

## OFFRE DE THÈSE DE DOCTORAT

### Etude comparative des traits d'histoire de vie de quatre espèces de gobies (Teleostei: Gobiinae: Sicydiinae) amphidromes du bassin indo-pacifique par une approche pluridisciplinaire: une clé pour comprendre l'endémisme

#### Contexte

Dans l'océan Indo-Pacifique, la biodiversité des rivières des îles volcaniques repose essentiellement sur les espèces amphidromes, parmi lesquelles les gobies<sup>1</sup> **endémiques** *Cotylopus acutipinnis* (archipel des Mascareignes, océan Indien), *C. rubripinnis* (archipel des Comores, océan Indien) et *Sicyopterus pugnans* (Polynésie, océan Pacifique) vivent chacun en sympatrie avec le gobie **à large répartition** *Sicyopterus lagocephalus* (océans Pacifique et Indien). Ces espèces, qui revêtent localement une forte valeur patrimoniale et économique, sont caractérisées par un cycle de vie amphidrome : les adultes se reproduisent en rivière ; les œufs éclosent en pro-larves qui dévalent vers la mer en quelques heures ; en mer, elles se développent en larves marines et sont emportées par les courants pendant plusieurs mois avant de retourner vers les îles et coloniser des rivières au stade post-larvaire lors de l'étape de recrutement ; elles se métamorphosent alors en juvéniles et grandissent dans les rivières jusqu'au stade adulte reproducteur. Lors de leur retour en rivière, les post-larves des deux espèces de gobies présentes dans chaque localité, sont ciblées par une pêche traditionnelle aux embouchures avec des niveaux de pression très variables selon les îles.

Dans ces régions tropicales Indo-Pacifique, les hydrosystèmes insulaires sont généralement constitués de jeunes rivières oligotrophes, dont l'intensité des débits alterne d'un régime de cru à un assèchement plus ou moins marqué, au gré des saisons humides et sèches. De par leur cycle de vie, les espèces amphidromes disposent d'un réservoir d'individus au stade larvaire, en mer, donc protégés des aléas climatiques impactant les rivières, et aptes à les recoloniser après les périodes d'assèchement, quand les conditions redeviennent favorables. Cette particularité explique pourquoi les espèces amphidromes constituent **l'essentiel de la biodiversité** de ces milieux dulçaquicoles : elles seules sont capables de recoloniser naturellement les cours d'eau. La persistance de ces espèces à l'échelle insulaire et/ou régionale dépend des échanges entre les zones de ponte en rivière et zone de croissance en mer, échanges réalisés durant le stade larvaire dispersif, seul stade du cycle de vie susceptible d'assurer une connectivité entre populations distantes (au sein d'un archipel pour les espèces endémiques, ou entre archipels pour l'espèce à large répartition). Au cours de leur phase de croissance en mer, ces larves planctoniques vont subir les processus stochastiques/turbulents inhérents à l'environnement marin au sein duquel elles se dispersent durant quelques semaines à quelques mois avant de revenir coloniser les rivières. La stochasticité environnementale induit une variabilité du recrutement larvaire, tant en termes d'abondances qu'en terme d'âge, de poids, de taille et d'indice de condition (i.e. les traits d'histoire de vie ou THV), au recrutement.

Au sein des différents archipels, la présence en sympatrie de chacune des espèces endémiques avec l'espèce à large répartition, toutes caractérisées par le même type de cycle de vie amphidrome, interroge quant au déterminisme de l'endémisme. Puisque ces espèces partagent une phase larvaire dispersive en mer, une hypothèse possible serait que les traits d'histoire de vie des espèces endémiques (e.g. période de ponte, durée de phase larvaire en mer, comportement sur la verticale dans la colonne d'eau au cours de la dispersion) favorisent leur rétention à proximité des îles tandis que ceux caractérisant l'espèce à large répartition seraient compatibles avec une dispersion au large, permettant des connexions avec d'autres archipels. Etudier et comparer les traits d'histoire de vie des différentes espèces, en fonction de leur répartition géographique aux stades juvéniles et adultes et au cours du temps, s'avère donc essentiel pour apporter les premiers éléments de réponse. Cette

<sup>1</sup> Les gobies sont des téléostéens (Teleostei: Gobiidae: Sicydiinae)

approche nous semble pourtant insuffisante si elle n'est associée à l'élucidation des trajectoires de migration en mer des larves des différentes espèces, en fonction des dates de ponte et des rivières d'où elles sont émises. L'utilisation de modèles hydrodynamique et de dispersion lagrangienne permettra d'estimer les trajectoires probables de ces larves planctoniques, puisqu'elles dépendent des courants. La modélisation n'en demeure pas moins une approche probabiliste qu'il nous paraît impératif de consolider avec des données issues de l'analyse des otolithes des larves, en considérant que les otolithes intègrent des éléments de l'environnement traversé par les individus. Une analyse chimique à micro-échelle des otolithes permettra d'identifier, parmi les trajectoires de migration possibles, révélées par l'approche de modélisation, celles qui sont les plus réalistes au vu des éléments intégrés dans les otolithes des poissons échantillonnés.

