

- **Titre du sujet de thèse proposé** : Aspects évolutifs et environnementaux de la plasticité phénotypique chez les *Moronidae* : comparaison du bar Européen (*Dicentrarchus labrax*) et du bar d'Amérique (*Morone saxatilis*).

- **Directeur de thèse** : José Zambonino (Ifremer, France), Céline Audet (ISMER, Québec)

- **Co-directeur de thèse** : Guy Claireaux (LEMAR, France), Denis Chabot (MPO, Québec)

- **Projet contractualisé de rattachement** (*si c'est le cas*) : Aucun

- **Laboratoire/unité, département d'accueil** : PFOM-ARN (France), ISMER (UQUAR, Québec), Institut Maurice Lamontagne (MPO, Québec).

- **Ecole doctorale de rattachement** : PFOM est équipe d'accueil de l'école doctorale des sciences de la mer (EDSM), Institut Universitaire Européen de la Mer, Plouzané.

- **Cofinancement envisagé/obtenu** : Co-financement obtenu (CRSNG, Céline Audet)

- **Employeur envisagé** : Ifremer

- **Résumé et mots-clés:**

Les écosystèmes marins côtiers sont caractérisés par de fortes fluctuations des conditions de milieu. A ces fluctuations naturelles se rajoutent aujourd'hui les bouleversements résultants des changements climatiques. Les déterminants de la capacité des poissons à répondre aux contingences naturelles sont mal connus, empêchant toutes prévisions fiables quant aux conséquences des changements climatiques et freinant ainsi la mise en place de mesures d'ajustement adaptées. Dans ce contexte, le projet proposé vise à mieux comprendre les déterminants de la plasticité phénotypique en prenant en compte les éléments suivants:

- La plasticité phénotypique a une dimension génétique et elle est soumise à la sélection,
- Les événements précoces interagissent avec le fond génétique des individus pour façonner leurs trajectoires d'histoire de vie et leur capacité de réponse aux contraintes du milieu,
- La capacité de réponse aux contraintes environnementales varie avec le stade de vie.

Cette étude consistera à comparer deux espèces de bar vivant de part et d'autre de l'Atlantique, le bar Européen (*Dicentrarchus labrax*) et le bar d'Amérique (*Morone saxatilis*). Ces deux espèces sont le produit d'un processus de spéciation à partir d'un même ancêtre et elles ont conservé de nombreux traits communs.

Mots clés : Changements climatiques, plasticité phénotypique, trajectoires d'histoire de vie, conditions environnementales précoces, *Moronidae*.

- **Profil de candidature souhaitée,**

Le candidat devra avoir une bonne formation en physiologie et en biochimie et il devra attester de capacités à l'expérimentation animale. Il devra également démontrer son aptitude à la rédaction scientifique. Une excellente connaissance de la langue anglaise est indispensable.

The candidate should have a good training in physiology and biochemistry and should be qualified with animal experimentation. The candidate will have to demonstrate his/her aptitude at scientific writing. Excellent English skills are mandatory.

**Exposé du projet:**

Contexte Scientifique

Au cours des 50 dernières années, la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> et la température ont augmenté de manière régulière (Trenberth, 1997; Quay, 2002), conduisant à un réchauffement des océans et à leur acidification (Levitus et al., 2000; Sheppard, 2001; Fukasawa et al., 2004; IPCC, 2007). Ces changements ont été accompagnés d'une baisse de l'oxygénation des eaux

marines (Nixon, 1995; Howarth et al., 1996; Diaz, 2001; Wu, 2002; Diaz et al., 2004; Gilbert et al., 2005). En réponse à ces modifications physico-chimiques de leur environnement, de nombreuses espèces de poissons de l'Atlantique ont vu leur abondance et leur distribution, tant en latitude qu'en profondeur, modifiées (Perry *et al.*, 2005). A titre d'exemple, dans l'Atlantique Nord-Est l'abondance des espèces Lusitaniennes a augmenté aux cours des dernières décennies (e.g., la sole), tandis que celle des espèces boréales déclinait au sud de leurs aires de distribution (e.g., morue, plie, limande) mais augmentait à leurs limites nord (e.g., morue; Rijnsdorp *et al.*, 2009). Dans l'Atlantique Nord-Ouest des changements de distribution de la morue notamment ont également été observées (Drinkwater, 2005).

