

## PhD OFFER

Response of migratory salmonid populations to global changes

### GENERAL INFORMATIONS

<b>Title:</b> Response of migratory salmonid populations to global changes
<b>Keywords:</b> Life history strategy, modelling, management
<b>Research Unit:</b> UMR INRA-Agrocampus Ouest « Ecology and Ecosystem Health », Rennes, France
<b>PhD supervisor 1:</b> Marie Nevoux, <a href="mailto:marie.nevoux@inra.fr">marie.nevoux@inra.fr</a>
<b>PhD Supervisor 2:</b> Etienne Rivot, <a href="mailto:Etienne.Rivot@Agrocampus-Ouest.fr">Etienne.Rivot@Agrocampus-Ouest.fr</a>
<b>Funding (secured):</b> Projet SAMARCH, INTERREG FMA (2017-2021) ( <a href="http://www.samarch.org">www.samarch.org</a> )
<b>Starting dates :</b> 3 years starting in November 2018

### DESCRIPTION OF THE PROJECT

#### Socio-economic and scientific context

Anadromous migratory fish populations (e.g. Atlantic salmon and sea trout) have undergone a significant decline in their abundance since the 1970s across their entire distribution range, together with changes in their life history traits (e.g., decline in the average age at reproduction). Causes of this decline are multifactorial and involve multiple stressors acting on different stages of the life cycle, in different environments (in freshwater, at sea) and at different spatial scales.

Available knowledge supports the hypothesis that these changes partly result from a population response to changes in the marine ecosystem, leading to changes in the biotic or abiotic environment of fish during marine migration. However, the marine phase of the life cycle of migratory fish remains difficult to observe and knowledge about the mechanisms involved in the response of individuals and populations to these changes remains fragmented.

The deteriorated state of these fish populations of great patrimonial interest has motivated the implementation of management measures at the regional, national and international levels. The core of those management measures are based on population dynamic models used to support scientific expertise on the status of populations and to predict their evolution (e.g. resilience). However, these models are generally based on the assumption of stable environmental conditions. In particular, they do not take into account the influence of recent and possibly rapid changes in the marine environment on the dynamics and viability of populations.

In order to improve the quality of scientific expertise and the effectiveness of management measures, it is necessary to improve the understanding of the mechanisms of the plasticity of salmonids life cycle, in particular in response to changes in the (marine) environment.

This PhD project is part of the European SAMARCH project (<http://samarch.org/>; Interreg FMA programme) which aims to address this challenge by building on the synergy between 10 French and English partners from both the academic and management communities.

## Scientific Assumptions and Questions

In addition to a decrease in abundance (which directly reflects a decrease in survival), available observations show a decrease in the average age at maturity and in the size of fish returning to rivers to reproduce after their stay at sea. Migratory salmonids have conditional life history strategies in which growth largely determines the main demographic transitions in the life cycle (migration, survival, maturation) and thus the life trajectories of individuals. Changes in growing conditions will affect age at maturity, fertility, egg size and survival. In particular, changes in growing conditions at sea will modify the cost/benefit balance of anadromous migration.

This PhD aims to 1) better understand the influence of changes in the marine environment on the growth, survival, age at maturity and fecundity of migratory salmonids; 2) quantify the consequences of these changes on population dynamics and resilience and make recommendations to improve models used as tools to help management decision making. This will include testing the following assumptions:

- Is the general population decline over the last four decades a consequence of altered growing conditions during the marine migration phase?  
Beyond variations in survival and abundance, do the changes observed in life history traits (size, average age at maturity of fish returning to the river after the marine phase) reflect a plastic response to changes in growing conditions at sea?
- Furthermore, as reproductive size is more strongly correlated with fitness in females than in males, strong gender differences in strategies are expected.  
In particular, two hypotheses for plastic (adaptive) response mechanisms will be tested, distinguishing between the two sexes:
  - Theory of proximal mechanisms: It would predict that altered growing conditions delay the time needed to reach physiological maturation thresholds and then delay maturation;
  - Conversely, the theory of evolutionary trade-offs between life history traits would predict that stress or altered growth conditions lead to earlier maturation in order to maximize the chances of surviving to reproduction at the expense of lower fertility.

## Main stages of the thesis and approach

To address this challenge, research will be based on data series available on 5 index rivers (in France and the United Kingdom) which will feed modelling approaches. In particular, the work will largely rely on the analysis of historical collections of fish scales to acquire new data on the marine phase of the life cycle. Image analysis of scales will provide information on the growth of individuals over their lifetime. A genetic analysis of these scales will allow for individual sexing. This work concerns samples of 5 index rivers, covering 10 to 30 years of monitoring per river for 2 species (salmon and sea trout). It is currently in progress and is handled by laboratory technicians who will collaborate closely with the PhD student. These data will be combined with biometric and population monitoring data (abundance, cohort monitoring, etc.) collected routinely at the study sites.

