

Contexte de l'étude

Les hydrosystèmes insulaires tropicaux sont généralement constitués de jeunes rivières oligotrophes qui subissent des alternances de crues et d'assèchements plus ou moins marqués, liées aux alternances de saisons humides et sèches. Ces événements météorologiques fréquents, ainsi qu'une importante pression anthropique, provoquent régulièrement de fortes diminutions de l'abondance de la faune des rivières allant parfois jusqu'à l'extinction. Ces particularités hydrologiques saisonnières expliquent pourquoi les rivières insulaires de la région Indo-Pacifique, abritent de nombreuses espèces d'organismes diadromes. La diadromie est un type particulier de migration au cours de laquelle les organismes migrent entre deux biomes radicalement différents (i.e. eau douce vs océan) au cours de leur cycle de vie. L'amphidromie, quant à elle, caractérise un type de diadromie dans lequel le changement de biomes est indépendant de l'événement de reproduction (McDowall, 1992). L'amphidromie s'avère donc particulièrement adaptée aux rivières insulaires tropicales car ces organismes sont les seuls capables de coloniser ou re-coloniser naturellement les cours d'eau *via* des post-larves qui retournent dans les rivières après une phase de dispersion marine, qui les a protégées des aléas climatiques subis en rivières. Ainsi, 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 qui reposent sur les stades larvaires dispersifs. Néanmoins, ces larves vont subir les processus stochastiques inhérents à l'environnement marin au sein duquel elles se dispersent durant quelques semaines à quelques mois avant de revenir coloniser les rivières. Cette stochasticité environnementale induit une variabilité du recrutement larvaire, tant en terme d'abondances qu'en terme d'âge, de poids et de taille au recrutement (Teichert et al, 2016 ; Thomas et al, 2018).

Les espèces ciblées par cette étude sont les gobies amphidromes : *Sicyopterus lagocephalus*, espèce cosmopolite distribuée dans tout le bassin Indo-Pacifique, qu'on trouve en sympatrie à la Réunion avec *Cotylopus acutipinnis*, endémique de l'archipel des Mascareignes, à Mayotte avec *Cotylopus rubripinnis*, endémique de l'archipel des Comores, et à Tahiti avec *Sicyopterus pugnans*, endémique de Polynésie. Les cycles de vie de ces 4 espèces sont similaires : les pontes ont lieu en rivière ; des pro-larves éclosent des œufs et dévalent vers la mer en quelques heures ; en mer, elles se développent en larves marines et sont emportées par les courants pendant quelques mois avant de coloniser des rivières au stade post-larvaire lors de l'étape de recrutement ; elles se métamorphosent alors en juvéniles et grandissent dans les rivières où elles atteignent le stade adulte reproducteur.

Dans ces régions de l'Océan Indo-Pacifique, la biodiversité des rivières repose majoritairement sur ces gobies amphidromes. Or, ces espèces subissent différents stress, tant anthropiques (pollution des cours d'eau, fragmentation de leur habitat, pêcheries) qu'environnementaux (climatique dans le contexte du changement global, volcanique avec, par exemple, la subsidence de l'île de Mayotte qui s'enfonce dans l'Océan Indien du fait du siphonage de la poche magmatique sous-jacente à l'île, qui va alimenter la formation d'un volcan sous-marin situé plus au large) 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, et en particulier leurs trajectoires de migration qui dépendent essentiellement, si ce n'est exclusivement, des courants marins et autres facteurs physiques influençant la dispersion larvaire.

Objectifs du projet

Le projet de thèse est structuré autour de 3 axes, basés sur des approches pluridisciplinaires et des techniques innovantes et originales. Ces trois axes visent, ensemble, à déterminer l'origine des post-larves qui recrutent dans les rivières des trois îles au cours des deux saisons australes et à étudier l'influence des forçages physiques sur leur dispersion marine pendant la phase larvaire. Il s'agit d'une étude pluridisciplinaire qui repose sur **un axe d'écologie** ciblant la dynamique de population des quatre espèces d'intérêt, **un axe de modélisation hydrodynamique** qui permettra d'investiguer les trajectoires de

migration possibles, en mer, des larves des quatre espèces, en fonction des périodes de ponte et des rivières où les post-larves recrutent, et **un axe d'analyse microchimique de la matière** de l'otolithe, qui permettra, en identifiant la composition en éléments et éléments traces de l'otolithe, d'élucider l'origine des larves et de valider, parmi les trajectoires de migration possibles, celles qui semblent les plus probables au vu de la matière incluse dans l'otolithe

