



HAL
open science

SalmoGlob - ToolBoxWGNAS. Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord

Etienne Rivot, Maxime Olmos, Marie Nevoux, Etienne Prévost, Mathieu Buoro, Laurent Beaulaton

► To cite this version:

Etienne Rivot, Maxime Olmos, Marie Nevoux, Etienne Prévost, Mathieu Buoro, et al.. SalmoGlob - ToolBoxWGNAS. Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord. 2019. hal-03138874

HAL Id: hal-03138874

<https://hal.science/hal-03138874>

Submitted on 11 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SalmoGlob - ToolBoxWGNAS

Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord

2019

Etienne Rivot^{1,2}, Maxime Olmos^{1,2}
Marie Nevoux^{1,2}, Etienne Prévost^{3,2}, Mathieu Buoro^{3,2}, Laurent Beaulaton^{2,4}

¹ UMR ESE Ecology and Ecosystem Health, Institut Agro, INRAE, Rennes

² Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, INSTITUT AGRO, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA

³ UMR EOBIOP, Université de Pau et des Pays de l'Adour, e2s-UPPA, INRAE, Saint-Pée-sur-Nivelle

⁴ OFB, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique

Un nouveau modèle d'évaluation pour le saumon atlantique

Nous avons développé un nouveau modèle pour l'évaluation de stocks du saumon atlantique à l'échelle du bassin de l'Atlantique nord pour les travaux du Groupe de travail sur le Saumon de l'Atlantique Nord du Conseil International pour l'Exploration de la mer (ICES/CIEM WGNAS). Le modèle est développé dans le cadre des modèles hiérarchiques Bayésiens. Il permet d'analyser l'influence de l'exploitation et des changements globaux sur la dynamique des populations, d'évaluer l'état des populations et d'évaluer des scénarios de gestion dans un cadre probabiliste prenant en compte l'ensemble des sources d'incertitude, et ce conjointement pour l'ensemble de toutes les unités de stock de l'Atlantique Nord. Il peut être facilement étendu pour développer la modélisation de la démographie et assimiler de nouvelles sources de données. Ce nouveau cadre de modélisation représente un saut qualitatif et quantitatif profond par rapport aux modèles d'évaluation historiquement utilisés par le WGNAS. Il a le potentiel de modifier en profondeur et sur le long terme les méthodes de travail du groupe de travail WGNAS et devrait servir de support à une révision des méthodes du groupe de travail (procédure de benchmark) en 2022.

Introduction

L'action SalmoGlob-ToolBox vise à améliorer les bases scientifiques des travaux d'évaluation des stocks de saumon menés par le Groupe de Travail pour le Saumon de l'Atlantique Nord du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (ICES/CIEM WGNAS). Les résultats des modèles d'évaluation qui y sont développés contribuent aussi à l'élaboration et au suivi des plans de gestion discutés au sein de l'Organisation pour la Conservation du Saumon de l'Atlantique Nord (OCSAN/NASCO).

L'ambition de cette action est de construire un modèle et un ensemble d'outils opérationnels pour traiter conjointement la dynamique de l'ensemble des 24 unités stock des 3 complexes de stocks de l'Atlantique Nord reconnus par l'OCSAN (Complexe Sud Européen, Nord Européen et Nord-Américain).

Plus spécifiquement, l'action SalmoGlob-ToolBox répond à trois objectifs:

1) Améliorer la représentation, la quantification et la prédiction de l'effet de la pêche en mer sur les stocks partagés et des changements globaux sur la dynamique des stocks.

2) Renforcer l'opérationnalité de la méthode d'évaluation des stocks en évitant la multiplication de modèles différents construits pour chaque ensemble de populations (alors que ceux-ci sont soumis aux mêmes pressions) et en proposant une suite logicielle opérationnelle pour les travaux du WGNAS.

3) Catalyser la dynamique d'amélioration et d'harmonisation des protocoles de récolte, de stockage et de traitement des données nécessaires pour nourrir ces modèles.

Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord

Dans cette action, nous avons développé un nouveau modèle pour l'évaluation de stocks du saumon atlantique à l'échelle du bassin de l'Atlantique nord. Il constitue une première version opérationnelle d'un nouveau cadre de modélisation pour les travaux du Groupe de travail sur le Saumon de l'Atlantique Nord du Conseil International pour l'Exploration de la mer (ICES/CIEM WGNAS).

Ce nouveau cadre de modélisation apporte un ensemble de contributions majeures pour améliorer les bases scientifiques de l'évaluation des stocks de saumon dans l'Atlantique Nord. Il représente un saut qualitatif et quantitatif profond par rapport aux modèles d'évaluation historiquement utilisés par le WGNAS, et a ainsi le potentiel de modifier en profondeur et sur le long terme les méthodes de travail du groupe de travail WGNAS.

Plus spécifiquement, ce nouveau cadre de modélisation apporte six contributions majeures.

1 Un modèle unique pour toutes les unités de stocks à l'échelle de l'Atlantique Nord

Le nouveau modèle permet d'analyser la dynamique des populations, de réaliser l'évaluation des stocks et d'évaluer des scénarios de gestion simultanément pour l'ensemble des unités de stock de l'Atlantique Nord (Figure 1). Cela représente un progrès majeur par rapport aux modèles d'évaluation historiquement utilisés par le WGNAS, qui s'appuient sur trois modèles indépendants pour les complexes Nord-Américain, Sud Européen et Nord Européen.

2 Une représentation améliorée et harmonisée de la démographie

Le modèle propose une représentation du cycle de vie structurée en âges et en stades de développement. La structure démographique est harmonisée entre toutes les unités de stock d'Amérique du Nord et d'Europe, ce qui représente un progrès important par

rapport aux modèles d'évaluation utilisés par le WGNAS qui s'appuient sur trois représentations différentes de la démographie pour les complexes Nord-Américain, Sud Européen et Nord Européen. En particulier, dans le modèle utilisé actuellement pour l'Amérique du nord, seuls les poissons passant deux hivers en mer avant la reproduction sont considérés. A l'inverse, le nouveau modèle de cycle de vie intègre la dynamique des deux classes d'âge de mer dominantes dans les effectifs, les poissons de un hiver de mer (1HM) et les poissons de deux hivers de mer (2HM).

Grâce à cette structure harmonisée, le modèle permet d'estimer un ensemble de paramètres démographiques et de la dynamique de population simultanément pour l'ensemble des unités de stocks de l'Atlantique Nord, et notamment : i) l'abondance des post-smolts en mer avant toute mortalité par pêche (stade appelé Pre Fishery Abundance, PFA); ii) la survie des post-smolts jusqu'au stade PFA (Figure 2); iii) les proportions de poissons qui mûrissent après un ou deux hivers passés en mer (1HM et 2HM, respectivement); iv) les taux d'exploitation des différentes pêcheries au cours des routes de migration.