Au cours des 2 dernières décennies, et à l'image de nombreuses espèces de l'Atlantique Nord-Est, l'aire de répartition du bar Européen (*Dicentrarchus labrax*) s'est très largement étendue vers le nord. Alors que dans les années 90 la limite septentrionale de son aire de distribution était le sud de la Mer du Nord (Pickett et Pawson, 1992), il est aujourd'hui très couramment pêché dans les fjords norvégiens, de Oslo à Tromsø (Colman *et al.*, 2005 ; Pawson *et al.*, 2005). Cependant, bien qu'il soit aujourd'hui en mesure de s'y reproduire, il reste difficile de dire si l'arrivée du bar Européen le long des côtes de Norvège est une réponse à une « opportunité écologique » offerte par le réchauffement de l'Atlantique, ou si elle repose sur un véritable processus d'adaptation au climat norvégiens.

La population de bars rayés du sud du golfe du Saint-Laurent a longtemps été exploitée dans le cadre des pêches commerciales et sportives. Il reste très prisé par les pêcheurs à la ligne et les groupes autochtones. Son déclin a donné lieu à la fermeture de la pêche commerciale de l'espèce en 1996, puis à celle des pêches récréative et autochtone en 2000. La limite de rétablissement ainsi que l'objectif de rétablissement pour la population de bars rayés sont atteints depuis 2011. En 2013, une pêche récréative limitée et une pêche autochtone ont été rouvertes. Quant à la population de bars rayés du fleuve Saint-Laurent, elle est disparue vers le milieu des années 60 et c'est en 1996 que la province de Québec lui a accordé le statut officiel de population disparue. Une analyse des données historiques, effectuée en 2001, identifie la surexploitation par la pêche et le dragage des sédiments comme les principaux éléments responsables de la disparition du bar rayé dans les eaux du fleuve Saint-Laurent. Depuis lors, les travaux de réintroduction de l'espèce ont débuté.

Bien que de nombreuses études aient mis en évidence des modifications des traits d'histoire de vie en réponse à des facteurs tel que la pêche par exemple (Rochet, 1998; Stockwell *et al.*, 2003, Olsen *et al.*, 2004; Reznick et Ghalambor 2005; Jorgensen *et al.*, 2007), il existe très peu d'information sur les réponses susceptibles d'atténuer les conséquences des changements climatiques sur la dynamique, la production et l'évolution des populations de poissons. Pourtant un grand nombre d'études suggèrent que des réponses adaptatives sont susceptibles de se mettre en place à une échelle de temps compatible avec celle des changements climatiques (Hendry et Kinnison 1999; Kinnison et Hendry 2001; Kingsolver *et al.*, 2001; Reznick et Ghalambor 2001; Stockwell *et al.*, 2003; Berteaux *et al.*, 2004; Ghalambor *et al.*, 2004; Conover *et al.*, 2006). Cependant, force est de constater que ces études font difficilement la part entre des réponses d'ordre génétique (adaptatives) et des réponses relevant strictement de la plasticité phénotypique (Gienapp *et al.*, 2008). De plus, des études récentes menées par notre équipe ont souligné l'importance de l'interaction génétique x environnement (G x E) au cours de l'ontogénèse en tant que source de diversité phénotypique chez les poissons (Zambonino *et al.*, 2013). Ces études montrent ainsi, qu'outre les processus adaptatifs basés sur la sélection naturelle, l'interaction G x E fournit, par le biais d'ajustements épigénétiques potentiellement héréditaires, les fondements d'une réponse rapide des poissons aux changements environnementaux.

Le groupe des bars a une distribution géographique circumglobale. Il comprend les genres *Morone* et *Dicentrarchus* (*Moronidae*) ainsi que le genre *Lateolabrax* (*Percichthyidae*). Le genre *Morone* comprends 4 espèces d'Amérique du nord, *Morone saxatilis* (Walbaum, 1972), *Morone chrysops* (Rafinesque, 1820), *Morone mississippiensis* (Jordan & Eigenmann, 1887) et *Morone americana* (Gmelin, 1789). Le genre *Dicentrarchus* comprends quant à lui 2 espèces des côtes

