

**Bourses d'excellence de doctorat à l'Institut des sciences de la mer et du littoral de
l'Université du Littoral Côte d'Opale, France
et
de l'Institut des sciences de la mer de Rimouski, Canada**

Formulaire de candidature pour un co-financement de thèse ISML (EUR IFSEA) / ISMER

pour la rentrée **2025**

sujet à transmettre à rachid.amara@univ-littoral.fr pour le

30 janvier 2025 12h00 au plus tard

Titre de la thèse en français : Modélisation de la dispersion des larves de hareng Atlantique dans le contexte de changement global : approche intégrative des processus biologiques et physiologiques larvaires.

Titre de la thèse en anglais : Modelling the dispersal of Atlantic herring larvae in the context of global change : an integrative approach to larval biology and physiology.

Mots clés en français : Survie larvaire, dérive larvaire, modélisation biophysique et hydrodynamique, recrutement halieutique, changement climatique.

Mots clés en anglais : Larval survival, larval drift, biophysical and hydrodynamic modelling, fish recruitment, climate change.

Laboratoire(s) d'accueil : Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences LOG UMR 8187 et Chaire de recherche du Canada en écologie halieutique de l'Institut des Sciences de la mer ISMER

Equipe : Equipe Diversité et durabilité des ressources marines vivantes DREEM (LOG) et Equipe Océanographie biologie (ISMER)

Spécialité : Ecologie halieutique et durabilité des ressources

Directeur/Directrice de thèse ULCO : Rachid Amara (directeur) et Jérémy Denis (co-directeur)

Mail directeur/directrice de thèse : rachid.amara@univ-littoral.fr et jeremy.denis@univ-littoral.fr

Co-Directeur/Directrice de thèse ISMER : Dominique Robert (directeur)

Mail directeur/directrice de thèse : Dominique_Robert@uqar.ca

PROJET DE THESE

Titre de la thèse : Modélisation du transport et de la rétention des larves de hareng Atlantique dans le contexte de changement global : approche intégrative des processus biologiques et physiologiques larvaires.

Projet de thèse (2 pages maxi.) :

Thématique

Prédire les mécanismes de survie larvaire et du recrutement des stocks de poissons.

Contexte

L'effondrement des stocks halieutiques a des conséquences écologiques [1] et socio-économiques [2] majeures, soulignant la nécessité d'une gestion durable des ressources pour garantir un nombre suffisant de géniteurs et assurer le renouvellement des populations. Le recrutement des poissons dépend largement de la survie des premiers stades de vie, en particulier des larves. La survie est déterminée par des facteurs abiotiques (température, salinité...), hydrodynamiques (courants, fronts...) et biotiques (nourriture, prédateurs, compétition...) rencontrés lors de la dérive des larves vers les nurseries côtières [3]. Les variations environnementales, amplifiées par le changement climatique, affectent leur transport et rétention, leur croissance et leur survie, notamment durant la période critique [4] marquée par la transition vers la nutrition exogène, qui est fortement influencée par la synchronisation temporelle (hypothèse match-mismatch [5,6]) et spatiale (Triade de Bakun [7]) entre les larves et leurs proies.