The project will be conducted in two phases:

1- Analyse individual patterns of growth at sea in time and space. Can synchronous growth patterns be detected between populations breeding in different rivers but sharing a common marine environment during the marine migration phase? Are these trends related to inter-annual variations in survival during the marine phase? Can growth be linked to survival, age at maturity and fecundity?

2- Integrate trade-offs/correlations between traits and the influence of environmental variability into a size-based stage structured population dynamics model. Use the model for hindcasting and forecasting scenarios to analyse the impact of changes in growth conditions at sea on population dynamics and resilience.

This work will be conducted on Atlantic salmon in priority. The data available on sea trout will allow comparison of two salmonid species with different migration strategies at sea.

National collaborations (other labs working on migratory fish) and international collaborations (SAMARCH partners and beyond) should be considered.

## Methodological and technical approaches

- Statistical analysis of growth based on scale-reading data (e.g. mixed generalized linear and additive models, time series models).
- Population dynamics models structured by stages and ages (Leslie models), size structured models, integrated projection models (IPM Integral Projection Models).
- Coupling models with environmental data for hindcasting and forecasting scenarios.

## Scientific and technical skills required for the candidate

- Theoretical knowledge in ecology, population biology, marine biology;
- Desired experience in manipulation and statistical analysis of data (R);
- Experience in population dynamics modelling would be a plus;
- Interest in migratory fish and management.

# PROJET DE THÈSE

Réponse des populations de salmonidés migrateurs aux changements globaux

## INFORMATIONS GÉNÉRALES

<b>Titre de la thèse :</b> Réponse des populations de salmonidés migrateurs aux changements globaux
<b>Trois mots-clés :</b> Stratégie d'histoire de vie ; Modélisation ; Gestion
<b>Unité d'accueil :</b> UMR INRA-Agrocampus Ouest « Ecologie et Santé des Ecosystèmes », Rennes, France
<b>Encadrant de thèse 1 :</b> Marie Nevoux, <a href="mailto:marie.nevoux@inra.fr">marie.nevoux@inra.fr</a>
<b>Encadrant de thèse 2 :</b> Etienne Rivot, <a href="mailto:Etienne.Rivot@Agrocampus-Ouest.Fr">Etienne.Rivot@Agrocampus-Ouest.Fr</a>
<b>Financement (acquis) :</b> Projet SAMARCH, INTERREG FMA (2017-2021) ( <a href="http://www.samarch.org">www.samarch.org</a> )
<b>Dates de début :</b> 3 ans à partir de novembre 2018

## DESCRIPTION SCIENTIFIQUE DU PROJET DE THÈSE

### Contexte socio-économique et scientifique

Les populations de poissons migrateurs anadromes (notamment saumon atlantique et truites de mer) ont connu un déclin important depuis les années 1970 à l'échelle de leur aire de répartition, ainsi que des modifications importantes de traits d'histoire de vie (notamment l'âge moyen pour atteindre la reproduction). Les causes de ce déclin font intervenir de multiples facteurs de pression qui agissent sur plusieurs stades au cours du cycle de vie, dans des milieux (eau douce, mer) et à des échelles spatiales différentes.

Les connaissances disponibles convergent vers l'hypothèse que cette baisse des abondances et ces changements dans les stratégies de vie résultent en partie d'une réponse des populations à des changements de l'écosystème marin, conduisant à des changements dans l'environnement biotique ou abiotique des poissons pendant la migration marine. Cependant, la phase marine du cycle de vie des poissons migrateurs reste difficile à observer et les connaissances sur les mécanismes impliqués dans la réponse des individus et des populations à ces changements restent très parcellaires.

L'état dégradé de ces populations de poissons de fort intérêt patrimonial a incité la mise en place de mesures de gestion au niveau régional, national et international. Les mesures de gestion s'appuient pour la plupart sur des modèles de dynamique de population qui permettent de construire l'expertise scientifique sur l'état des populations et de prédire leur évolution (e.g. résilience). Cependant, ces modèles sont bâtis sur l'hypothèse de conditions environnementales stables. Notamment, ils ne prennent pas en compte l'influence des changements récents et éventuellement rapides de l'environnement marin sur le fonctionnement des populations et leur capacité de renouvellement.

Afin d'améliorer la qualité de l'expertise scientifique et l'efficacité des mesures de gestion, il est nécessaire d'améliorer la compréhension et la représentation des mécanismes de la plasticité du cycle de vie des salmonidés notamment en réponse aux modifications de l'environnement (marin).

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet Européen SAMARCH (programme Interreg FMA ; [www.samarch.org/fr](http://www.samarch.org/fr)) qui vise à répondre à ce challenge en s'appuyant sur la synergie entre 10 partenaires français et anglais issus du milieu académique et de la gestion.

### Hypothèses et questions scientifiques

En plus de la baisse de l'abondance (qui traduit directement une baisse de la survie), les observations disponibles montrent une baisse de l'âge moyen à maturité et de la taille des poissons de retour dans les rivières pour se reproduire après leur séjour en mer.