Européennes et Africaines, *Dicentrarchus labrax* (Linné, 1758) et *Dicentrarchus punctatus* (Bloch, 1792). Le bar Japonais (*Lateolabrax japonicus*; Cuvier, 1828), est quant à lui présent le long des côtes du Japon, de la Chine et de la Corée. La présence des bars des deux cotés de l'Atlantique et dans le Pacifique pose une énigme en tout point comparable à celle posée par le groupe des anguilles. Sur la base d'une étude moléculaire remontant au Crétacé supérieur, Tsukamoto and Aoyama (1998) ont proposé que jusqu'à sa fermeture, il a environ 30 millions d'années, la mer Téthys a constitué un couloir de dispersion qui a permis au genre *Anguilla* d'être présent dans les océans Pacifique, Indien et Atlantique. La même raison a été proposée pour expliquer la dispersion et la spéciation du groupe des bars (Secord, 2002). Cette proposition s'appuie notamment sur la description d'otolithes fossilisés de *Moronidae* observés dans des grès nord Américains datant du Crétacé supérieur (Nolf et Stringer, 1996).

Le bar Européen (*D. Labrax*) et le bar rayé d'Amérique (*M. saxatilis*) résultent donc d'un long processus de spéciation à partir d'un ancêtre commun. Ces deux espèces ont cependant conservés de nombreux points communs, tant physiologiques qu'écologiques. Afin de comprendre les sources de la diversité phénotypique et ainsi de contribuer à une meilleure évaluation de la capacité des poissons à répondre aux contraintes climatiques contemporaines, le présent projet est une étude comparée de la plasticité phénotypique du bar Européen (*Dicentrarchus labrax*) et du bar d'Amérique (*Morone saxatilis*). Les objectifs spécifiques de cette étude sont:

- Comparer la variabilité inter-individuelle de traits de performance clés (tolérance à l'hypoxie, sensibilité à la température, capacité de nage, registres métaboliques aérobie et anaérobie).
- Comparer les effets des conditions environnementales précoces (interaction GxE) sur la diversité phénotypique et les trajectoires d'histoire de vie.
- Intégrer les données obtenues dans un indicateur de robustesse phénotypique quantifiant la capacité des populations à répondre à la variabilité environnementale.

#### Intérêt général

Ce sujet de thèse s'inscrit dans un contexte scientifique international axé sur l'étude de l'impact des facteurs environnementaux sur les écosystèmes, notamment dans le cadre des changements globaux qui interviennent à l'échelle planétaire. Comprendre les effets à long terme de ces changements globaux sur la biologie des espèces, et la dynamique des populations est un préalable indispensable pour prétendre anticiper les conséquences de ces changements sur les services écosystémiques.

Ce projet de thèse résulte des échanges intervenus entre les chercheurs canadiens et français lors du montage de la proposition de GDR-I MPO (*Ministère des Pêches et des Océans*)-Ifremer sur le thème « Réponses au changement global des populations et communautés aquacoles et halieutiques et de leurs habitats ». Par ce projet de collaboration franco-canadien, l'Ifremer, par le biais de ses équipes impliquées dans l'UMR LEMAR, voit une reconnaissance de son expertise originale dans le domaine de la physiologie des poissons et plus particulièrement des conséquences à long terme du changement global sur le fonctionnement des écosystèmes.

#### Originalité et caractère innovant des recherches

Notre projet se propose d'examiner les déterminants de la capacité de réponse des poissons marins soumis aux changements des océans. Comprendre et évaluer la résilience des populations de poissons est un défi majeur posé à la communauté scientifique et plus largement à nos sociétés, en particulier afin de mieux protéger, gérer et exploiter les bio-ressources marines. Notre projet s'inscrit donc dans les problématiques suivantes:

- Gestion des bio-ressources et adaptation au climat;
- Comprendre et anticiper l'évolution des écosystèmes marins côtiers exposés aux changements climatiques;
- Mesurer la capacité des poissons marins à s'adapter au changement global;

- Evaluer la contribution de la variation phénotypique et génétique à la résilience des populations de poissons.