Le hareng Atlantique (*Clupea harengus* L.) est une espèce clé dans l'Atlantique Nord, mais a connu des effondrements de stocks, notamment dans les années 1960 et 1970, dus à une combinaison de facteurs environnementaux, de pressions de pêche et de politiques de gestion inadaptées. Bien que des mesures de gestion aient permis un rétablissement partiel, de nombreux stocks restent vulnérables. Depuis 2002, le stock de hareng de la mer du Nord subit un faible recrutement, malgré une biomasse élevée et une faible mortalité par pêche, en raison de facteurs tels que la prédation, des conditions d'éclosion défavorables, et une mortalité larvaire due au réchauffement des eaux [8–10]. Ces facteurs semblent avoir favorisé la composante des Downs, qui a désormais une contribution plus importante au stock de hareng de la mer du Nord que les autres composantes. Le hareng des Downs fraie en hiver en Manche Est et sud de la mer du Nord, dans des conditions trophiques moins favorables, ce qui pourrait augmenter la mortalité larvaire. Les stocks de hareng du sud du golfe du Saint-Laurent connaissent également un déclin marqué, en particulier celui du hareng à reproduction printanière, dû au réchauffement des eaux, à la prédation et à la pression de pêche. La fermeture de la pêche en 2022 n'a pas permis d'inverser la tendance. Les changements environnementaux et planctoniques affectent le succès alimentaire des larves [11], mais les connaissances sur les mécanismes influençant le recrutement restent limitées, notamment en ce qui concerne le lien entre les facteurs environnementaux et biologiques sur la dynamique des premiers stades de vie [12].

Les efforts d'observation et de modélisation ont pu améliorer notre compréhension des mécanismes influençant la survie des larves de hareng durant leur dérive, notamment les facteurs physiques et hydrodynamiques. Cependant, bien que certaines études aient tenté de relier la distribution des larves à leur environnement [13,14], les modèles basés uniquement sur l'abondance tendent à surestimer leur survie, car ils négligent souvent les effets des interactions biotiques (disponibilité alimentaire, prédation, compétition...) sur les processus biologiques et physiologiques des larves (nutrition, croissance, mortalité, condition...). Comment alors intégrer ces effets pour estimer la survie larvaire ? Une approche holistique prenant en compte ces interactions est essentielle pour améliorer la prévision de la survie dans un contexte de changement global. Cette approche est cruciale pour approfondir la compréhension des mécanismes de recrutement et optimiser les stratégies de gestion durable des ressources halieutiques.

Objectifs

Cette thèse vise à étudier les interactions biotiques et les processus biologiques et physiologiques des larves de hareng à partir de modèles biophysiques pour identifier les facteurs physiques, hydrologiques et trophiques déterminants leur survie, dans le but de mieux comprendre les mécanismes responsables des fluctuations interannuelles du recrutement. Cet objectif principal se décline en trois axes spécifiques :

- Approfondir les connaissances sur l'écologie des larves. Étudier la nutrition, la croissance et la mortalité des larves de hareng à reproduction printanière dans le golfe du Saint-Laurent et de la composante des Downs en Manche-mer du Nord.
- Modéliser la dispersion larvaire vers les nurseries côtières. Simuler le transport et la rétention des larves en intégrant leurs interactions abiotiques et biotiques (disponibilité alimentaire, prédation, compétition...) et leurs processus biologiques et physiologiques (nutrition, croissance, mortalité, condition...).
- Évaluer l'impact du changement global. Analyser les effets du changement climatique sur les processus de dispersion des larves et leurs environnements à l'aide de scénarios prévisionnels à l'horizon 2100, afin d'anticiper les impacts sur le recrutement futur des stocks de hareng.

Méthode

Cette thèse propose d'approfondir les connaissances sur l'écologie des larves de hareng, en particulier celles du hareng printanier du golfe du Saint-Laurent, afin d'atteindre un niveau de connaissance comparable à celui des larves des Downs. Plusieurs approches méthodologiques seront utilisées. L'étude des régimes alimentaires des larves portera sur les fluctuations interannuelles et spatiales, grâce à l'analyse des contenus digestifs par microscopies, offrant une vision détaillée des ressources trophiques et de leur variabilité. Par ailleurs, la croissance des larves sera évaluée à partir de la lecture des microstructures des otolithes. Cette méthode permettra d'estimer l'âge des larves, de relier cet âge à leur taille et d'analyser leurs stratégies de croissance en lien avec les conditions environnementales rencontrées durant leur dérive. En complément, l'état de la condition des larves sera établi à partir d'analyses d'indices biochimiques et physiologiques (quantités et qualités des lipides, ARN/ADN, taux de protéine...). Ces indices fourniront des informations essentielles sur la condition et plus particulièrement la condition nutritionnelle des larves, leur capacité à se nourrir et à accumuler des réserves et par conséquent leur capacité à survivre en fonction des conditions physiques et trophiques rencontrées.