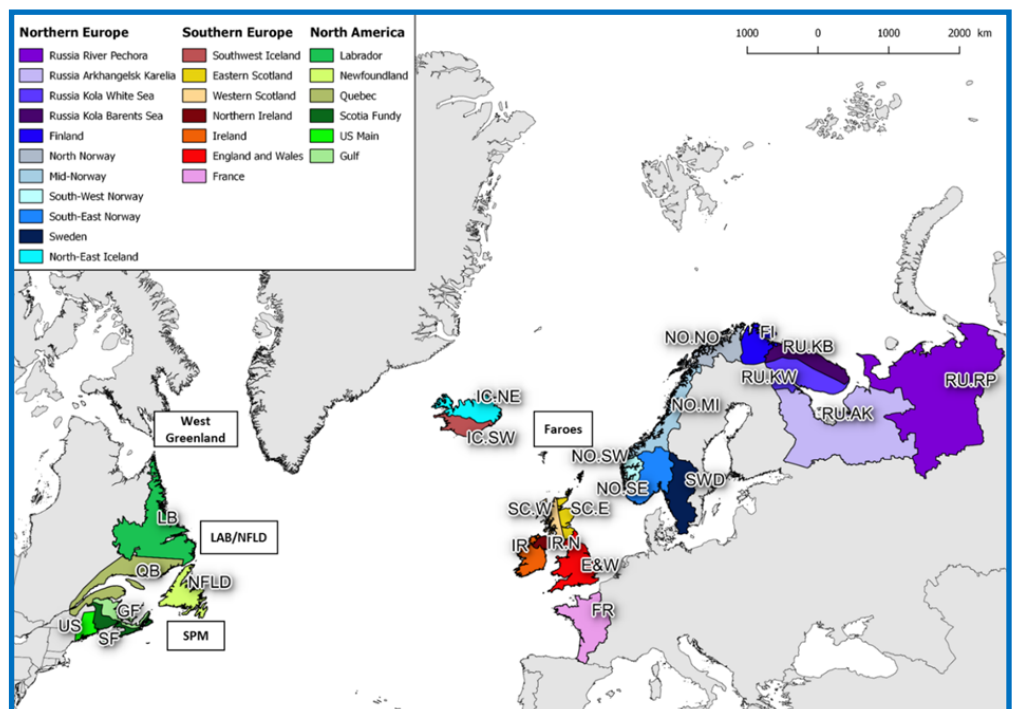
3 Une meilleure représentation des pêcheries en mer sur des mélanges de populations

Le modèle permet d'assimiler des données génétiques apportant de l'information pour allouer les captures en mer au Groenland aux différentes unités de stock. Cela apporte un degré de réalisme supplémentaire par rapport aux modèles classiquement utilisés par le WGNAS qui considèrent (par défaut et à tort) des taux d'exploitation homogènes entre toutes les unités de stock.

4 Mieux comprendre les mécanismes de contrôle de la dynamique des populations

Le modèle permet de mieux comprendre les mécanismes de la réponse des populations de saumons à de multiples facteurs de forçage (exploitation, modification de l'environnement, notamment marin) agissant sur les populations à des échelles spatiales différentes. La formulation de la dynamique de population de l'ensemble des unités de stocks de l'Atlantique Nord dans le cadre d'un modèle hiérarchique permet de quantifier les covariations entre différents groupes de populations qui peuvent partager des routes de migration marines communes et peuvent être exploités par les mêmes pêcheries en mer. Il apporte un cadre pour quantifier la cohérence

Figure 1. Les 24 unités de stock de l'Atlantique Nord. Amérique du Nord: NFDL=Newfoundland, GF=Gulf, SF=Scotia-Fundy, US=USA, QB=Quebec and LB=Labrador. Europe Sud: IR=Ireland, E&W=England&Wales, FR=France, E.SC=Eastern Scotland, W.SC=Western Scotland, N.IR=Northern Ireland, IC.SW=South-West Iceland. Europe Nord: FI=Finland, IC.NE=North-East Iceland, NO.NO=North Norway, NO.MI=Middle Norway, NO.NO=North Norway, NO.SE=South-East Norway, NO.SW=South-West Norway, RU.AK=Russia Arkhangelsk Karelia, RU.KB=Russia Kola Barents Sea, RU.KW=Russia Kola White Sea, RU.RP=River Pechora, SWD=Sweden. Les carrés sur-imposés indiquent les principales pêcheries exploitant des mélanges de stocks: Faroes, West Greenland, Labrador and Newfoundland (LAB/NFLD), and Saint Pierre and Miquelon (SPM).



spatiale dans les variations temporelles de la survie des post-smolts (Figure 2) et dans la composition en classe d'âge dans les retours dans un large gradient de conditions bio-géographiques au sein du bassin de l'Atlantique Nord.