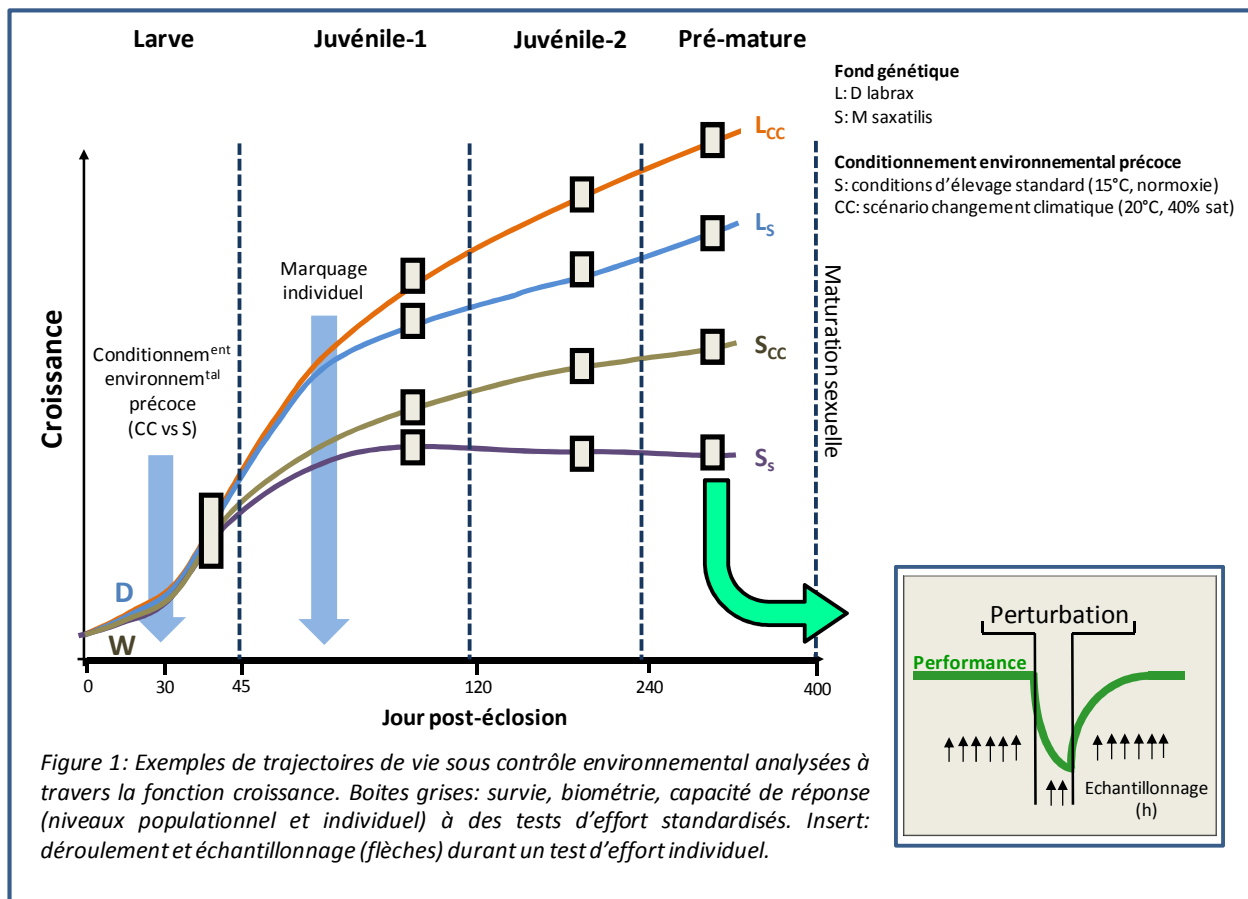
Sur les deux bords de l'Atlantique les bars sont des espèces économiquement importantes et ayant une forte valeur patrimoniale. Au cours de leur histoire évolutive les bars Américains et Européens ont été soumis à des pressions de sélection différentes et il est donc probable qu'elles répondront de manière différente aux bouleversements climatiques contemporains. Notre projet se propose donc de comparer l'influence de l'interaction G×E sur les trajectoires d'histoire de vie de ces 2 espèces et sur leur capacité à répondre aux contraintes environnementales.

### Approches méthodologiques

La plasticité est une notion qui regroupe l'ensemble des mécanismes par lesquels un système est capable de se modifier afin de préserver ses caractéristiques fonctionnelles face à des perturbations internes ou externes. En biologie, la plasticité phénotypique est la capacité d'un organisme à prospérer lorsque les conditions environnementales changent. Chez les poissons, notre compréhension actuelle de la notion de plasticité étant trop partielle, les prévisions quant aux conséquences des changements climatiques restent peu fiables, freinant la mise en place de mesures d'ajustement adaptées. Dans ce contexte, l'approche méthodologique proposée prendra en compte les éléments suivants:

- La plasticité phénotypique a une dimension génétique et elle est soumise à la sélection,
- Les événements/expériences précoces interagissent avec le fond génétique des individus pour façonner leurs trajectoires d'histoire de vie et leur capacité de réponse aux contraintes du milieu,
- La capacité de réponse aux contraintes environnementales varie avec le stade de vie.