Par ailleurs, les espèces ciblées par notre étude sont fragilisées par différentes pressions anthropiques (pollution des cours d'eau, pêche, fragmentation de leur habitat notamment à cause des barrages construits sur les rivières, réchauffement et acidification de l'océan, modification des régimes de précipitation) ou naturelles (modes de variabilité climatique, volcanisme), susceptibles d'affaiblir les stocks et de compromettre la persistance de ces espèces, en particulier des endémiques. Il est de ce fait crucial d'étudier et de comprendre la dynamique de ces populations au cycle de vie si complexe, afin de pouvoir envisager des mesures de protection efficaces de ces espèces importantes, au centre des socio-écosystèmes de nombreuses îles volcaniques tropicales.

### **Objectifs scientifiques du projet**

Le projet de thèse est structuré autour de 3 axes, reposant sur des approches pluridisciplinaires et des techniques innovantes et originales. Ces trois axes visent, ensemble, à élucider les dynamiques des populations de gobies de l'Indo-Pacifique, et à les comparer entre les espèces endémiques des différentes régions, et avec l'espèce à large répartition. Il s'agira également de déterminer l'origine des post-larves qui recrutent dans les rivières des trois îles où les juvéniles et adultes des gobies amphidromes endémiques co-existent avec l'espèce à large répartition, ce qui permettra de proposer des plans de gestion efficaces pour ces espèces dont la durabilité n'est pas assurée. Cette étude interdisciplinaire repose sur **un axe d'écologie, un axe de modélisation hydrodynamique, et un axe d'analyse chimique de la matière** de l'otolithe à l'échelle sub-micrométrique.

**1<sup>er</sup> axe** : Variabilité spatio-temporelle du recrutement des post-larves (encadré par Céline Ellien ; co-encadrement Ibrahim Yahaya, CNDRS, République des Comores)

A travers cet axe, nous étudierons et comparerons les traits d'histoire de vie (THV) des post-larves des quatre espèces de gobies amphidromes, entre les trois îles et les deux saisons (été et hiver austral). L'objectif est de savoir si les THV des post-larves des espèces endémiques sont comparables entre les régions où on les trouve (i.e. entre les espèces), et s'ils diffèrent des caractéristiques de l'espèce à large répartition (*S. lagocephalus*). De même, nous verrons si les THV de *S. lagocephalus* sont homogènes à l'échelle de son aire de répartition, ou si une plasticité peut être démontrée, relative à différentes conditions environnementales régionales (température de l'océan, ressource alimentaire...). Pour une espèce donnée, nous vérifierons si les THV varient spatialement, à petite échelle, en fonction de la localisation des rivières entre les deux côtes des îles. Les rivières sont sélectionnées en fonction de leur localisation géographique sur la côte au vent ou sous le vent, la côte sous le vent étant caractérisée par un climat plus sec que la côte au vent. Nous aurons ainsi un premier élément de réponse pour vérifier si les traits des post-larves varient en fonction des faciès du rivage. L'échantillonnage sera réalisé sur une base saisonnière à Mohéli (archipel des Comores) dans le cadre d'une collaboration avec le CNDRS (Centre National de Documentation et de Recherche Scientifique des Comores). A la Réunion, les post-larves des deux espèces de gobies seront fournies mensuellement par l'Observatoire des Flux migratoires (projet DYNAPOP, auquel participe la directrice de la thèse). A Tahiti, l'échantillonnage mensuel des rivières sera réalisé dans le cadre du projet « Ina'a » (titre : La pêche

des post-larves de gobiidés en Polynésie française : le cas de la pêcherie de ina'a sur l'île de Tahiti) auquel la directrice de thèse participe également. Chaque échantillon comptera 50 individus, qui seront pesés et mesurés. Leur âge sera estimé par otolithométrie : sachant que le nucleus est déjà présent dans l'œuf, le nombre de stries indique l'âge de la post-larve au moment de sa capture, et donc la durée de sa dispersion marine (DPL).