Les salmonidés migrateurs sont des espèces à stratégies de vie conditionnelles chez qui la croissance conditionne les principales transitions démographiques du cycle de vie (migration, survie, maturation) et donc les trajectoires de vie des individus. Un changement dans les conditions de croissance aura des répercussions sur l'âge à la maturité, la fécondité, la taille des œufs et la survie. Un changement des conditions de croissance en mer induit des modifications dans l'équilibre des coûts/bénéfices de la migration.

Cette thèse vise 1) à mieux comprendre l'influence des changements du milieu marin sur la croissance, la survie, l'âge à maturation et la fécondité des salmonidés migrateurs ; 2) à quantifier les conséquences sur la dynamique et la résilience des populations et à formuler des recommandations pour améliorer les modèles utilisés pour la gestion. Il s'agira notamment de tester les hypothèses suivantes:

- Le déclin général des populations dans les quatre dernières décennies résulte d'une altération des conditions de croissance pendant la phase de migration marine ?
- Au-delà des variations de survie et d'abondance, les changements observés dans les traits d'histoire de vie (taille, âge moyen à maturation des poissons de retour en rivière après la phase marine) reflètent-ils une réponse plastique aux changements dans les conditions de croissance en mer ?

Par ailleurs, la taille à reproduction étant plus fortement corrélée à la fitness chez les femelles que chez les mâles, on s'attend à de fortes différences de stratégies entre les sexes.

On cherchera notamment à tester deux hypothèses alternatives de mécanismes de réponse plastique:

- Théorie des mécanismes proximaux : Elle prédit que des conditions de croissance altérées retardent l'atteinte des seuils physiologiques de maturation et conduisent à une maturation plus tardive ;
- A l'inverse, la théorie des compromis évolutifs entre traits d'histoire de vie prédit que des conditions de stress ou de croissance altérées entraînent une maturation plus précoce afin de maximiser les chances de survivre jusqu'à la reproduction au dépend d'une fécondité plus faible.

### **Principales étapes de la thèse et démarche**

Pour répondre à ce challenge, les recherches s'appuieront notamment sur des séries de données disponibles sur 5 rivières index (en France et Royaume Uni) qui nourriront des approches de modélisation. Les travaux se baseront notamment sur les collections historiques d'écailles de poissons pour acquérir de nouvelles données sur la phase marine du cycle de vie. L'étude des écailles par une méthode d'analyse d'image renseigne sur la croissance des individus au cours de leur vie. Une analyse génétique de ces écailles permet un sexage individuel. Ce travail concerne des échantillons de 5 rivières index, couvrant 10 à 30 ans de suivi par rivière pour 2 espèces (saumons et truites de mer). Il est actuellement en cours et est pris en charge par des techniciens du laboratoire qui collaboreront de façon étroite avec les travaux d'analyse du doctorant. Ces données seront associées à des données de biométrie et de suivi populationnel (abondance, suivi de cohortes ...) collectées en routine sur les sites d'étude.

Le projet se déroulera en deux étapes :

- 1- Décrire les patrons individuels de croissance en mer dans le temps et l'espace. Peut-on détecter des patrons de croissance synchrones entre des populations se reproduisant dans les rivières différentes mais partageant un environnement marin commun pendant la phase de migration marine ? Ces tendances sont-elles liées aux variations interannuelles de la survie pendant la phase marine ? Peut-on relier la croissance avec la survie, l'âge de maturation et la fécondité ?
- 2- Intégrer les compromis/corrélations entre traits et l'influence de la variabilité de l'environnement dans un modèle de dynamique de population structuré par la taille. Analyser l'impact de la modification des conditions de croissance en mer sur la dynamique et la résilience des populations.

Ce travail sera mené en priorité sur le saumon atlantique. Les données disponibles sur la truite de mer permettront de comparer deux espèces de salmonidés ayant des stratégies de migration en mer différentes.

Des collaborations nationales (autres laboratoires travaillant sur les poissons migrateurs) et internationales (partenaires du programme SAMARCH et au-delà) sont à envisager.

### **Approches méthodologiques et techniques envisagées**

- Analyse statistique des patrons de croissance à partir des données issues de la lecture des écailles (e.g. modèles linéaires généralisés et additifs, modèles à effets aléatoires, modèles de séries chronologiques).
- Modèles de dynamique de population structurés en stades et âges (type modèles de Leslie), modèles structurés en taille, modèles de projection intégrés (IPM Integral Projection Models).
- Couplage avec des données environnementales pour l'analyse rétrospective et l'analyse de scénarios.

### **Compétences scientifiques et techniques requises pour le candidat**

- Connaissances théoriques en écologie, biologie des populations, biologie marine ;
- Expérience souhaitée de manipulation et d'analyse statistique de données (R) ;
- Une expérience en modélisation de la dynamique de population serait un plus ;
- Intérêt pour les poissons migrateurs et la gestion.