Les processus de dispersion des larves seront modélisés en s'appuyant sur le modèle IBM lagrangien ICHTHYOP (développé par l'IRD) [15], couplé aux modèles hydrodynamiques, afin de simuler les trajectoires des larves des Downs et printanières du golfe du Saint-Laurent depuis les frayères jusqu'aux nourriceries. Ces simulations permettront d'intégrer les interactions biotiques et abiotiques sur les processus biologiques et physiologiques des larves (nutrition, croissance, mortalité, condition...), absents des modèles initiaux. Cette approche permettra de mieux comprendre l'influence de l'environnement sur la dynamique des jeunes stades de vie, déterminant leur survie. Les simulations incluront également les taux de mortalité réalistes, établis à partir de données empiriques (issus des campagnes halieutiques) prenant en compte les conditions physiques, hydrodynamiques et trophiques (disponibilité du plancton). Cette intégration vise à améliorer la précision des modèles et des projections.

Enfin, les impacts du changement climatique sur les processus de dispersion et de survie des larves seront évalués en testant des scénarios prévisionnels pour l'horizon 2100. Les modifications attendues de la circulation océanique et des conditions environnementales en Manche-mer du Nord et dans le golfe du Saint-Laurent seront prises en compte pour anticiper leurs effets sur le recrutement futur des stocks de harengs. Cette approche globale et intégrative contribuera à une meilleure compréhension des mécanismes influençant le recrutement et à l'optimisation des stratégies de gestion durable des ressources halieutiques.

Résultats attendus

La durabilité des ressources marines exploitées dépend directement de la capacité des populations à se renouveler, un processus où le stade larvaire joue un rôle fondamental. Comprendre les mécanismes influençant le succès du recrutement, et en particulier l'impact des facteurs physiques et biologiques sur le transport des larves de hareng vers les nourriceries, est essentiel pour améliorer les relations entre stock et recrutement. Ces connaissances permettront d'améliorer la gestion des ressources marines, particulièrement en Manche-mer du Nord et dans le golfe du Saint-Laurent, deux régions stratégiques pour l'économie de la pêche mais encore sous-étudiées concernant les stocks de hareng par rapport à d'autres stocks.

L'originalité et le caractère novateur de cette thèse résident à la fois dans les concepts écologiques abordés, tels que la période critique de Hjort, les hypothèses Match/Mismatch et la Triade de Bakun, les interactions proies-prédateurs ou encore l'état de condition et nutritionnel des larves, et dans les méthodes employées pour y répondre. En particulier, l'approche de modélisation utilisée sera nouvelle, car elle intégrera pour la première fois des paramètres liés à la nutrition, à la croissance, à la mortalité et à la condition larvaire, en complément des données classiques de l'environnement (physiques et hydrologiques). Les modèles développés dans le cadre de cette thèse constitueront également un outil pour anticiper les effets du changement climatique. En permettant de prédire les variations futures des ressources halieutiques, il contribuera à une gestion durable, essentielle pour faire face aux défis posés par les évolutions environnementales et économiques futurs.