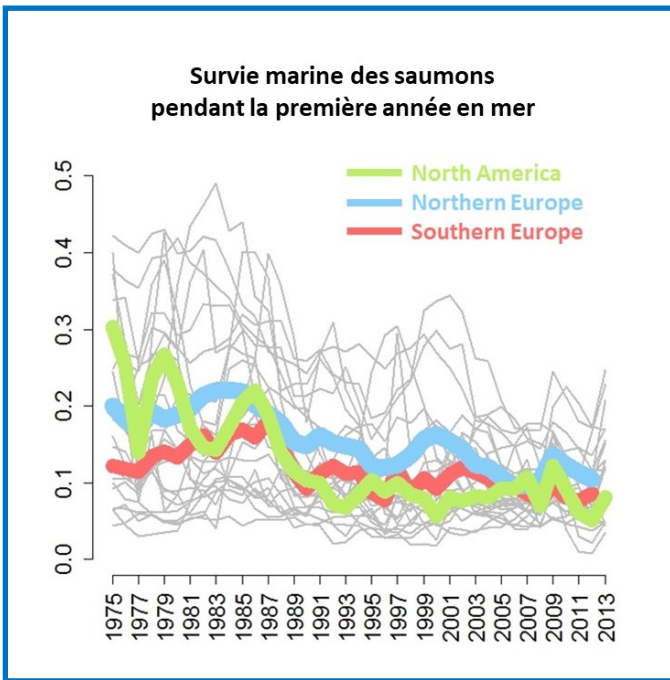


Figure 2. Estimation (médianes des distributions Bayésiennes a posteriori) des taux de survie des post-smolts pendant la première année en mer (années 1975-2013) pour les 24 unités de stock (lignes grisées) et moyennées pour les trois complexes Nord Américain, Nord et Sud Européen.

5 Evaluer des scénarios dans un cadre probabiliste prenant en compte toutes les sources d'incertitudes

Le modèle est construit dans un cadre hiérarchique Bayésien (Parent et Rivot, 2012), qui permet (i) de prendre en compte l'ensemble des sources d'incertitude dans les observations et dans les processus démographiques dans la phase d'ajustement du modèle sur les séries historiques de données (phase de « *hindcasting* ») ; (ii) et de propager ces incertitudes dans les projections pour réaliser des analyses de risque dans un cadre probabiliste (phase de « *forecasting* »). En particulier, les erreurs d'observation sur les retours et les captures sont pleinement intégrées dans l'approche statistique.

Le modèle de cycle de vie offre un cadre naturel pour réaliser des projections de la dynamique de population sous divers scénarios. Toutes les propriétés du modèle sont naturellement intégrées dans la phase de projection et dans les analyses de risque. Notamment, toutes les sources d'incertitude sont intégrées dans les phases d'inférence et de projection. Aussi, la covariation spatiale dans les variations temporelles dans la survie marine et dans la proportion de poissons qui deviennent matures après un hiver en mer est prise en compte dans les projections. Enfin, un modèle unique permet de réaliser les projections de la dynamique de population et des retours pour toutes les unités de stock simultanément, ce qui est d'un intérêt particulier pour évaluer les conséquences de diverses options de gestion de l'exploitation par des pêcheries opérant sur des mélanges de population en mer.

Nous démontrons en particulier l'utilité du modèle pour évaluer les probabilités que les abondances de retour (ou les dépose

d'œufs) dans chaque unité de stock atteignent les limites de conservation (Figure 3, exemple de l'unité de stock « France ») selon différents scénarios de gestion des pêcheries marines au large des îles Féroé (qui impactent toutes les unités de stocks européennes) et au Groenland (qui impactent les unités de stock nord-américaines et européennes). Mais le modèle peut aussi être utilisé pour évaluer l'impact d'autres pêcheries, ou pour évaluer des mesures de conservation spécifiques pour les différentes classes d'âge.

