

Adaptation rapide des espèces envahissantes : Le cas extrême de la truite fario (*Salmo trutta*) en Patagonie (Chili)

- **Résumé public :** La capacité des espèces non-natives à s'adapter de façon extrêmement rapide à de nouvelles conditions environnementales et fortement variables constitue un véritable « paradoxe évolutif » à bien des égards. A ce jour, très peu d'études ont résolu ce paradoxe, du fait notamment de la difficulté de retracer finement les voies d'invasions (parfois complexes) de ces espèces et de bénéficier conjointement de données génomiques et évolutives à de petites échelles spatiales et présentant de forts contrastes environnementaux. Nos précédents travaux ont permis d'élucider les voies ayant permis la colonisation de la truite fario (*Salmo trutta*) de la zone géographique de Bahia Exploradores (Chili) et de démontrer que cette espèce avait été capable de coloniser de nombreux environnements extrêmement variés d'un point de vue environnemental (lacs, rivières de glacier, ruisseau de tourbières...) en quelques décennies. Dans ce projet, nous testerons les processus évolutifs et écologiques ayant permis à cette espèce de coloniser si rapidement et avec un tel succès cette région du globe. Nous nous concentrerons sur l'analyse de six populations de truites relativement isolées géographiquement et distribuées dans des caractéristiques environnementales très contrastées (trois rivières glaciaires et trois rivières tourbeuses). Nous étudierons les traces de sélection de ces 6 populations à l'échelle génomique, et nous couplerons ces données à des caractéristiques écologiques fines, incluant des variables liées à leur démographie et leur capacité à utiliser des ressources trophiques. Ces données apporteront une opportunité unique de tester les processus d'adaptation extrême et rapide chez une espèce invasive dont les impacts écologiques sont importantes.

- **Titre du projet (anglais) :** Rapid adaptation in a non-native species : The extreme case study of the brown trout (*Salmo trutta*) in Patagonia (Chile)

- **Résumé public (anglais - 250 mots) :** The ability of non-native species to adapt extremely quickly to new and highly variable environmental conditions is a true "evolutionary paradox" in many ways. To date, very few studies have resolved this paradox, due in particular to the difficulty of precisely tracing the pathways of (sometimes complex) invasions of these species and of jointly benefiting from genomic and evolutionary data at small spatial scales and presenting strong environmental contrasts. Our previous work has made it possible to elucidate the ways which allowed the colonization of the brown trout (*Salmo trutta*) of the geographical area of Bahia Exploradores (Chile) and to demonstrate that this species had been able to colonize many extremely varied environments of an environmental point of view (lakes, glacier rivers, peat bog streams, etc.) in a few decades. In this project, we will test the evolutionary and ecological processes that have allowed this species to colonize so quickly and with such success this region of the globe. We will focus on the analysis of six relatively geographically isolated trout populations distributed in very contrasting environmental characteristics (three glacial rivers and three peaty rivers). We will study the traces of selection of these 6 populations at the genomic scale, and we will couple these data to fine ecological characteristics, including variables related to their demography and their ability to use trophic resources. These data will provide a unique opportunity to test

the extreme and rapid adaptation processes in an invasive species with significant ecological impacts.

- Mots clés : Invasion, Poisson, Adaptation, Gestion, Espèces exotiques

- Disciplines : Biologie, Ecologie, Evolution, Hydrologie

- Cadrage (problématique du projet) (500 mots) : Ce projet s'inscrit dans le contexte des invasions biologiques et sur la capacité des espèces envahissantes à s'adapter rapidement aux nouveaux habitats colonisés. Une des raisons du succès des invasions biologiques, qui module ensuite leurs impacts écologiques, réside dans leur capacité à s'adapter rapidement à de nouvelles conditions environnementales. En effet, de nombreuses études ont montré que les espèces envahissantes avaient une capacité étonnante d'adaptation. Ceci est assez paradoxale car la théorie de l'évolution prédit que l'adaptation est un processus lent (alors que le processus d'invasion est rapide) et qu'un niveau de diversité génétique important est requis pour pouvoir s'adapter à de nombreux environnements. Ceci est en contradiction avec le fait que les espèces envahissantes ont la plupart du temps un niveau de diversité génétique relativement faible du fait des goulots d'étranglement récurrents qu'elles subissent au cours de l'invasion. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce paradoxe : (i) un niveau de plasticité élevé chez ces espèces, (ii) des capacités d'adaptation génétiques plus rapides que prédites et/ou (iii) une pré-adaptation de ces espèces aux futurs environnements rencontrés pendant la colonisation. Seules les deux premières hypothèses peuvent expliquer le succès d'invasion d'espèces colonisant des environnements extrêmement hétérogènes à des échelles spatiales très fines. C'est à ces deux hypothèses que nous nous intéresserons pour expliquer le succès d'invasion de la truite fario *Salmo trutta* dans la région de Bahia Exploradores. Cette région est en effet caractérisée par de forts contrastes environnementaux à des échelles spatiales très fines (quelques kilomètres) et la truite a colonisé l'ensemble des cours d'eau de cette région en quelques décennies seulement. Par ailleurs, nous avons montré que la colonisation de cette espèce dans cette région résulte de déplacements de l'aval de la vallée vers l'amont depuis une seule source. Cela suggère qu'un même et seul pool de gène restreint a résulté en la colonisation de nombreux environnements avec succès en quelques décennies. Cette situation offre donc une opportunité unique d'explorer les processus évolutifs et écologiques menant à la colonisation et l'invasion de la truite fario dans cette zone géographique.

