, les métazoaires zooplanctoniques (copépodes) et les poissons avec comme trait principal commun la taille, dont dépendent le métabolisme, l'utilisation des ressources et les relation de prédateurs-proies. Ce modèle permettra une modélisation de l'écosystème du Golfe de Gascogne et une analyse spatio-temporelle de la distribution des traits et de la structure des communautés pour chacun de ses compartiments. Les résultats obtenus par le doctorant seront valorisées sous la forme de conférences scientifiques et de publications.

Originalité/caractère innovant

Le couplage 2-ways plancton/petits poissons pélagiques et son application à l'échelle d'une façade régionale constitue une étape clé dans la compréhension des processus qui structurent les communautés et n'a jamais été réalisé auparavant. Cette thèse permettra d'avancer sur la question du contrôle des petits pélagiques par leurs proies (bottom-up) dans le même temps que sur celle du contrôle des communautés de zooplancton par leurs prédateurs (Daewel *et al.*, 2014).

Profil de candidat souhaité

Nous recherchons un candidat ayant à la fois de bonnes connaissances et un intérêt certain en écologie marine et de solides compétences numériques. Il/elle devra maîtriser au moins pour partie les outils utilisés en modélisation (langages de programmation: Python, Fortran, Matlab, environnement Unix, gestion de fichiers NetCDF). Le/la candidat(e) retenu(e) disposera également d'une curiosité intellectuelle et de capacités pour le travail en autonomie tout étant aussi à l'aise avec le travail en équipe interdisciplinaire. Une aisance à l'oral (conférences, présentations) et à l'écrit (rédactions de rapport et de publications scientifiques) ainsi qu'un bon niveau en anglais sont également demandés.

Références

- Andersen, K. H., and A. W. Visser. 2022. From first principles to structure and function of unicellular plankton communities. 2022.05.16.492092. doi:10.1101/2022.05.16.492092
- Bueno-Pardo, J., P. Petitgas, S. Kay, and M. Huret. 2020. Integration of bioenergetics in an individual-based model to hindcast anchovy dynamics in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* **77**: 655–667.
- Cadier, M., A. N. Hansen, K. H. Andersen, and A. W. Visser. 2020. Competition between vacuolated and mixotrophic unicellular plankton. *Journal of Plankton Research* **42**: 425–439. doi:10.1093/plankt/fbaa025
- Chakraborty, S., L. T. Nielsen, and K. H. Andersen. 2017. Trophic Strategies of Unicellular Plankton. *The American Naturalist* **189**: E77–E90. doi:10.1086/690764
- Costanza, R. 1999. The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics* **31**: 199–213. doi:10.1016/S0921-8009(99)00079-8
- Daewel, U., S. S. Hjøllø, M. Huret, and others. 2014. Predation control of zooplankton dynamics: a review of observations and models. *ICES Journal of Marine Science* **71**: 254–271.
- Doray, M., P. Petitgas, M. Huret, E. Duhamel, J. B. Romagnan, M. Authier, C. Dupuy, and J. Spitz. 2018. Monitoring small pelagic fish in the Bay of Biscay ecosystem, using indicators from an integrated survey. *Progress in Oceanography* **166**: 168–188.
- Gatti, P., L. Cominassi, E. Duhamel, and others. 2018. Bioenergetic condition of anchovy and sardine in the Bay of Biscay and English Channel. *Progress in Oceanography* **166**: 129–138.
- Huret, M., P. Petitgas, and M. Woillez. 2010. Dispersal kernels and their drivers captured with a hydrodynamic model and spatial indices: A case study on anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Bay of Biscay. *Progress in Oceanography* **87**: 6–17.
- Huret, M., K. Tsiaras, U. Daewel, M. D. Skogen, P. Gatti, P. Petitgas, and S. Somarakis. 2019. Variation in life-history traits of European anchovy along a latitudinal gradient: a bioenergetics modelling approach. *Marine Ecology Progress Series* **617**: 95–112.
- Petitgas, P., D. Renard, N. Desassis, M. Huret, J.-B. Romagnan, M. Doray, M. Woillez, and J. Rivoirard. 2020. Analysing Temporal Variability in Spatial Distributions Using Min–Max Autocorrelation Factors: Sardine Eggs in the Bay of Biscay. *Mathematical Geosciences* **52**: 337–354.
- Reygondeau, G. 2019. Chapter 9 - Current and future biogeography of exploited marine groups under climate change, p. 87–101. *In* A.M. Cisneros-Montemayor, W.W.L. Cheung, and Y. Ota [eds.], *Predicting Future Oceans*. Elsevier.

Serra-Pompei, C., F. Soudijn, A. W. Visser, T. Kiørboe, and K. H. Andersen. 2020. A general size- and trait-based model of plankton communities. *Progress in Oceanography* 189: 102473. doi:10.1016/j.pocean.2020.102473