Les expérimentations concernant le bar Européen seront conduites sur le Centre Ifremer de Brest, celles concernant le bar d'Amérique seront conduites à la Station Aquicole de l'Ismer, Rimouski, Québec, Canada. Brièvement, des œufs fertilisés issus de générateurs sauvages de *D. labrax* et *M. saxatilis* (noté respectivement L and S sur la Fig.1) seront placés en élevage dans nos installations respectives. A 30 jours post éclosion (jpé), chaque population sera divisée en 2 groupes. Le premier groupe sera exposé à une combinaison de température élevée (*D. labrax* : 20°C ; *M. saxatilis* : 15°C) et d'hypoxie (40 % de la saturation à l'air) durant 2 semaines, reproduisant ainsi un scénario du changement climatique (noté CC sur la Fig.1). Le second groupe sera élevé en condition standard (*D. labrax* : 15°C ; *M. saxatilis* : 10°C et normoxie ; noté S sur la Fig.1). Notez que ces conditions n'engendrent pas de sélection par mortalité différentielle. Au bout de deux semaines de conditionnement, les populations expérimentales seront élevées en condition standard et, dès que possible (60-80 jpé), les animaux seront marqués afin de permettre un suivi longitudinal individuel. Comme indiqué sur la Fig.1, notre protocole comprends 4 phases d'expérimentation successives, correspondant aux stades larvaire (larve : <45 jpé), juvénile précoce (juvénile-1: <120 jpé), juvénile intermédiaire (juvénile-2: <240 jpé) et pré-mature (pré-mature: <400 jpé). A chacune de ces phases la croissance et la survie seront évaluées, de même que la tolérance à une baisse de la disponibilité en oxygène ou à une hausse de la température (Rozes et al., 2013). De plus, des analyses multi-paramètres de la réponse des animaux à des stress environnementaux aigus (changement rapide de la température, exercice physique, changement de salinité ...) seront réalisées afin de fournir une vision d'ensemble de la capacité des individus à faire face à des contraintes environnementales. Chez les individus présentant les réponses les plus contrastées, une caractérisation phénotypique plus poussée sera réalisée grâce à des approches moléculaires, biochimiques et de génomique.



### Avancées qui donneront lieu à publication

Les travaux proposés feront l'objet d'au moins 3 publications. La première concernera la comparaison de la plasticité phénotypique des deux espèces ciblées. La seconde concernera le façonnage des performances adaptatives et des trajectoires d'histoire de vie par les conditions environnementales précoces. La troisième l'évolution de la capacité des deux espèces à répondre aux contraintes du milieu aux différents stades de vie.

### Applications possibles

En cherchant à comprendre comment les conditions environnementales précoces façonnent les trajectoires de vie des poissons, notre projet permettra à l'industrie aquacole de compléter son approche essentiellement génétique de l'optimisation de sa production, par une approche ciblant la plasticité phénotypique.

### Collaborations avec des laboratoires extérieurs

Cette étude s'inscrit dans un contexte partenarial particulièrement riche. Au-delà du contexte local (Centre Ifremer de Bretagne et IUEM dans le cadre de l'UMR LEMAR et du LABEX MER), elle est en effet au cœur d'une collaboration entre l'équipe PFOM-ARN, l'Institut des Sciences de la Mer de Rimouski (ISMER), et l'Institut Maurice-Lamontagne (Ministère Canadien de Pêches et des Océans). Elle bénéficiera en outre des ressources offertes par le réseau Ressources Aquatiques Québec (RAQ).

Echéancier prévisionnel des travaux incluant la rédaction

Trimestre	Oct à Dec 2015	Jan à Mar	Avr à Juin	Jui à Sept	Oct à Dec 2016	Jan à Mar	Avr à Juin	Jui à Sept	Oct à Dec 2017	Jan à Mar	Avr à Juin	Jui à Sept 2018
Littérature												
Elevage D. labrax												
Conditionnement précoce et marquage												
Tests d'effort (population)												
Respirométrie												
Réponse stress aigüe												
Elevage M. saxatilis												
Conditionnement précoce et marquage												
Tests d'effort (population)												
Respirométrie												
Réponse stress aigü												
Présentation, Rédaction : • Congrès • Articles scientifiques, • Rédaction de Thèse				C		A		C		A	C, A, T	T