1^{er} axe : Variabilité spatio-temporelle du recrutement des post-larves (encadré par Céline Ellien)

A travers cet axe, nous envisageons d'étudier et de comparer les traits de vie au recrutement des post-larves des quatre espèces de gobies amphidromes, entre les trois îles et les deux saisons (été et hiver austral). 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 au recrutement varient en fonction des faciès du rivage. L'échantillonnage sera réalisé sur une base saisonnière à Mayotte. A la Réunion, les post-larves des deux espèces de gobies des Mascareignes seront fournies par l'Observatoire des Flux migratoires (projet DYNAPOP, auquel participe la directrice de la thèse en tant que membre du comité scientifique et technique et principale collaboratrice scientifique), dans le cadre duquel un échantillonnage mensuel est prévu aux embouchures des rivières. A Tahiti, un échantillonnage mensuel aux embouchures des rivières est prévu 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 en tant que responsable de thème (WP). Chaque échantillon comptera 50 individus, qui seront pesés et mesurés. Leur âge sera estimé par otolithométrie. Les otolithes sont des concrétions calcaires, dans l'oreille interne des poissons, composés de couches d'aragonite et de protéines déposées à une fréquence journalière au cours du stade larvaire. 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^{ème} axe : Modélisation hydrodynamique (encadré par Xavier Capet/Stéphane Pous)

Au cours de leur phase marine, les larves dépendent des courants marins, auxquels elles sont incapables de résister, et 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, sachant qu'une étude de génétique de populations a mis en évidence des flux de migrants possibles entre Réunion et Mayotte pour cette espèce (Lord et al., 2012). Pour l'océan Pacifique, nous pourrions également suivre les trajectoires de migration possibles, entre les îles de Polynésie, même si nos données de durée de dispersion larvaire seront estimées à partir de post-larves collectées exclusivement à Tahiti. Dans tous les cas, 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. Ce type d'analyses couplant données biologiques et modélisation hydrodynamique a été menée précédemment avec succès sur les anguilles de l'Océan Indien (Pous et al., 2010). 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) sur la dispersion larvaire

3^{ème} 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. 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 bio-minérale : intègrent-ils « passivement » tous les éléments présents ou certains éléments sont-ils « activement » exclus par rapport aux autres ? Par ailleurs, en ciblant le nucleus, nous pourrions déterminer les éléments qui sont incorporés dans cette partie de l'otolithe. Formé dans l'oeuf, il est probable que le nucleus incorpore des éléments de sa rivière d'origine. En comparant les éléments qui seront identifiés dans l'otolithe avec la composition élémentaire et en éléments traces des rivières insulaires, aux deux saisons, nous pensons pouvoir déterminer où les post-larves échantillonnées ont été pondues. Quant à la composition des stries d'accroissement, elle doit pouvoir nous éclairer sur les routes de migrations possibles des larves, et confirmer 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 microchimiques 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, plus puissante que les techniques utilisées habituellement, permettra une avancée majeure dans ce type d'études en écologie.

Ce projet de recherche doctorale a toute sa place dans l'appel à projet de l'Institut de l'Océan puisqu'il s'intéresse à la phase de dispersion marine des larves d'espèces amphidromes dont une partie du cycle de vie se déroule en rivière. La phase marine des organismes amphidromes est cruciale car elle influence la structure et la dynamique des populations. En effet, les trajectoires de migration de ces larves, dépendant des courants, vont conditionner l'apport des larves dans les rivières où elles pourront boucler leur cycle de vie.

Annexes :

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 Mayotte et Mohéli (Comores), un financement sur projets longs (SU ITE) ainsi que 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). 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 du milieu marin, en particulier des forçages hydrodynamiques, et formé à l'analyse statistique des données. Des compétences en otolithométrie seront privilégiées. 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 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.

Calendrier prévisionnel