Références

1. Lima, M.; Canales, T.M.; Wiff, R.; Montero, J. The Interaction Between Stock Dynamics, Fishing and Climate Caused the Collapse of the Jack Mackerel Stock at Humboldt Current Ecosystem. *Front. Mar. Sci.* **2020**, *7*, 123, doi:10.3389/fmars.2020.00123.
2. Möllmann, C.; Cormon, X.; Funk, S.; Otto, S.A.; Schmidt, J.O.; Schwermer, H.; Sguotti, C.; Voss, R.; Quaas, M. Tipping Point Realized in Cod Fishery. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 14259, doi:10.1038/s41598-021-93843-z.
3. Cowen, R.K.; Hare, J.A.; Fahay, M.P. Beyond Hydrography: Can Physical Processes Explain Larval Fish Assemblages within the Middle Atlantic Bight? *Bull. Mar. Sci.* **1993**, *53*, 567–587.
4. Hjort, J. *Fluctuations in the Great Fisheries of Northern Europe Viewed in the Light of Biological Research.*; 1914; pp. 1–228.
5. Cushing, D.H. *Plankton Production and Year-Class Strength in Fish Populations: An Update of the Match/Mismatch Hypothesis.*; ADVANCES IN MARINE BIOLOGY.; 1990; Vol. 26; ISBN 0-12-026126-X.
6. Cushing, D.H. The Natural Regulation of Fish Populations. *Sea Fish. Res.* **1974**, 399–412.
7. Bakun, A. *Patterns in the Oceans: Ocean Processes and Marine Population Dynamics.*; California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.; La paz, BCS, Mexico, 1996; ISBN 978-1-888691-01-6.
8. Fässler, S.M.M.; Payne, M.R.; Brunel, T.; Dickey-Collas, M. Does Larval Mortality Influence Population Dynamics? An Analysis of North Sea Herring (*Clupea harengus*) Time Series: North Sea Herring Larval Mortality. *Fish. Oceanogr.* **2011**, *20*, 530–543, doi:10.1111/j.1365-2419.2011.00600.x.
9. Hufnagl, M.; Peck, M.A. Physiological Individual-Based Modelling of Larval Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Foraging and Growth: Insights on Climate-Driven Life-History Scheduling. *ICES J. Mar. Sci.* **2011**, *68*, 1170–1188, doi:10.1093/icesjms/fsr078.
10. Petitgas, P.; Rijnsdorp, A.D.; Dickey-Collas, M.; Engelhard, G.H.; Peck, M.A.; Pinnegar, J.K.; Drinkwater, K.; Huret, M.; Nash, R.D.M. Impacts of Climate Change on the Complex Life Cycles of Fish. *Fish. Oceanogr.* **2013**, *22*, 121–139, doi:10.1111/fog.12010.
11. Burbank, J.; McDermid, J.L.; Turcotte, F.; Sylvain, F.; Rolland, N. Temporal Declines in Fecundity: A Study of Southern Gulf of St. Lawrence Atlantic Herring (*Clupea harengus*) and Implications for Potential Reproductive Output. *J. Fish Biol.* **2024**, *105*, 279–287, doi:10.1111/jfb.15784.
12. Brosset, P.; Doniol-Valcroze, T.; Swain, D.P.; Lehoux, C.; Van Beveren, E.; Mbaye, B.C.; Emond, K.; Plourde, S. Environmental Variability Controls Recruitment but with Different Drivers among Spawning Components in Gulf of St. Lawrence Herring Stocks. *Fish. Oceanogr.* **2019**, *28*, 1–17, doi:10.1111/fog.12272.
13. Planque, B.; Bellier, E.; Lazure, P. Modelling Potential Spawning Habitat of Sardine (*Sardina pilchardus*) and Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fish. Oceanogr.* **2007**, *16*, 16–30, doi:10.1111/j.1365-2419.2006.00411.x.
14. Standaert, W.; Musimwa, R.; Stevens, M.; Guerra, J.A.; Muñiz, C.; Debusschere, E.; Pint, S.; Everaert, G. Modeling Atlantic Herring Distribution in the Northeast Atlantic for Informed Decision-Making towards Sustainable Fisheries. *Front. Mar. Sci.* **2024**, *11*, 1485161, doi:10.3389/fmars.2024.1485161.
15. Lett, C.; Verley, P.; Mullon, C.; Parada, C.; Brochier, T.; Penven, P.; Blanke, B. A Lagrangian Tool for Modelling Ichthyoplankton Dynamics. *Environ. Model. Softw.* **2008**, *23*, 1210–1214, doi:10.1016/j.envsoft.2008.02.005.