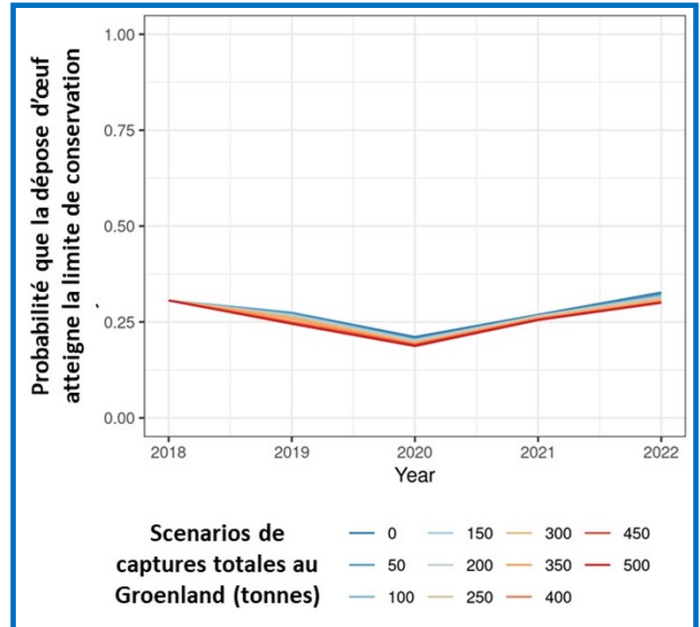


Figure 3. Analyse de risque. Probabilité que la dépose d'œufs totale pour l'unité de stock France dépasse la limite de conservation (~55 millions d'œufs), en fonction de différents scénarios de captures totales au Groenland. Les scénarios ont peu d'effet car les poissons issus des populations françaises sont peu représentés dans les captures au Groenland.

6 Un modèle et une suite de programmes R opérationnelle et évolutive

Enfin, le modèle est évolutif. Il peut être facilement modifié et étendu pour développer la modélisation de la démographie et assimiler de nouvelles sources de données. Il peut ainsi s'adapter facilement pour intégrer l'évolution de la connaissance.

Une suite de programmes (développés en R, et mobilisant le package *nimble* pour l'inférence Bayésienne) a été développée et mise à disposition du WGNAS. Elle permet d'analyser la dynamique des populations, de réaliser l'évaluation des stocks et d'évaluer des scénarios de gestion (gestion de la pêche ou autre) dans un cadre probabiliste, et simultanément pour l'ensemble des unités de stock de l'Atlantique Nord.

Lien GitHub : https://github.com/SalmoGlob/Version_WGNAS2019

Conclusion opérationnelle

Nous avons développé un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks du saumon Atlantique à l'échelle du bassin de l'Atlantique nord. Il constitue une version opérationnelle d'un nouveau cadre de modélisation pour les travaux du Groupe de travail sur le Saumon de l'Atlantique Nord du Conseil International pour l'Exploration de la mer (ICES/CIEM WGNAS). Ce nouveau cadre de modélisation apporte des contributions majeures pour améliorer les bases scientifiques de l'évaluation des stocks de saumon dans l'Atlantique Nord. Il a le potentiel de modifier en profondeur les méthodes de travail du groupe de travail WGNAS. Il devrait servir de support à une révision des méthodes du groupe de travail (procédure de benchmark) en 2022.

- Le modèle permet d'analyser la dynamique des populations, de réaliser l'évaluation des stocks et d'évaluer des scénarios de gestion (gestion de la pêche ou autre) dans un cadre probabiliste intégrant l'ensemble de sources d'incertitude, et simultanément pour l'ensemble des unités de stock de l'Atlantique Nord.
- Le modèle s'appuie sur une représentation du cycle de vie structurée en âges et en stades de développement qui intègre la variabilité des histoires de vie du saumon (âge de rivière et âge de mer). La modélisation démographique est harmonisée entre toutes les unités de stocks d'Amérique du Nord et d'Europe. Cela facilite le dialogue entre biologistes et modélisateurs, et facilite une approche comparée de la dynamique à l'échelle du bassin de l'Atlantique Nord.
- Il permet de mieux comprendre les mécanismes de la réponse des populations à de multiples facteurs de forçage (exploitation, modification de l'environnement, notamment marin) agissant sur les populations à des échelles spatiales différentes. Il permet de quantifier les variations temporelles de la survie des post-smolt pendant leur première année en mer, et des proportions de poissons qui deviennent matures après un ou deux hivers passés en mer. Il permet de quantifier les covariations dans ces paramètres démographiques entre différents groupes de populations qui peuvent partager des routes de migration marines communes, et de tester des hypothèses sur les mécanismes de la réponse des populations à des changements de l'écosystème marin.
- Le modèle permet de réaliser des projections de la dynamique de population sous divers scénarios dans un cadre probabiliste qui intègre l'ensemble des sources d'incertitude. Il permet notamment d'évaluer les probabilités que les abondances de retour dans chaque unité de stock atteignent les limites de conservation selon différents scénarios de gestion des pêcheries marines au large des îles Féroé (qui impactent toutes les unités de stocks européennes) et au Groenland (qui impactent les unités de stock nord-américaines et européennes).
- Enfin, le modèle peut être facilement modifié et étendu pour assimiler de nouvelles sources de données au fil de l'acquisition