### **2<sup>ème</sup> axe** : Modélisation hydrodynamique (encadré par Xavier Capet/Stéphane Pous)

Au cours de leur phase marine, les larves planctoniques sont entraînées par les courants marins qui conditionnent la structure et la dynamique de ces espèces particulières. Une étude de modélisation hydrodynamique, intégrant la date de ponte estimée par otolithométrie, et le lieu de recrutement (i.e. rivières où les post-larves ont été échantillonnées) permettra d'identifier les trajectoires de migration possibles, en fonction des courants et autres forçages physiques subis par les larves le long de leur trajectoire. Pour cet axe, nous utiliserons la ré-analyse océanique GLORYS, issue du modèle NEMO, qui fournit une série temporelle des propriétés océaniques. Pour modéliser la dispersion larvaire, le modèle centré-individu ICHTHYOP sera utilisé pour calculer les trajectoires de migration probables, à partir des résultats de la ré-analyse GLORYS. Ce modèle lagrangien constitue un outil pertinent et puissant pour vérifier les hypothèses de structuration des populations de *S. lagocephalus* en métapopulation, et pour identifier les populations sources et puits, à l'échelle d'un bassin océanique. Cet outil de modélisation permettra d'une part de déterminer la possible origine géographique des post-larves, étape préliminaire indispensable à l'élaboration de plans de conservation adaptés, et d'autre part de vérifier dans quelle mesure les larves se dispersent au large, ou restent en zone côtière, ce qui peut contribuer à expliquer le cosmopolitisme vs l'endémisme des espèces cibles. Nous pourrions, par cette approche, également quantifier l'importance relative des forçages météorologiques et des facteurs biotiques (dates et lieux de ponte, durée de la phase larvaire, amplitude des migrations nycthémerales) sur la dispersion larvaire

### **3<sup>ème</sup> axe** : Composition élémentaire des otolithes (encadré par Cédric Baumier)

Cet axe vise à déterminer la composition élémentaire des otolithes, du nucleus jusqu'à la périphérie, toujours dans l'optique d'élucider l'origine géographique des post-larves, ainsi que leurs routes de migration. En utilisant des microscopes à balayage et à transmission, chacun équipé de détecteurs EDX (Bacri et al., 2017), nous pourrions réaliser une cartographie de l'otolithe indiquant comment les différents éléments constitutifs sont distribués dans cette structure biominérale à des échelles micro et nano-métriques. Cette méthode devrait donner des indices sur l'histoire de vie des individus, mais également sur les éléments que les téléostéens prélèvent et incluent dans leurs structures biominérales. Formé dans l'œuf, le nucleus incorpore des éléments de sa rivière d'origine. En comparant les éléments qui seront identifiés dans cette partie de l'otolithe avec la composition élémentaire et en éléments traces des rivières insulaires, aux deux saisons, nous déterminerons où les post-larves échantillonnées ont été pondues. Quant à la composition des stries d'accroissement, elle nous éclairera sur les routes de migrations possibles des larves, et confirmera ou non celles prédites par le modèle hydrodynamique, en tranchant par exemple entre une dispersion au large des larves, ou au contraire, une phase larvaire qui se maintient à proximité des côtes, laissant les larves dans une influence mixte d'eau douce et d'eau de mer. Les analyses à micro-échelle des otolithes ont déjà fait la preuve de leur pertinence pour étudier l'histoire de vie des poissons téléostéens (Laugier et al., 2015). Nous sommes confiants en ce que l'approche de microscopie électronique avec détecteurs EDX, mieux résolue spatialement que les techniques utilisées habituellement, permettra une avancée majeure dans ce type d'études en écologie.

## **Modalités d'encadrement**

La thèse sera co-encadrée par des chercheurs physiciens modélisateurs de l'UMR LOCEAN (Stéphane Pous et Xavier Capet) pour 15% et par un ingénieur de recherche chimiste responsable de la plateforme SCALP (CNRS, campus d'Orsay) pour 15%. La directrice de thèse encadrera le travail à 70%.