- Objectifs (500 mots) : L'objectif général de ce projet est d'étudier les capacités d'adaptation d'une espèce invasive (la truite fario, *Salmo trutta*) à des environnements hétérogènes et extrêmes. Nous testerons les hypothèses spécifiques suivantes :

- Les populations de truites fario adaptées à des environnements contrastés (rivières glaciaires vs. rivières tourbeuses) possèdent des caractéristiques démographiques et phénotypiques uniques leur permettant de s'adapter à ces environnements spécifiques.
- Des portions génomiques spécifiques sous-tendent ces adaptations et seront identifiables chez ces populations.

- Méthodologie (500 mots) : Ce projet se focalisera sur 6 populations spécifiques de la Région. Sur la base des campagnes de terrain antérieures, nous avons identifié 6 rivières

accueillant la truite fario et caractérisées par de forts contrastes environnementaux. On trouve en effet des rivières « glaciaires » caractérisées par des températures froides sur l'ensemble de la saison, des débits soutenus et de faibles disponibilités en nourriture. A contrario, des rivières de types « tourbeuses » sont également rencontrées, elles sont en général beaucoup plus riches en nourritures (plus productives) et présentent de plus fortes saisonnalité. Nous sélectionnerons 3 rivières de chaque type et caractériserons les populations de truites selon plusieurs variables. Tout d'abord, des prélèvements de nageoires seront réalisés sur 10 truites par rivières afin d'en extraire l'ADN et de réaliser un séquençage complet (faible couverture) de ces poissons. Cette approche, couplé à des analyses bioinformatiques permettra d'identifier les régions du génome sous sélection et pouvant expliquer l'adaptation de cette espèce aux différentes conditions. Ensuite, des approches écologiques de terrain incluant des méthodes de captures-marquages-recaptures (CMR) et d'analyses isotopiques permettront de caractériser les populations d'un point de vue démographiques et phénotypiques. Ces approches écologiques seront réalisées sur deux saisons afin d'extraire des données intégratives du cycle de vie de l'espèce.

- Résultats attendus (500 mots) : D'un point de vue écologique, nous nous attendons à un parallélisme adaptatif, c'est à dire que –démographiquement et phénotypiquement- les populations ayant colonisées un certains type de rivières (glaciaires ou tourbeuses) devraient se ressembler plus entre elles que des populations ayant colonisées deux types différents de rivières. Un résultat similaire est attendu au niveau génomique. Tout d'abord, nous nous attendons à identifier des zones du génome sous sélection (pouvant expliquer les adaptations) et que ces zones soient les mêmes pour chaque type de milieu, respectivement. Ces résultats constitueraient un des rares exemples d'adaptations rapides et contemporaines à des milieux extrêmement hétérogènes.

- Motivations (250 mots) : Nos résultats antérieurs ont mis en évidence un très fort succès de colonisation de cette espèce dans cette région et ont permis de montrer que cette colonisation avait eut lieu à partir d'une seule population source. Une question fascinante repose sur les capacités de cette espèce à s'adapter à des milieux non seulement très variables mais aussi extrêmes (les rivières glaciaires) comme on les rencontre dans cette zone. C'est à cette question que nous souhaitons répondre afin d'identifier les processus biologiques mis en œuvre et ceci est d'autant plus important que la truite commune est devenue l'espèce dominante dans la zone d'étude, avec des conséquences écologiques importante sur la biodiversité locale et les écosystèmes.

- Participants au projet (nom, prénom, affiliations) :

- **Simon Blanchet** (CNRS, Station d'Ecologie Théorique et Expérimentale, USR 2001 Moulis, France)

- **Julien Cucherousset** (CNRS, Laboratoire Evolution et Diversité Biologique, UMR 5174, Toulouse, France)

- **Cristián Correa Guzmán** (Universidad Austral de Chile, Instituto de Conservación Biodiversidad y Territorio, Chile)

- Budget détaillé (si stage l'indiquer clairement dans le budget) :

Postes	Détail	Coût unitaire	Quantité	Total
Intendance mission	Une mission sera réalisée fin 2023 ou en 2024 réalisés: des coûts liés à l'intendance (transport, aide de terrain, logistique) sont budgétés. Le coût du billet d'avion et du logement sera financé par ailleurs.	2000	1	2000
CMR	Coût pour une expérience de capture-marquage-recapture sur 6 rivières (100 pit-tag/rivière). Achat de pit-tag, lecteur de pit-tag, matériel divers	1	600	600
Isotopie	Coût pour analyses isotopiques (C/N) sur 50 individus/rivières et analyses des sources potentielles	7	500	3500
Génomique	Coût pour le développement de banque génomique pour 10 individus/site, incluant extraction et séquençage	60	60	3600
Divers	Matériel de terrain (vêtements, matériel de prélèvements...)	1000	1	1000
Stage M2	Stage de M2 - 6 mois	590	6	3540
TOTAL				14240