En savoir plus

Parent, E., & Rivot, E. (2012). *Introduction to hierarchical bayesian modeling for ecological data*. Chapman & Hall/CRC. 427 pp.

Rivot, E., Olmos, M., Nevoux, M., Prévost, E., Buoro, M., Beaulaton, L. 2020. *SalmoGlob-ToolBoxWGNAS. Développement d'un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord. Rapport final., 75p. Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, INSTITUT AGRO, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA.* https://hal.archives-ouvertes.fr/POLE_MIGRATEURS_AMPHIHALINS/hal-03138237

Valorisations

• Publications académiques

Olmos, M., Massiot-Granier, F., Prévost, E., Chaput, G., Bradbury, I. R., Nevoux, M., & Rivot, E. 2019. Evidence for spatial coherence in time trends of marine life history traits of Atlantic salmon in the North Atlantic. *Fish and Fisheries*, 20(2): 322-342. <https://doi.org/10.1111/faf.12345>

Olmos, M., Payne, M. R., Nevoux, M., Prévost, E., Chaput, G., Du Pontavice, H., Guitton, J., Sheehan, T., Mills, K., & Rivot, E. 2020. Spatial synchrony in the response of a long range migratory species (*Salmo salar*) to climate change in the North Atlantic Ocean. *Global Change Biology*, 26:1319-1337. <https://doi.org/10.1111/gcb.14913>

• Rapport du groupe de travail ICES/CIEM WGNAS

Rivot, E., Olmos, M., Chaput, G., & Prévost, E. (2019). A hierarchical life cycle model for Atlantic salmon stock assessment at the North Atlantic basin scale. (ICES WGNAS, Working Paper 2019/26, Bergen, Norway, March 26 - April 5, 2019 Working Paper 2019/26). ICES/CIEM.

• Suite logicielle

Une suite de programmes (développés en R, et mobilisant le package *nimble* pour l'inférence Bayésienne) a été développée et mise à disposition du groupe de travail WGNAS.

https://github.com/SalmoGlob/Version_WGNAS2019

Equipes impliquées

Ce travail est le fruit de la synergie entre de multiples compétences regroupées au sein des UMR ESE (Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Institut Agro, INRAE, Rennes) et ECOBIOP (Université de Pau et des Pays de l'Adour, e2s-UPPA, INRAE, Saint-Pée-sur-Nivelle) et du Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, INSTITUT AGRO, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA.

Il s'appuie largement sur les travaux de thèse de Félix Massiot-Granier et de Maxime Olmos, tous les deux encadrés au sein de l'UMR ESE.

Contact

Etienne Rivot, UMR ESE Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Institut Agro, INRAE, Rennes.

etienne.rivot@agrocampus-ouest.fr

Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce à l'investissement de nombreuses personnes qui collectent et compilent les données utilisées par le groupe de travail du CIEM sur le saumon de l'Atlantique Nord, en Amérique du Nord et en Europe (et notamment pour la France l'ensemble du personnel des unités UMR ESE et U3E du centre INRAE de Rennes ainsi du pôle OFB, INRAE, Institut Agro, UPPA Gestion des Poissons Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement).

Soutien financier

Le projet a été financé par la convention de coopération OFB-INRAE-Agrocampus Ouest-UPPA.

Le projet a aussi reçu le soutien des fonds de développement régionaux européens au travers du programme Interreg France-manche-Angleterre, projet SAMARCH Salmonid Management Round the Channel.