Le travail doctoral se déroulera en partie sur Paris (UMR BOREA équipe BIOPAC, et UMR LOCEAN), en partie à Orsay. Un comité de suivi de thèse sera également mis en place et apportera un regard extérieur sur le travail du doctorant. Nous envisageons 3 réunions au cours de la thèse

## Faisabilité

**Les post-larves seront collectées mensuellement** aux embouchures des rivières : 1) de la Réunion dans le cadre du projet DYNAPOP, financé pour 3 ans, renouvelables, ainsi que 2) aux embouchures des rivières tahitiennes dans le cadre du projet Ina'a, financé pour 2 ans, renouvelables. En ce qui concerne les échantillonnages aux embouchures des rivières de Mohéli (Comores), des financements ponctuels (AAP UMR BOREA, ATM MNHN) seront demandés afin de financer des campagnes de collecte, sur une base saisonnière (2 collectes par an). Une collaboration avec le CNDRS des Comores (CNDRS/UMR BOREA équipe BIOPAC au sein d'une convention plus large CNDRS/MNHN Paris) s'est structurée au cours de l'année 2022 et est maintenant stabilisée. Une première mission d'échantillonnage a été réalisée en mai 2023, dans les rivières de Mohéli. Le bureau d'étude Ocea Consult finance sur ressources propres 50% des frais relatifs aux échantillonnages aux Comores. Ce bureau d'études effectue également les échantillonnages à La Réunion. Le bureau d'études Ichthyo-Pacific échantillonne les rivières tahitiennes. Ces deux bureaux d'études sont partenaires des projets scientifiques listés ci-dessus. Le candidat n'aura pas de mission de terrain à effectuer. Le projet est donc indubitablement faisable dans le temps imparti.

## Références bibliographiques des encadrants

BAUDENA A., SER-GIACOMI E., D'ONOFRIO D., **CAPET X.**, COTTE C., CHEREL Y., D'OVIDIO F., 2021.- Fine-scale fronts as hotspots of increased fish concentration in the open ocean. *Sci. Rep*, 11, 15805.

BACRI C.-O., BACHELET C., **BAUMIER C.**, BOURCOIS J., DELBECQ L., LEDU D., PAUWELS N., PICARD S., RENOUF S., TANGUY C., 2017.- SCALP, a platform dedicated to material modifications and characterization under ion beam. *Nucl. Instrum. Meth. B*, 2017, 406, pp.48-52. ([10.1016/j.nimb.2017.03.036](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.03.036))

**ELLIEN C.**, CAUSSE R., WERNER U., TEICHERT N., ROUSSEAU K., 2020.- Looking for environmental and endocrine factors inducing the transformation of *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas 1770) (Teleostei: Gobiidae: Sicydiinae) freshwater prolarvae into marine larvae. *Aquatic Ecology* **54** :163-180 (<https://doi.org/10.1007/s10452-019-09734-z>).

NDOYE S., **CAPET X.**, PESTRADE P., SOW B., MACHU E., BROCHIER T., DÖRING J., BREHMER P., 2017.- Dynamics of a low enrichment-high retention upwelling center over the southern Senegal shelf, *Geophys. Res. Lett.*, 44. doi:10.1002/2017GL072789

POUS S., FEUNTEUN E., **ELLIEN C.**, 2010.- Investigation of tropical eel spawning area in the South-Western Indian Ocean : Influence of the oceanic circulation. *Prog. in Oceanogr.* **86** : 396-413 (DOI: [10.1016/j.pocean.2010.06.002](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.06.002))

THOMAS C., BECHELER E., TRINH A.-M., **ELLIEN C.**, (2018). Spatial variability in post-larval traits of *Sicyopterus lagocephalus* Pallas 1770 around Reunion Island. *Environmental Biology of Fishes* **101** (5): 829-841 (doi:10.1007/s10641-018-0740-4)

## Profil du candidat

Nous sélectionnerons un(e) candidat(e) ayant des connaissances en écologie, et sur milieu marin, en particulier des forçages hydrodynamiques. Le ou la candidat ou candidate devra montrer des compétences dans l'analyse statistique des données. Des compétences en otolithométrie seront un atout supplémentaire, mais ne sont pas indispensables. Le candidat devra faire preuve d'intérêt pour

les analyses physico-chimiques et la microscopie. Des qualités d'adaptabilité et d'ouverture d'esprit sont indispensables, le sujet étant pluridisciplinaire : le doctorant devra travailler dans les différentes équipes impliquées. Les masters pouvant former des étudiants aptes à postuler sur ce sujet sont les masters Biodiversité Evolution Ecologie, Sciences de la Mer, Tropimundo, ou Environnement Insulaire Océanien. Nous privilégierons un(e) candidat(e) formé(e) en écologie plutôt qu'en physique ou en chimie, même si ce projet pourrait être mené par un physicien aguerri aux techniques de modélisation et programmation ou un chimiste ayant des bases en chimie de la matière ou en chimie-physique.

**Contact** : Dr. Céline Ellien (HDR), [celine.ellien@sorbonne-universite.fr](mailto:celine.ellien@sorbonne-universite.fr), laboratoire BOREA (équipe BIOPAC). Tel: 01.40.79.57.48